



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE RESILIENCIA Y SUSTENTABILIDAD PARA EL  
DISEÑO DE EDIFICACIONES EDUCACIONALES EN CHILE.**

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

**AUTOR: C. MATÍAS TAPIA MAUREIRA**

**PROFESOR GUÍA: DRA. M. BEATRIZ PIDERIT MORENO**

**CONCEPCIÓN, MARZO DE 2019**



"Tiene este Chile florido algo de Sísifo, ya que, como él, parece condenado a que se le venga abajo cien veces, lo que, con su esfuerzo, cien veces elevó"

**José Ortega y Gasset, 1928**

## **Agradecimientos**

Agradecimientos a la Dra. María Beatriz Piderit que supervisó esta tesis y a todo el equipo del Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética de la Universidad del Bío-Bío, por su gran labor docente y administrativa.

Al Dr. Shady Attia y al equipo del Laboratory of Sustainable Buildings (SBD Lab) de la Universidad de Liège, Bélgica, por el recibimiento y las importantes contribuciones que realizaron a esta tesis.

A la Vicerrectoría de Investigación y posgrado de la UBB por hacer posible la pasantía en Bélgica, gracias a la adjudicación la Beca de pasantía en instituciones extranjeras.

A mi familia y a mis amigos que me apoyaron incondicionalmente en el proceso. A mis compañeros de Magíster, especialmente a Carolina, Cecilia, Rodrigo, Guiselle y Natalia, por sus aportes.

# Índice

<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Capítulo 1. Antecedentes</b> .....	<b>7</b>
1.1 Introducción .....	7
1.2 Problemática de Investigación. ....	10
1.2.1 Recomendaciones de diseño .....	10
1.2.2 Enfoque actual de resiliencia en edificios.....	12
1.3 Hipótesis de trabajo .....	14
1.4 Objetivos .....	14
1.4.1 Objetivo General.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos .....	14
1.5 Metodología de investigación. ....	15
<b>Capítulo 2. Marco Teórico</b> .....	<b>19</b>
2.1 Definición del concepto resiliencia.....	19
2.2 Resiliencia del ambiente construido .....	23
2.2.1 Resiliencia en el marco de los desastres naturales.....	23
2.2.2 Resiliencia en el ambiente construido y comunidad .....	24
2.2.3 Resiliencia en edificaciones .....	28
2.3 Integración de resiliencia y sustentabilidad .....	32
2.4 Resiliencia en edificios educacionales.....	36
2.4.1 La escuela: comunidad y territorio. ....	36
2.4.2 La escuela y su rol en desastres naturales.....	38
2.4.3 La escuela en el contexto rural .....	41
2.4.4 Aplicación del concepto ZEB a Escuelas.....	44
2.5 Síntesis.....	47
<b>Capítulo 3. Zonificación de Chile según Desastres Naturales.</b> .....	<b>51</b>
3.1 Recopilación de datos para elaboración de zonificación.....	52
3.2 Propuesta de Zonificación de Riesgos en Chile .....	61
3.3 Análisis de la Zonificación de Riesgos.....	63
3.3.1 Identificación y análisis de Zona Representativa.....	65
<b>Capítulo 4. Criterios de diseño de edificios resilientes.</b> .....	<b>72</b>
4.1 Definición del concepto “criterio”. ....	72
4.2 Características de un edificio resiliente.....	73
4.3 Metodología .....	82
4.4 Alcances de los criterios de diseño.....	87
4.4.1 Presentación de los criterios de diseño. ....	90
4.4.2 Análisis de correlación entre criterios específicos.....	94
4.5 Aplicación de criterios a prototipos de edificios por zona de riesgo.....	102
4.5.1 Supuestos utilizados en la elaboración del prototipo.....	104
4.5.2 Descripción del prototipo genérico .....	105
4.5.3 Regímenes de funcionamiento de edificio educacional .....	107
4.5.4 Macrozonificación para prototipos. ....	107

4.5.5	Prototipos por macrozona .....	110
4.6	Conclusión .....	114

**Capítulo 5. ¿Cómo serán las escuelas resilientes a desastres naturales en Chile? Diseño de un prototipo de edificio educacional para la zona central de Chile, integrando criterios de resiliencia y sustentabilidad. .... 117**

5.1	Metodología de diseño.....	117
5.2	Requerimientos y criterios de diseño considerados.....	118
5.2.1	Requerimientos programático - arquitectónicos.....	119
5.2.2	Criterios de diseño resiliente y sustentable.....	119
5.2.3	Requerimientos térmico – energéticos. ....	121
5.2.4	Supuestos considerados. ....	121
5.3	Presentación del prototipo.....	122
5.3.1	Descripción del prototipo y operación .....	122
5.4	Desempeño térmico-energético del prototipo .....	124
5.4.1	Zonificación.....	124
5.4.2	Parámetros de simulación .....	128
5.4.3	Resultados de simulación. ....	134
5.5	Consideraciones respecto de los sistemas del prototipo. ....	136
5.5.1	Sistema activos y de generación de ERNC. ....	136
5.5.2	Provisiones de emergencia.....	139
5.5.3	Sistemas y equipamiento de Seguridad y Protección (SYP).....	141
5.6	Evaluación incorporación de criterios en proceso de diseño .....	144
5.7	Conclusión .....	149

**Capítulo 6. Conclusión ..... 152**

6.1	De la hipótesis y los objetivos .....	152
6.2	De la integración de resiliencia y sustentabilidad en edificaciones.....	154
6.3	Valor de la investigación.....	158
6.4	Investigaciones futuras.....	159
6.4.1	Zonificación de Riesgos.....	159
6.4.2	Criterios de diseño +RESILIENTE +SUSTENTABLE.....	159
6.4.3	Prototipo de Edificio Educacional .....	160

**Capítulo 7. Bibliografía ..... 161**

**Capítulo 8. Anexos ..... 167**

8.1	ANEXO A – Casos de estudio: Edificios Educativos NZEB .....	167
8.2	ANEXO B – Zonificación de Riesgos de Chile según desastres naturales.....	178
8.2.1	Descripción de las Zonas de Riesgos.....	180
8.3	ANEXO C – Criterios de diseño +RESILIENTE +SUSTENTABLE. ....	192
8.4	ANEXO D – Prototipos de edificios educacionales por macrozonas de riesgo. ....	240
8.5	ANEXO E – Antecedentes elaboración prototipo .....	249
8.5.1	Planimetría del prototipo .....	249
8.5.2	Parámetros de diseño:.....	258
8.5.3	Parámetros de simulación .....	261
8.5.4	Resultados de simulación energética .....	267

8.6 ANEXO F- Artículo Conferencia Intersecciones 2018: “Integración de criterios de Resiliencia y Sustentabilidad para el diseño de edificios educacionales en Chile”. (Intersecciones 2018 Proceedings, (PUC, 2019) ISBN ISBN: N° 978-956-9571-66-4) .....	272
---	-----

## **Abstract**

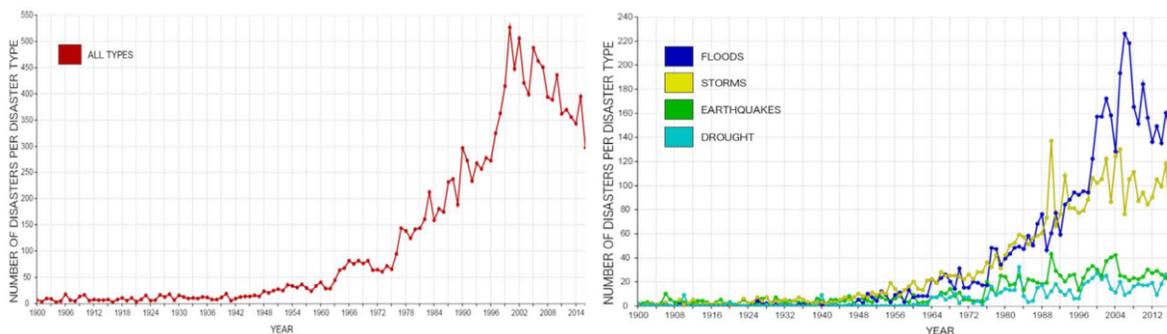
Durante la última década, el aumento sostenido de los desastres naturales en Chile y el mundo ha impulsado la utilización del término resiliencia en diferentes campos del conocimiento. Desde la planificación urbana se ha relacionado este concepto con el de sustentabilidad y a pesar de que no existe consenso acerca de la naturaleza de la relación entre ambos, los autores indican que comparten varios aspectos en común. El presente trabajo tiene como objetivo identificar estos aspectos en común en el campo de las edificaciones, con el fin de determinar criterios de diseño para edificios chilenos y aplicarlos en la elaboración de un prototipo de edificio educacional que sea resiliente a catástrofes. A partir de los desastres naturales más prevalentes en Chile y la revisión de recomendaciones de diseño para ellos, en el ámbito internacional, fue posible determinar 12 zonas de riesgo en nuestro país, según los diferentes desastres a los que estaban expuestas, y 26 aspectos de las edificaciones donde es posible integrar aspectos de la resiliencia y sustentabilidad, los que fueron aplicados en el diseño de un prototipo de edificio educacional para la zona de riesgo más crítica, correspondiente a la del valle central chileno. A partir de esta experiencia, se pudo concluir que la integración de ambos conceptos depende del contexto en que se aplique, por lo que no se pudo identificar la existencia de una relación inherente entre ellos. En muchos casos sustentabilidad y resiliencia buscan objetivos totalmente opuestos, lo que obliga a priorizar una por sobre la otra.

In the last decade, the increase of natural disasters in Chile and the world has driven the use of the term resilience in different fields of knowledge. From urban planning this concept has been linked with sustainability concept and despite the fact of that there is no relationship between both concepts, authors indicate that there are several aspects in common. The objective of this work is to identify these common aspects in the field of buildings, in order to determine a design criterion for chilean buildings and apply them in the development of a prototype of an educational building resilient to catastrophes. Starting from the identification of the most prevalent natural disasters in Chile and the revision of the design recommendations for them in the international scope, it was possible to determine 12 risk zones in our country, according to the different disasters in which they were exposed, and 26 aspects of the buildings where it is possible to integrate aspects of resilience and sustainability, which were applied in the design of a prototype of an educational building for the most critical risk zone, corresponding to the Chilean central valley. From this experience, it can be concluded that the integration of both concepts depends on the context in which it is applied, so that the existence of an inherent relationship between them can't be identified. In many cases, sustainability and resilience seek totally opposite results, which requires prioritizing one over the other.

## Capítulo 1. Antecedentes

### 1.1 Introducción

Durante la última década, el aumento sostenido de los desastres naturales a nivel mundial, principalmente aquellos asociados a eventos hidrometeorológicos inducidos por el cambio climático y el calentamiento global, han puesto más que nunca a prueba las ciudades contemporáneas, y han podido evidenciar la vulnerabilidad de los sistemas sociales, urbanos en ellas (Zhao et al., 2017) y de nuestro ambiente construido, provocando consecuencias que incluyen grandes pérdidas económicas y humanas (Cerè, Rezgui, & Zhao, 2017). Se proyecta que esta tendencia aumentaría en los próximos años (Yasuhara et al., 2011) o según datos del CRED, se estabilizaría manteniéndose dentro de los rangos actuales (Guha-sapir, Hoyois, & Below, 2017) .



**Figura 1.1: (a) Total de desastres naturales mundiales 1900-2014 | (b) Total de desastres naturales mundiales por tipo 1900-2014 (Cerè et al., 2017)**

Uno de los aspectos más afectados en el medio antrópico durante los desastres naturales es el de las edificaciones e infraestructura civil, donde se ven involucradas carreteras, hospitales, plantas de energía, aeropuertos y otras instalaciones de funcionamiento crítico en las ciudades. Su afectación genera un impacto directo en el bienestar público y en el funcionamiento de los sistemas urbanos, trayendo consigo consecuencias graves como muertes, desconexión de las ciudades y grandes gastos económicos a las naciones. (Naser & Kodur, 2018).

Chile no está alejado de esta realidad. En nuestro país, el 43% de los desastres naturales de nuestra historia se ha producido durante los últimos 30 años. Además, Chile posee siete de las nueve

características definidas por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) , necesarias para calificar a una nación como especialmente vulnerable de ser afectada por una alteración del patrón climático (CREDEN, 2016) y ocupó el lugar N°19 en el *World Risk Index* del 2012 (Alliance Development Works, 2012). A todo esto se debe agregar la pobre institucionalidad en materias de gestión de riesgo y recuperación de los sistemas afectados junto con la precaria articulación entre los sectores públicos, privados y sociales para enfrentar las tareas de reconstrucción post desastre, lo que genera externalidades como gentrificación (Contreras & Arriagada, 2016) y eventos como la permanencia de las personas soluciones habitacionales y educativas de emergencia por un periodo prolongado de tiempo.

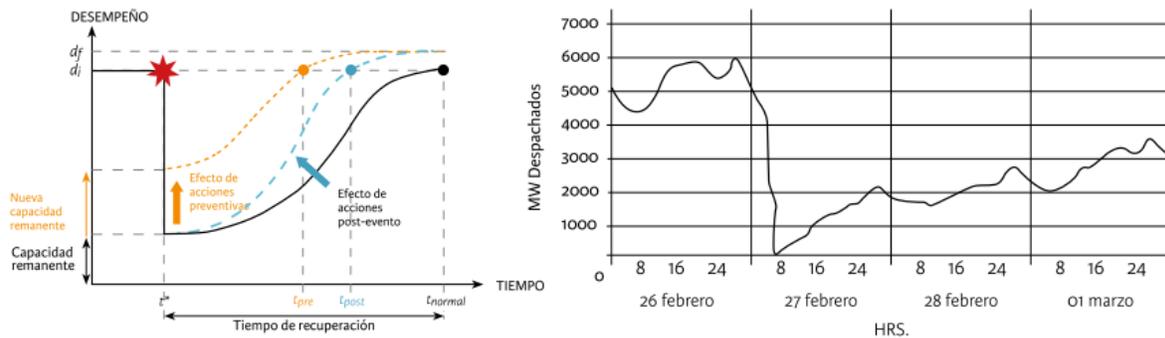
Durante el terremoto del 27 de febrero de 2010, que afectó más de 630 km de nuestro territorio nacional entre la Quinta y la Novena Región, se reportaron 133 hospitales dañados que constituían 71% de la red hospitalaria total; 6.168 establecimientos educacionales dañados lo que afectó a más de 95.000 alumnos; 211 puentes dañados o destruidos; 900 pueblos o comunidades rurales y costares afectadas. Se estimó un daño de US\$ 29.663.000.000 , equivalentes al 18% del PIB del año anterior (Gobierno de Chile, 2010) Durante los dos terremotos consecutivos que afectaron a la Primera Región en abril de 2014, se dañaron un total de 9.780 viviendas; colegios municipales, jardines JUNJI e Integra; establecimientos de salud como Hospitales, CESFAM y postas rurales. Se registraron daños en edificaciones públicas y patrimoniales; la inhabilitación de la ruta 16 que conecta la ciudad de Iquique con Alto Hospicio; y una serie de daños en sectores productivos como obras portuarias y sectores agrícolas de localidades como Huará y Pica (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2013) Las pérdidas económicas por desastres en Chile en el período entre 1980 y 2011 alcanzaron el 1200% de su P.I.B. (CREDEN, 2016)

Ante este escenario es sumamente necesario aumentar la capacidad de gestionar y manejar los riesgos de desastres tanto a nivel local como nacional, con el fin de reducir la vulnerabilidad de nuestras ciudades, de su infraestructura crítica y sus edificaciones. Varios autores (Ayyub, 2014; Eid & El-adaway, 2017; Godschalk, 2003; Labaka, Hernantes, & Sarriegi, 2016; Naser & Kodur, 2018; Pitrenaitė-Žilėnienė & Torresi, 2014; Zhao et al., 2017) están de acuerdo en que esto se puede lograr a través de la incorporación de criterios de **Resiliencia** en la planificación y diseño de estos sistemas. Sin embargo, ¿Qué es la Resiliencia? El término de Resiliencia es un concepto que nace desde la ecología (Holling, 1973) y en términos generales se puede considerar la siguiente definición:

*“La Resiliencia representa la persistencia de las relaciones dentro de un sistema, midiendo la habilidad de estos sistemas para absorber cambio en sus variables de estado, de control y parámetros en general (de Attoh-Okine 2016, en CREDEN 2016)*

En el marco de los desastres naturales, se puede considerar la definición utilizada por la Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (EIRD / ONU) que es la misma que se utilizó para el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, para el aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres:

*“Capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesto a amenazas para adaptarse, resistiendo o cambiando, con el fin de alcanzar o mantener un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura. Viene determinada por el grado en que el sistema social es capaz de organizarse para incrementar su capacidad de aprender de desastres pasados a fin de protegerse mejor en el futuro y mejorar las medidas de reducción de los riesgos” (EIRD ONU, 2004)*



**Figura 1.2: La resiliencia puede ser esquematizada en una curva de tiempo vs desempeño | El sistema de transmisión eléctrica luego del 27 de febrero de 2010 (CREDEN, 2016)**

Actualmente el concepto de Resiliencia es utilizado ampliamente en distintos contextos como la física, la psicología, comunidad y resiliencia individual. Está siendo utilizado también para referirse a la planificación territorial, desde donde se ha asociado fuertemente con la Sustentabilidad (Saunders & Becker, 2015). A pesar de que no existe un consenso a nivel científico acerca de la relación existente entre sustentabilidad y resiliencia, ya que depende directamente del contexto en el que ambos conceptos se apliquen es cierto que comparten algunos aspectos en común. (Marchese et al., 2018; Saunders & Becker, 2015). Esta convergencia dio pie a la pregunta inicial de esta investigación. ¿Existe

una relación dialéctica entre resiliencia y sustentabilidad en el campo de la arquitectura? ¿podría la sustentabilidad contribuir en diseñar edificios más resilientes?

La presente investigación explorara las relaciones entre sustentabilidad y resiliencia en el ámbito de la arquitectura y los edificios con el fin de determinar criterios de diseño que aborden otras áreas del concepto de resiliencia, contribuyendo a ampliar el actual enfoque en donde sólo considera el aspecto resistente-estructural de las edificaciones ante los impactos de los desastres naturales.

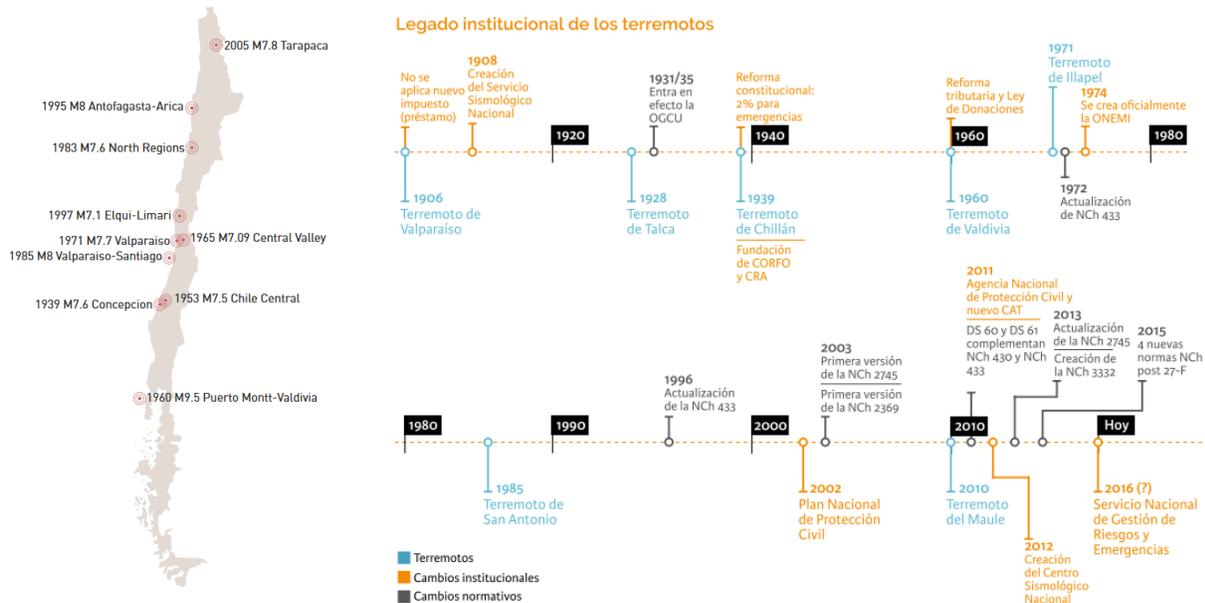
## **1.2 Problemática de Investigación.**

### **1.2.1 Recomendaciones de diseño**

Chile tiene una vasta historia en materias de desastres naturales, construida principalmente en base a eventos de terremotos y tsunamis, seguidos por las erupciones volcánicas y las inundaciones. En este aspecto, nuestro país y sus habitantes han desarrollado una gran capacidad de resiliencia frente a ellos, no sólo resistiéndolas si no que también generando nuevas competencias para afrontarlos. Uno de estos importantes mejoramientos ha sido en materias de institucionalidad (CREDEN, 2016). A esto se suma el hecho que nuestro país ha logrado aprender a partir de estos eventos catastróficos, principalmente de los sísmicos, desarrollando una fuerte y exigente normativa técnica con respecto a la construcción de edificios [figura 1.3], siendo un elemento crítico en la mitigación de estos sucesos considerando que Chile es un de los líderes mundiales en propensión a terremotos (Franco & Siembieda, 2010).

En 2005 Chile se suscribe al Marco de Hyogo (MAH), que se fundamenta en cinco ejes prioritarios: Fortalecimiento Institucional, Fortalecimiento de los Sistemas de Alerta Temprana y Monitoreo, Fomento de la Cultura de la Prevención y el Autoaseguramiento, Reducción de los Factores Subyacentes del Riesgo y Preparación ante desastres para lograr una respuesta eficaz (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2016). Esto fomentó que dentro de la institucionalidad chilena existieran Organismos Públicos encargados de gestionar particularmente cada riesgo según sus competencias, promoviendo la existencia una amplia información respecto a las zonas de riesgo en cada parte del país y de las acciones a seguir en caso de un evento, que es accesible por parte de toda la ciudadanía. Instituciones como la CONAF y el SHOA de la Armada de Chile han sido rigurosos en la elaboración y difusión de cartas donde se indican que zonas del país se encuentran con riesgo de incendios forestales y de tsunamis, respectivamente. Por su parte el SERNAGEOMIN ha realizado

estudios respecto a las zonas afectas a actividades volcánicas y áreas propensas al desplazamiento de tierras producto de aluviones. La divulgación de esta información ha generado que los habitantes de áreas costeras, por ejemplo, tengan un profundo conocimiento de las formas y vías de evacuación lo que es crítico ante estos eventos ya que reduce considerablemente las bajas civiles (Alarcón, John E., Franco, 2010)



**Figura 1.3: Principales terremotos en la historia de Chile (Alarcón, John E., Franco, 2010) | Legado Institucional de los terremotos en Chile (CREDEN 2016)**

Como se mencionaba anteriormente, Chile particularmente esta propenso a sufrir diferentes tipos de desastres naturales, y pesar de que existe este gran compendio de información en materia de riesgo, no existe aún un instrumento donde se integren, de modo de conocer todos los riesgos a los que está expuesta un área en específica. La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) ha hecho esfuerzos para hacer converger esta información en instrumentos individuales. Durante 2012 se realizaron los “Mapas de Riesgo Regional Volcánico Tsunami” en los que es posible visualizar las zonas con riesgos asociadas a la actividad volcánica y de tsunami en cada una de las 16 regiones de Chile. Luego, en 2017, desarrolla en su plataforma web el visor “Chile Preparado” (<http://www.onemi.cl/visor-chile-preparado/>) donde es posible visualizar a través de una interfaz geográfica GIS, las áreas de riesgo además de los dos eventos anteriores, la de los incendios forestales. Estos riesgos constituyen tres de los cinco que el informe “Hacia un Chile

Resiliente” de la Comisión Nacional para la Resiliencia frente a Desastres De Origen Natural (CREDEN) considera como recurrentes en Chile.

Por otro lado, las normativas técnicas desarrolladas para enfrentar los desastres naturales en Chile están enfocadas principalmente al diseño estructural, sin considerar recomendaciones orientadas a aspectos propiamente del diseño arquitectónico como son la forma y orientación de las edificaciones; los requerimientos programáticos de un edificio para afrontar un evento crítico; recomendaciones de diseño interior y mobiliario, etc. Si bien existen en Chile existen manuales de recomendaciones de diseño que son remarcables, sobre todo en el área de la sustentabilidad, aún no existe ninguno abocado precisamente al tema de la resiliencia. Si tomamos como ejemplo el caso de EE. UU., no sólo ha desarrollado normativas y exigencias en relación con el comportamiento estructural de las edificaciones en caso de desastres naturales, sino que también, a través de la Agencia Federal para la Gestión de Emergencias (FEMA) ha desarrollado manuales de recomendaciones para edificios, donde se explican ampliamente los criterios de diseño que debieran reunirse en orden de prepararse para los eventos críticos a los que están expuestos. Esto indica que el diseño arquitectónico no es un asunto despreciable en términos de resiliencia.

En conclusión, pareciera ser que en Chile el problema de la resiliencia de los edificios es un tema orientado al ámbito ingenieril. En este contexto, es sumamente importante que como arquitectos nos planteemos la pregunta acerca del rol que actualmente está cumpliendo el diseño arquitectónico en el ámbito de la resiliencia en Chile y de cómo, a través de la arquitectura, se pueden abordar otros aspectos de la resiliencia además de sólo el estructural

### 1.2.2 Enfoque actual de resiliencia en edificios.

Resiliencia y sustentabilidad son dos conceptos recurrentemente utilizados y que generalmente se utilizan de manera asociada ya que representan dos cualidades deseables de tener integradas en todo tipo de sistemas. Sin embargo, ¿existe realmente una dialéctica entre resiliencia y sustentabilidad? ¿Cuál es? Marchese (2018) establece tres marcos relacionales entre ambos conceptos: el primero, donde la sustentabilidad es parte de la resiliencia; el segundo, donde la resiliencia es parte de la sustentabilidad y un tercero, donde no existe correlación siendo dos cualidades independientes. Los edificios y obras de infraestructura se encuentran dentro de este último de modo que un edificio, por ejemplo, podría ser resiliente al impacto de un desastre natural sin necesariamente ser sustentable, o viceversa.

A pesar de esta categorización y en orden de establecer una dialéctica más estrecha entre ambos conceptos, es posible identificar aspectos de los edificios donde podrían existir convergencias y es posible establecer relaciones de codependencia entre sustentabilidad y resiliencia. Por ejemplo, los edificios sustentables podrían necesitar ser más resilientes para mantener su condición de “sustentable” a través del tiempo, soportando eventos de desastres naturales. Por otro lado, la recuperación y adaptación al contexto post-desastre de los sistemas urbanos resilientes podrían hacerse de una manera sostenible con el fin de disminuir el impacto ambiental (Saunders & Becker, 2015). El primero de estos enfoques reduce la complejidad del concepto de resiliencia en los edificios sólo al aspecto de resistencia, sin embargo, el segundo plantea la interesante posibilidad de abordar otros aspectos de la resiliencia a través de la sustentabilidad.

En el contexto nacional y como se mencionaba antes, nuestras construcciones se han catalogado como “resilientes” debido a que, gracias a un importante trasfondo normativo y legal, han soportado significativos desastres naturales de manera exitosa. Esta noción de resiliencia corresponde al primer enfoque, donde esta se considera sólo desde el aspecto resistente de las edificaciones. Cabe preguntarse entonces, qué aspectos del diseño sostenible podrían aportar al diseño de edificios resilientes de modo de ampliar este enfoque Debido a las convergencias entre ambos conceptos, ¿Es posible abordar estos otros a través de la sustentabilidad?

La presente investigación aborda esta pregunta explorando la posibilidad de ampliar el enfoque actual de resiliencia en edificios través de la incorporación de aspectos de sustentabilidad, identificando las sinergias y convergencias entre ambos conceptos en el campo de la arquitectura, con el fin de determinar criterios de diseño donde se integren de manera simbiótica. De este modo se podrían abordar otras temporalidades de la resiliencia: cómo se prepara un edificio antes del desastre, cómo se adapta al contexto después desastre y cómo contribuye a la recuperación de su entorno urbano y social en el futuro. En el marco del cambio climático y el aumento de desastres naturales, reconocer otros ámbitos en los que la resiliencia pueda ser incorporada, ofrece la posibilidad de diseñar edificios más preparados, resistentes y adaptables.

### **1.3 Hipótesis de trabajo**

Se pueden determinar criterios de diseño de edificios integrando aspectos de resiliencia y sustentabilidad que sean aplicables al contexto chileno. Al utilizar estos criterios en un proyecto, se podrá obtener una demanda energética igual a cero sin comprometer el desempeño del edificio en términos de confort interior.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar estrategias de diseño arquitectónico donde se integren criterios de Resiliencia y Sustentabilidad para ser incorporadas al desarrollo de proyectos de Edificios Educativos en Chile.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- 1) Identificar áreas de riesgo en Chile según la cantidad y tipo de desastres a las que se ven expuestas simultáneamente con el fin de elaborar una zonificación de riesgos de desastres naturales para nuestro país.
- 2) Revisar recomendaciones de diseño de edificios en el contexto de los diferentes desastres naturales identificados, con el fin de elaborar una lista de criterios y estrategias que puedan ser incorporados al diseño de edificaciones en el contexto chileno
- 3) Diseñar un Prototipo de Escuela para la zona de riesgo más representativa de la zonificación elaborada, con el fin de aplicar los criterios de resiliencia y sustentabilidad desarrollados.
- 4) Evaluar el prototipo en materias de desempeño energético, con el fin de determinar la efectividad y aplicabilidad de las estrategias propuestas.

### 1.5 Metodología de investigación.

La metodología que se utiliza para esta investigación es del tipo experimental – simulación (MHSEE 2018) considerando en cada etapa la recopilación de datos, el análisis de datos, la elaboración de una herramienta y su validación o aplicación. La metodología tiene como fin identificar riesgos en Chile y ubicarlos físico-territorialmente de manera de determinar ciertos criterios de diseño a incorporar en las edificaciones chilenas. Estos criterios se aplican elaborando distintos prototipos conceptuales de los que se elige aquel correspondiente a la zona más crítica, para ser desarrollado de modo más extenso, evaluándose finalmente con el fin de determinar su performance térmico-energético y la aplicabilidad de los criterios en el diseño de edificios.

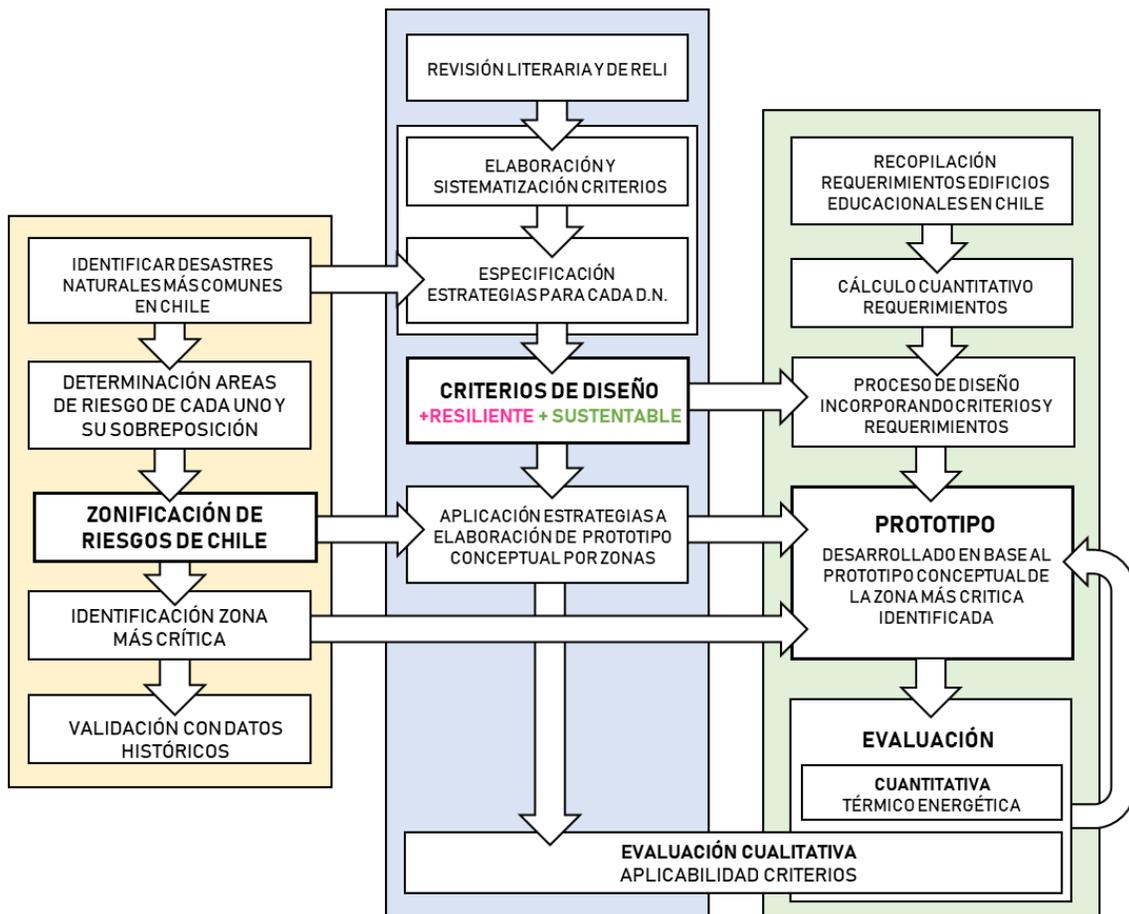


Figura 1.4: Diagrama de metodología utilizada (Fuente: Elaboración propia)

La metodología de investigación consta de tres etapas, que son las siguientes:

#### 1.5.1. Etapa 1: Identificación de zonas de riesgos

La primera etapa, está orientada a reconocer los contextos de riesgo en Chile. Nuestro país, particularmente, está expuesto a diferentes desastres naturales según la zona geográfica en que nos encontremos, por ello fue necesaria la elaboración de un “Mapa de Riesgo” donde se identifican áreas a partir de los diferentes riesgos naturales a los que se vea expuesta de manera simultánea. Esta zonificación se llevó a cabo considerando, primero, que el riesgo de terremoto es común para todo el país y luego se combinaron las diferentes cartas de zonificación de riesgos, disponibles en distintos organismos públicos, para los otros cuatro desastres con mayor latencia en nuestro país: Tsunamis, Incendios Forestales, Eventos Hidrometeorológicos y Volcanismo, obteniendo ocho zonas como resultado.

Actividades realizadas:

La Etapa 1 está orientada a cumplir con el Objetivo Específico N° 1, en relación con identificar las áreas de riesgo en Chile y los desastres naturales asociadas a ellas. Para ello se realizan las siguientes actividades:

- Identificar los desastres naturales de mayor riesgo en Chile.
- Se recopilan mapas de zonificación de riesgo correspondientes a esos desastres naturales.
- Se combinan los mapas recopilados.
- Se identifican diferentes áreas de riesgo según la cantidad de riesgos a la que está expuesta.
- Se nombran las zonas identificadas.
- Se identifica la zona más representativa en cuanto a su extensión.

#### 1.5.2. Etapa 2: Criterios de diseño para edificios resilientes y sustentables.

La segunda etapa se subdivide en dos etapas. La primera consiste en identificar aspectos de convergencia entre sustentabilidad y resiliencia a través de la revisión literaria y del análisis del sistema de certificación RELi®. Se establecen cuatro ámbitos: resistencia y seguridad; ecología y medioambiente; eficiencia energética y confort interior; bienestar y comunidad. Mediante el estudio exhaustivo de los requerimientos de RELi® y apoyado con literatura específica, se determinan 26 criterios de diseño que se agruparon a partir de sus objetivos comunes en 10 criterios generales, que son ordenados en torno a tres aspectos relevantes del proyecto de arquitectura:

Emplazamiento, Edificio e Instalaciones. Algunos de los criterios se formulan para aplicarse al contexto donde se inserta el edificio, especificando distintas acciones a seguir de acuerdo con cada uno de los desastres naturales latentes en el lugar de emplazamiento.

Actividades realizadas:

La Etapa 2.1 se orienta a cumplir el Objetivo Específico N°2 enfocado a determinar criterios de diseño integrando criterios de sustentabilidad y resiliencia. Para lograr aquello se realizaron las siguientes actividades:

- Se identifican criterios de diseño a partir de los requisitos y créditos de RELI®.
- Se identifican criterios de diseño a partir de los requisitos y créditos de otros sistemas de certificación como ENVISION, LEED Y CES.
- Se identifican criterios de diseño a partir de literatura especializada en la gestión de riesgo y recomendaciones de diseño para cada uno de los desastres detectados.
- Se combinan diferentes criterios identificando analogías o aspectos comunes entre ellos, con el fin de reducir el número.

En segunda instancia, se evalúa el alcance y aplicabilidad de los criterios desarrollados, por lo que fue necesario realizar un proyecto arquitectónico donde se incorporasen. Para ello se elabora un prototipo de edificio educacional, ya que se ha observado históricamente la función crítica que cumplen estos establecimientos en eventos de desastre natural. Para ello se recopila información acerca de las exigencias y las recomendaciones de diseño presentes en Chile esta tipología de edificios, en especial orientadas a programa, capacidades y confort interior, por lo que es de suma importancia determinar el lugar de emplazamiento del edificio.

Para ello se recurre a la primera etapa y precisar qué zona del Mapa de Riesgo Simultáneo era la más representativa de Chile. Se determinó la zona denominada como **7ZSIH** (Afecta simultáneamente a Sismos, Inundaciones y Eventos Hidrometeorológicos) debido a su extensión, población y predominancia cultural. Luego se incorporó información referente a la zonificación climática de Chile, donde fue posible establecer una relación entre el área con mayor densidad poblacional dentro de la macrozona SIH y la zona climática **5CI**, por lo que se pudo definir esta última como área donde emplazar el proyecto.

Actividades realizadas:

La Etapa 2.2 se orienta a cumplir el Objetivo Específico N°3, que está orientado a desarrollar prototipos de edificios educacionales a nivel conceptual. Las actividades que se realizaron para cumplir con él fueron las siguientes:

- Se agrupan las zonas de la zonificación de riesgos, según sus desastres naturales y las estrategias de diseño relacionados a ellos en macrozonas.
- Se identifican cuáles criterios de los desarrollados se incorporarán en el diseño de un prototipo genérico conceptual, el que está conformado por elementos arquitectónicos y constructivos que son capaces variar sus atributos para poder adaptarse a diferentes zonas.
- Se determina las variaciones de los atributos del genérico para cada macrozona y se diseñan los prototipos para cada una de ellas.

1.5.3. Etapa 3: Elaboración y evaluación de prototipos aplicando criterios de diseño.

En la etapa 3 se diseña completamente el prototipo correspondiente a la zona más crítica, en este caso la zona central de Chile a través de la incorporación de los criterios de diseño elaborados y la recopilación de requerimientos provenientes de distintas fuentes como normativas y manuales. Luego se evalúa el prototipo para determinar la aplicabilidad de los

- Se recopilan exigencias y recomendaciones de diseño provenientes de la normativa nacional vigente, manuales de diseño y los requerimientos en materias de calidad del ambiente interior de edificios educacionales.
- Con la información anterior se cuantifican las necesidades del prototipo en términos de superficie, construcción y ocupación. Además se diseñan perfiles y calendarios de ocupación.
- El proceso de diseño se lleva a cabo considerando factores cualitativos como son los criterios de diseño de resiliencia y sustentabilidad, y los parámetros cuantitativos que se obtuvieron en la recopilación de requerimientos.
- Se evalúa el prototipo en términos de demanda energética y confort térmico, y en términos cualitativos respecto de los criterios de diseño, con el fin de determinar la aplicabilidad de ellos en el proceso proyectual. La evaluación determina aspectos a mejorar, por lo que se hace necesario volver a la etapa de diseño a afinar el prototipo.

## Capítulo 2. Marco Teórico

### 2.1 Definición del concepto resiliencia

Resiliencia es un término que se ha utilizado recurrentemente, en diferentes contextos durante los últimos veinte años, contando con diferentes definiciones para él (Marchese et al., 2018; Saunders & Becker, 2015) y a pesar de que pareciera ser un concepto que se puede explicar de manera intuitiva, realmente es uno de los más difíciles de definir (Wang, Nistor, & Pickl, 2017). Es probable que esta dificultad resida en el hecho de que la definición de resiliencia cambia según el contexto y disciplina en el que se aplique, sin embargo, hay un general consenso entre los autores que la resiliencia es una cualidad de los sistemas y que es deseable de tenerla integrada en ellos (Klein, Nicholls, & Thomalla, 2003).

La palabra resiliencia viene del latín *resiliere* o *resilio* que significa recuperación. Este término comúnmente se refiere a la habilidad de una entidad o un sistema de volver a la normalidad después de que ocurre un evento interrumpe este estado (Hosseini, Barker, & Ramirez-Marquez, 2016; Klein et al., 2003). Unas de las primeras definiciones científicas de resiliencia la realizó Holling en 1973 desde el campo de la ecología, donde ya la determinaba como una cualidad y la relacionó con la capacidad de los sistemas de persistir a eventos adversos (Wang et al., 2017).

*La resiliencia determina la persistencia de las relaciones dentro de un sistema y mide la habilidad de ese sistema de absorber los cambios de estado variable, dirigir variables y parámetros, para subsistir. En esta definición resiliencia es una propiedad de los sistemas, y persistencia, o probabilidad de extinción, el resultado.* (Holling, 1973).

Durante los últimos años se han desarrollado diferentes aproximaciones a la resiliencia tanto en términos cualitativos -provenientes desde la ecología, teoría de los sistemas y desde la organización social - como en términos cuantitativos, desde donde se han desarrollado diferentes métodos con el propósito de medirla (Hosseini et al., 2016; Wang et al., 2017). En relación con lo anterior, Hosseini (2016), propone cuatro dominios o ámbitos más comunes donde la resiliencia se aplica: (1) Contexto Organizacional, relacionado fuertemente con el mundo de los negocios, de las empresas y las organizaciones, donde la resiliencia se aplica sobre la capacidad de volver a poner los sistemas en funcionamiento; (2) Contexto Social, relacionado con los individuos, grupos, comunidades y

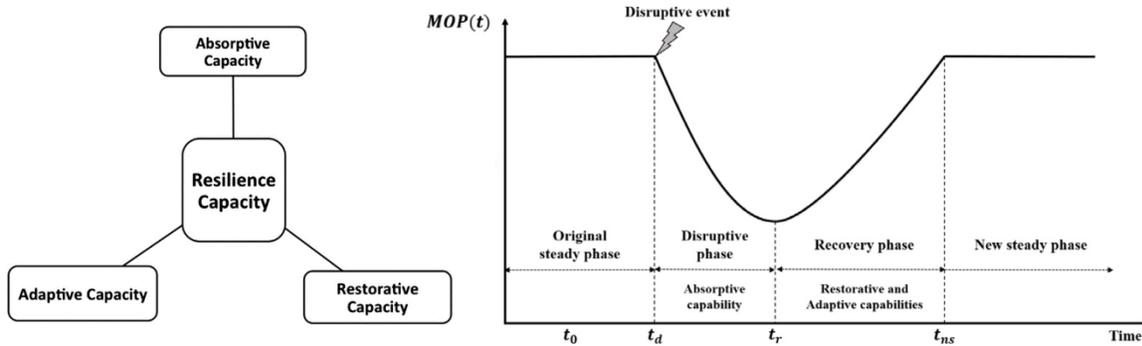
ambiental ante disturbios del tipo social, político o medioambiental, encontrándose fuertemente ligado a la prevención y la gestión de riesgos; (3) Contexto Económico, aplicado a las industrias, tecnologías e instituciones, donde se describe la capacidad de mantener un crecimiento aceptable en producción, empleo y bienestar en el tiempo” y; (4) Ámbito Ingenieril, que es el más nuevo en comparación con los otros y se relaciona con objetos diseñados para interactuar con el hombre, considerando sistemas de infraestructura críticos como los de distribución de agua, plantas nucleares, sistemas de transporte, represas, etc.

La creciente investigación en torno a la resiliencia ha posibilitado llevar este concepto desde un estado de definición a un estado de análisis, incentivando la proposición de modelos donde ha sido posible ser crítico con el enfoque clásico y se han podido determinar algunas de sus características y componentes. Saunders (2015), por ejemplo, considera que la definición inicial de resiliencia como la recuperación después de un desastre es un enfoque a corto plazo, ya que el concepto se relaciona más con la respuesta inmediata y las fases de recuperación de eventos críticos. Sugiere que la resiliencia tiene que ver precisamente con la capacidad adaptativa de los sistemas y las comunidades. (Saunders & Becker, 2015).

Por su parte, Francis (2014) plantea un modelo de resiliencia a partir de tres de sus capacidades: (1) la capacidad absorbente, que se define como la capacidad que tiene el sistema de absorber los impactos para minimizar las consecuencias, utilizando el mínimo esfuerzo posible; (2) la capacidad adaptativa es la habilidad del sistema de ajustarse a situaciones no deseadas experimentando algunos cambios y; (3) la capacidad recuperativa o restaurativa que se caracteriza en aquellos sistemas que vuelven rápidamente a la normalidad o incluso a condiciones mejores y más confiables. (Francis & Bekera, 2014).

Nan (2017), sobre lo anterior, caracteriza la resiliencia a partir del desempeño de los sistemas en cuatro fases: (1) Fase de estable original, es el desempeño inicial constante del sistema; (2) Fase disruptiva, donde el desempeño del sistema desciende hasta alcanzar su nivel mas bajo. Esta fase se relaciona con la capacidad absorbente y se utiliza la magnitud de *robustez* para evaluarla; (3) Fase de Recuperación, donde el desempeño del sistema aumenta hasta llegar a un nuevo nivel constante, pudiendo medirse a partir de magnitudes como la *rapidez*, la pérdida de *desempeño* y el *tiempo promedio de pérdida del desempeño*; (4) Nueva fase estable, que se relaciona con la capacidad

recuperativa del sistema, donde el desempeño de este se eleva hasta mantenerse en un nuevo nivel constante que puede ser igual, mayor o menor que el de la fase inicial (Nan & Sansavini, 2017)



**Figura 2.1: Triángulo de las capacidades de la resiliencia (Francis & Bekera, 2014) | Gráfico de las cuatro fases de la resiliencia, desempeño vs tiempo (Wang et al., 2017)**

En esta breve revisión del concepto de resiliencia y sus componentes, es posible comprender que constituye un concepto orgánico que se adapta de acuerdo con el contexto en el que se aplique. Para algunos autores (Cerè et al., 2017; Hosseini et al., 2016; Wang et al., 2017) es posible ordenar estas definiciones en dos ejes: uno desde una aproximación cualitativa al concepto y otro desde una cuantitativa [Fig. 2.1]. Hosseini (2016), sostiene además que las diferentes definiciones de resiliencia tienen algunos puntos en común: la mayoría de ellas reconocen como una parte crítica de la resiliencia la capacidad de absorber, adaptarse y recuperarse de eventos disruptivos; ninguna definición especifica un mecanismo para llegar a la resiliencia; algunos enfoques no consideran que los sistemas tienen que volver al estado inicial; es multidimensional; se reconoce que las actividades de preparación como necesarias para alcanzar la resiliencia.

Debido a este punto de convergencia, y como se mencionaba antes, el concepto resiliencia se ha utilizado y asociado ampliamente en la gestión de riesgos de desastres naturales, tanto a nivel urbano como en infraestructura crítica de las ciudades (Cerè et al., 2017) La presente investigación se enmarca dentro de este ámbito, aplicando el concepto sobre las edificaciones y el diseño de ellas, por lo que es posible que las definiciones orientadas al enfoque social e ingenieril sean las más acordes a utilizar. Al encontrarse además en el marco de resiliencia ante desastres naturales y el cambio climático será útil la definición que se indica en la Estrategia Internacional Para la Reducción

de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR) acordada en 2005 en la discusión sobre el Marco de Hyogo, tratado del que Chile es parte.

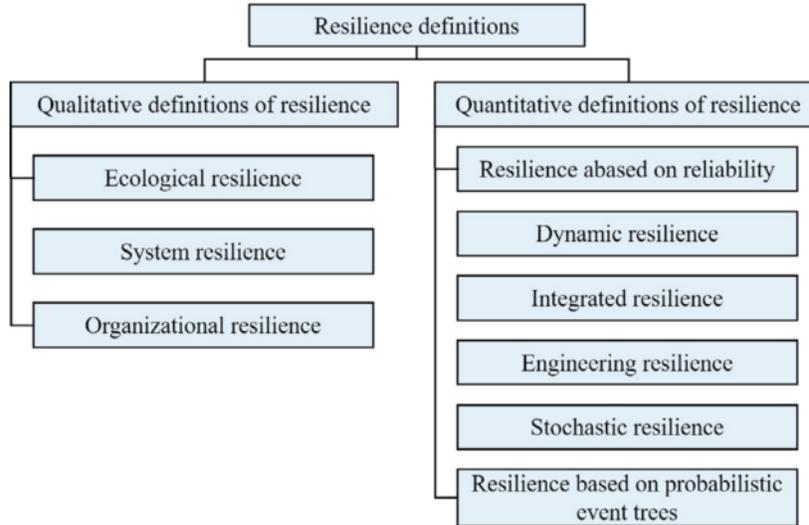


Figura 2.2: Marco de organización de las definiciones de Resiliencia y sus ámbitos de aplicación (Wang et al., 2017)

Tabla 2.1: Síntesis revisión de concepto de resiliencia

<b>¿Qué es Resiliencia?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad o propiedad de los sistemas a través de la que pueden enfrentar y sobreponerse a situaciones adversas.</li> <li>• Tiene múltiples definiciones según el contexto en que se aplique</li> <li>• Etimología: (lat) <i>resiliare resilio</i> : Recuperarse.</li> </ul>
<b>Clasificación de definiciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualitativas (posible de medir)</li> <li>• Cuantitativas (marco de aplicación teórica)</li> </ul>
<b>Ámbitos más comunes de aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizacional (Negocios, empresas, organizaciones)</li> <li>• Social (individuos, comunidades, medio ambiente)</li> <li>• Económico (industrias, instituciones, tecnología)</li> <li>• Ingenieril (dispositivos de interacción humana, infraestructura crítica)</li> </ul>
<b>Aspectos en común de las diferentes definiciones.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La capacidad de absorber, adaptarse y recuperarse, están presentes en la mayoría de las definiciones</li> <li>• No indican un mecanismo por el cual alcanzar la resiliencia.</li> <li>• Algunos ámbitos no consideran necesario que el sistema vuelva al estado inicial.</li> <li>• Se reconoce las actividades de preparación y recuperación necesarias en cualquier sistema resiliente.</li> </ul>

<b>Capacidades de los sistemas resilientes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de absorción</li> <li>• Capacidad de adaptación</li> <li>• Capacidad de recuperación / restauración</li> </ul>
<b>Fases de la resiliencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase estable inicial</li> <li>• Fase Disruptiva</li> <li>• Fase de Recuperación</li> <li>• Fase estable nueva.</li> </ul>

## 2.2 Resiliencia del ambiente construido

### 2.2.1 Resiliencia en el marco de los desastres naturales

Se ha revisado que, conceptualmente, la resiliencia se define como la capacidad de un sistema de soportar perturbaciones o alteraciones a su estabilidad. En términos generales estas perturbaciones pueden ser de origen interno o de origen externo. Las recientes investigaciones respecto con los factores de origen externo han puesto especial atención a los desastres naturales (Cerè et al., 2017) Un desastre natural se puede definir como el resultado de un peligro proveniente desde la naturaleza y de carácter contundente, que ocurre sobre una comunidad altamente vulnerable, generando mortalidad y morbilidad (Prasad & Francescutti, 2017). Han afectado a más de 200 millones de personas en todo el mundo y han matado otras 100.000 generando pérdidas de billones de dólares, principalmente en los países más pobres (P. Brown, Daigneault, Tjernström, & Zou, 2018).

Es claro que la preocupación por el impacto de los desastres naturales y sus consecuencias son de carácter mundial. En el contexto institucional, Naciones Unidas realiza en 1994 por primera vez la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC). La Oficina de las Naciones Unidas para Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) realizó la primera conferencia mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales en 2001. Durante la segunda realizada en 2005 se aprobó el Marco de Acción de Hyogo para el aumento de la resiliencia de las naciones y comunidades ante desastres naturales que define entre otros temas, las prioridades de acción para el periodo de acción de 2005-2015 en materias de resiliencia ante desastres naturales, así como su aplicación y seguimiento. (ONU, 2005) Esta conferencia es importante ya que por primera vez incorpora el concepto resiliencia, definiéndolo a partir de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD):

*Por "resiliencia" se entiende la "capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesto a amenazas para adaptarse, resistiendo o cambiando, con el fin de alcanzar o mantener un nivel aceptable en su funcionamiento y estructura. Viene determinada por el grado en que el sistema social es capaz de organizarse para incrementar su capacidad de aprender de desastres pasados a fin de protegerse mejor en el futuro y mejorar las medidas de reducción de los riesgos" (EIRD ONU, 2004)*

La tercera conferencia se realizaría en 2015 donde se aprobó el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgo de Desastre, donde se definen 7 objetivos globales y 4 marcos de acción, reconociendo a los estados como el actor principal en la reducción de riesgos de desastres, con responsabilidad compartida entre diferentes actores.

En el pasado, la mayoría de los desastres se relacionaba mayormente a la naturaleza, sin embargo, en el presente, se observa que son mayormente debido a acciones humanas, particularmente por el efecto del calentamiento global y las consecuencias del cambio en los usos de suelo (UNFCC, 2014). La participación de estos últimos en los desastres naturales se ha logrado evidenciar debido a que desde 1940 hasta hoy se ha registrado un importante aumento en su ocurrencia, siendo los principales de ellos los relacionados con fenómenos hidrometeorológicos: inundaciones, sequías, incendios forestales y temperaturas extremas (Munang, Thiaw, Alverson, Liu, & Han, 2013).

Los desastres naturales se caracterizan por que su impacto es amplio y severo, requiere esfuerzos intergubernamentales para su recuperación y porque afecta largamente a los recursos del país (Alexander, 2015). Se consideran como recursos vulnerables a los individuos, los edificios, la infraestructura urbana, bienes agrícolas, ecosistemas e infraestructura natural (IPCC, 2012). En este contexto, entre 1990 y 2013 existió una clara correlación entre el aumento de pérdidas económicas de los países y el número de edificaciones afectadas, principalmente viviendas, edificios educacionales y centros de salud. Los efectos de los desastres en las edificaciones se dejan ver en términos estructurales y no estructurales y afectan tanto a la construcción, como a los sistemas y a sus ocupantes.

### 2.2.2 Resiliencia en el ambiente construido y comunidad

Que los edificios sean unos de los principales recursos urbanos afectos a los desastres naturales ha generado de que el término resiliencia también se aplique en ellos. Una definición cualitativa de

resiliencia aplicada a las edificaciones y el entorno construido apunta a la capacidad de resistir físicamente y recuperarse rápidamente de eventos disruptivos. Se identifica que los edificios cumplen un rol en la resiliencia de las comunidades, ya que algunos de ellos constituyen instalaciones e infraestructura crítica que necesita estar funcional durante y después de un desastre para apoyar a la comunidad. Así también, los edificios necesitan estar operativos dentro de un período de tiempo en el caso que sufrieran algún tipo de daño, con el fin de disminuir el impacto en la comunidad. Esto indica que la resiliencia en las edificaciones está relacionada con la comunidad; con mantener niveles aceptables de funcionalidad antes y después de los desastres naturales, y recuperarla completamente dentro de un período de tiempo determinado (McCallister, 2013).

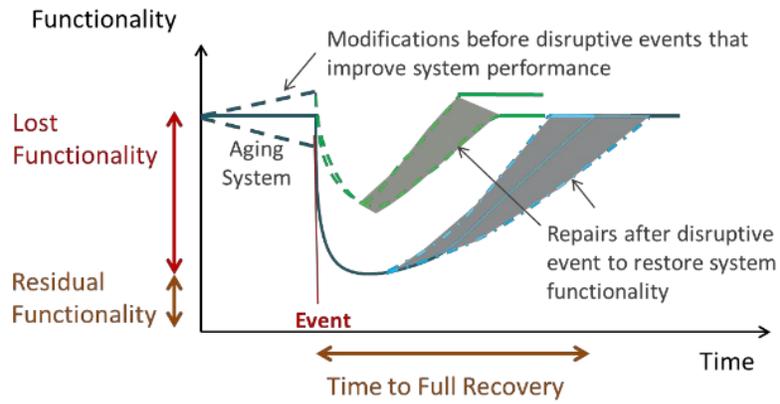
La resiliencia en el entorno construido se encuentra enmarcada dentro de un enfoque ingenieril y lo técnico (funcionamiento de las edificaciones, resistencia) y a la vez dentro de uno socio-organizacional (sociedad medio ambiente, economía). Las definiciones de resiliencia en el entorno construido que se encuentran en la literatura son claves para determinar lo anterior. Por ejemplo, Bruneau (2003) determina la resiliencia en base a cuatro dimensiones: (1) **Resiliencia Técnica**, que se refiere a la habilidad de los sistemas físicos de tener un desempeño adecuado ante eventos críticos; (2) **Resiliencia Organizacional**, relacionada con la capacidad de los gestores de riesgo de tomar decisiones y acciones para evitar las crisis o reducir los impactos; (3) **Resiliencia Económica**, orientada a la habilidad de afrontar los gastos que conlleva una crisis; (4) **Resiliencia Social**, referente a la habilidad de la sociedad disminuir los impactos de una crisis ayudando en primera instancia.

Bruneau, alternativamente, conceptualiza la resiliencia existente en los sistemas físicos y sociales a través de cuatro principios que usualmente se denominan como las 4 R's: (1) **Robustez** (*Robustness*) orientada a la fuerza o la habilidad de los elementos a soportar un nivel determinado de estrés sin sufrir mayor degradación o perder sus funciones; (2) **Redundancia** (*Redundancy*) relacionado al grado en el que los elementos son sustituibles, de modo de satisfacer los requerimientos para mantener las funciones del sistema cuando exista una disrupción. Se define también como la capacidad del sistema de generar otras alternativas para recuperarse, ya que existen elementos disponibles que proporcionan las mismas o similares funciones que la de los alterados (Cerè et al., 2017) (3) **Respuesta** (*Resourcefulness*), consistente en la capacidad de identificar problemas, establecer prioridades y movilizar recursos en condiciones críticas. Se puede entender también como la capacidad de aplicar materiales y recursos humanos para ello; (4) **Rapidez** (*Rapidity*) en

relación con la capacidad de lograr objetivos oportunamente para contener las pérdidas y evitar futuros alteraciones. (Bruneau et al., 2003)

En las dos definiciones anteriores se puede atender a que la resiliencia en el entorno construido comprende el aspecto ingenieril y físico de las edificaciones e infraestructura, pero, por otro lado, da cuenta de una dinámica de reciprocidad entre la comunidad y las edificaciones que está constituida por las prestaciones y servicios que los edificios le ofrecen a las personas y como las personas preparan o reparan los edificios en situaciones de eventos críticos para mantener estas prestaciones. Esto es posible de observar en la figura 2.3 que corresponde a un diagrama de resiliencia en el entorno construido: en la medida que se hagan modificaciones ante de los eventos críticos las funcionalidades del edificio se mejora por lo tanto el valle que provoca la disrupción es menor que uno que no se preparó o se deterioró por efectos del tiempo. La ascensión de la curva hasta la recuperación de la estabilidad del sistema, en este caso, se logra gracias a las reparaciones.

Según Ceré (2017) algunos autores difieren con respecto al rol que cumple la etapa de anticipación. Si bien, en algunos casos se considera como un rol fundamental de preparación al desastre, en otros no es suficiente para garantizar la seguridad del edificio debido a que se cuenta con un nivel de incertidumbre muy alto respecto a la magnitud del evento. Este nivel de incertidumbre podría abordar a través del diseño edificio. Con respecto a la etapa de reparación es posible comprenderla desde la teoría del ciclo adaptativo, donde los sistemas experimentan diferentes fases durante su vida (nacimiento, desarrollo, conservación, colapso y una eventual renovación). Otros autores indican que lo que se conoce como fase de recuperación es un estado constante en los sistemas, encontrándose siempre en una situación intermedia entre vulnerabilidad y adaptación. Brundon (2005) propuso que la resiliencia en los medios organizativos podía ser dividida en sólo dos aspectos claves: vulnerabilidad y capacidad adaptativa, donde la vulnerabilidad es la facilidad con la que los sistemas organizativos son empujados a un nuevo estado y el grado en el que son capaces de sobrellevar este cambio es su capacidad adaptativa.



Adapted from Bruneau, 2003 and McDaniels, 2008

**Figura 2.3: Esquema de resiliencia aplicado al entorno construido.** (Mcallister, 2013)

Vulnerabilidad y preparación parecen ser dos conceptos claves en relación con la resiliencia del entorno construido y las comunidades que los habitan, por lo que más recientemente Ceré (2017) propone un marco conceptual de resiliencia, donde propone que para afrontar y gestionar la vulnerabilidad del medio construido ante eventos críticos y aumentar la resiliencia en los sistemas y las comunidades se deben considerar los siguientes aspectos: (a) **Características intrínsecas del Entorno Construido**, que corresponde a las características inherentes del entorno construido relacionadas con los componentes estructurales y no estructurales. (b) **Peligro Geo-ambiental**: Eventos geo-ambiental (terremotos, aluviones, actividad volcánica, erosión, tsunamis e inundaciones) de origen natural o antrópico con el potencial de crear daños. (c) **Desastre Geo-ambiental**: Destrucción del funcionamiento de una comunidad causado por un peligro geo-ambiental. (d) **Resiliencia del entorno construido**: habilidad intrínseca del entorno construido de reacciones positivamente antes, durante y después de la presencia de eventos adversos y se define como la capacidad de absorber disturbios externos para mantener los estados iniciales de los sistemas o alcanzar un nuevo estado en el que se pueda funcionar con normalidad. (e) **Vulnerabilidad del entorno construido**: El grado en el que se ve adversamente afecto a la ocurrencia de un evento peligroso. (f) **Riesgo del entorno construido**: el grado de exposición ante un peligro geo-ambiental.

Es importante recalcar el hecho que las distintas aproximaciones a la resiliencia en el medio construido se enmarcan siempre entre el contexto técnico y el socio organizativo, abordando la vulnerabilidad de las edificaciones no sólo en términos de su integridad física, sino también de los

servicios y funciones que le proveen a la comunidad. El ser humano generalmente es el centro de cualquier enfoque de la resiliencia, sin embargo, habitamos en un medio que está afecto a los impactos, a las pérdidas y dependemos de las habilidades que tenga este medio para lidiar con ellos. Desde un punto de vista ecológico, el medio construido es nuestro hábitat y si aceptamos la definición de resiliencia desde un punto de vista adaptativo, las edificaciones como estructuras dinámicas complejas están sujetas a ese proceso de adaptación (Manyena, 2006).

**Tabla 2.2: Síntesis revisión de concepto de resiliencia en el ambiente construido**

<b>Marco Teórico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento Global (Adaptación)</li> <li>• Desastres Naturales (Preparación, resistencia y recuperación)</li> </ul>
<b>Aplicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entorno construido</li> <li>• Edificaciones</li> <li>• Comunidades que habitan el entorno construido</li> </ul>
<b>Enfoque</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingenieril</li> <li>• Socio-organizativo</li> </ul>
<b>Definición</b>	Mantener niveles aceptables de funcionalidad antes y después de los desastres naturales, y recuperarla completamente dentro de un período de tiempo determinado (Mcallister, 2013)
<b>Institucionalidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ONU</li> <li>• UNFCCC</li> <li>• UNISDR</li> <li>• EIRD</li> <li>• Marco de Acción de Hyogo (2005-2015)</li> <li>• Marco de Sendai (2015-2030)</li> </ul>
<b>Tipos de resiliencia en sistemas socio-organizativos</b> (Bruneau 2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica</li> <li>• Organizacional</li> <li>• Económica</li> <li>• Social</li> </ul>
<b>Propiedades de la resiliencia en sistemas socio-organizativos</b> (Bruneau 2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robustez</li> <li>• Redundancia</li> <li>• Respuesta</li> <li>• Rapidez</li> </ul>

### 2.2.3 Resiliencia en edificaciones

La resiliencia en edificaciones tiene como fin último aumentar la resiliencia de las comunidades que habitan el entorno construido. Es un área de investigación reciente y se ha ligado con el desarrollo

de estándares para el diseño y la construcción de edificaciones. (Hosseini et al., 2016), dejando ver que se ha vuelto completamente necesario que los edificios se diseñen incorporando características que puedan soportar los efectos del impacto climático. La UNFCC (2006) indica la necesidad de cambiar las condiciones arquitectónicas y establecer nuevos códigos de construcción de edificios como medida anticipatoria a los desastres naturales. Otros autores indican, por ejemplo, la necesidad de incrementar la habilidad del medio físico para soportar estos eventos. Klein (2003) pone como ejemplo sería aumentar la capacidad de los sistemas colectores de aguas lluvias debido a la proyección en el aumento de precipitaciones producto del cambio climático y mantener buenas prácticas con respecto al uso de suelo.

En la actualidad todas las recomendaciones de diseño en edificaciones se enmarcan en un enfoque de la resiliencia que es estructural y está relacionado con la capacidad de las estructuras de mantener niveles de funcionalidad aceptables durante y después de un desastre, tienen un desempeño satisfactorio soportando condiciones severas, facilitan la evacuación de los ocupantes y proporcionan el tiempo suficiente para enfrentar efectos adversos. Esto se puede lograr mediante la incorporación de diferentes estrategias de diseño para asegurar la respuesta de los edificios a actividades sísmicas, soportar incendios, etc. (Naser & Kodur, 2018) Si bien, este enfoque se concentra totalmente en la resistencia de las edificaciones y la capacidad de soportar físicamente los desastres naturales, existen otros ámbitos que no se consideran y que se relacionan con las personas que habitan los edificios y las comunidades que hacen uso de ellos. Algunos autores identifican una diferencia entre “resistente a los desastres” y “resiliente a los desastres” por la razón de que, como ya se ha visto en extenso, resiliencia significa la habilidad de recuperarse de una perturbación y resistencia se define como la habilidad de resistir. Geis (2000) indica que es más importante la resistencia a los eventos catastróficos que la resiliencia pues considera que es una tarea más crítica de realizar. Sin embargo, indica también que la aproximación desde la resistencia requiere de una mirada holística, de modo que debe preocuparse por el funcionamiento de las conexiones y relaciones, servicios y usos, capacidades tamaños y escalas de todos sus sistemas y componentes, además de la capacidad estructural del edificio como del uso del suelo (Geis, 2000).

Lo cierto es que en ambos enfoques se requiere que la resiliencia, o resistencia, en edificios se aborde de manera holística y multi perspectiva, con estudios multi escalares que permitan comprender la complejidad de los sistemas y sus componentes.

En este sentido Burroughs (2016) propone una herramienta de evaluación holística de resiliencia en edificios, donde se consideran los siguientes aspectos de las edificaciones: (1) Dimensión Física, referido al diseño configuración física, materiales e ingeniería respecto al edificio. (2) Dimensión de infraestructura, relacionada con la conexión y la confiabilidad y calidad que tengan sistemas como el agua, la electricidad, comunicaciones y transportes a nivel regional. (3) Dimensión medioambiental, referida a la resiliencia del edificio ante fenómenos medioambientales de acuerdo con su sitio de emplazamiento, de modo de identificar cómo se puede adaptar a él (4) Dimensión socioeconómica con relación al valor del edificio y su resiliencia ante posibles eventos críticos económicos, considera también la ocupación del edificio y el bienestar y seguridad de los usuarios (5) Dimensión Política, que incluye el marco legal y legislativo aplicado al diseño, funcionamiento y operación de los edificios.

McAllister (2013) indica que para incorporar exitosamente la resiliencia en las edificaciones se debe considerar la categorización de los riesgos, la funcionalidad del edificio y su recuperación. Es vital desarrollar métricas que evalúen el desempeño del edificio en relación con estos aspectos, por ejemplo, la categorización de los edificios en relación con su performance de resiliencia que involucre ámbitos como la capacidad de resistir impactos, el tiempo que toma su recuperación, su capacidad de funcionar durante eventos críticos. Es vital, además, proponerse objetivos de desempeño de los edificios en situaciones de desastre y desarrollar mecanismos para evaluar el cumplimiento de ellos.

Los autores en general están de acuerdo en que el modo de alcanzar y desarrollar edificios que contribuyan a la resiliencia de las comunidades es a través de la elaboración de recomendaciones de diseño, estándares y normas que se reflejen en las leyes de construcción de cada país. Para ello es necesario involucrar a todos los actores participantes en el diseño de edificios: profesionales, propietarios, sector público y el sector privado, además de miembros activos de la comunidad. (Burroughs, 2017; Geis, 2000; Mcallister, 2013), además de incorporar la tecnología necesaria en las edificaciones para poder endurecer su capacidad de resistencia, en términos de materiales y sistemas. Si bien, algunos autores rescatan las prácticas de construcción vernácula como criterios de diseño para aumentar la resiliencia a través de una mayor adaptación de los edificios contemporáneos el contexto del cambio climático, particularmente en materias de confort térmico y calidad del ambiente anterior (Rubio-Bellido, Pulido-Arcas, & Cabeza-Lainez, 2015) otras investigaciones apuntan a la posibilidad de incorporar tecnología de automatización en las

edificaciones e infraestructura crítica, que interactúen con sistemas de monitoreo de las condiciones ambientales en materias de desastres naturales, con el fin de que el edificio pueda regular su performance en base a ellos, lo que se denomina como infraestructura cognitiva (Naser & Kodur, 2018). El desarrollo, además, de materiales que se reparan por si solos (*Selfhealing Materials*) y otros con capacidad de retomar formas iniciales luego de experimentar transformaciones (SMPs) se encuentran dentro la categoría que se ha denominado como “Smart Materials” (Zhang et al., 2018) y su aplicación podría contribuir enormemente a la resiliencia en las edificaciones.

**Tabla 2.3: Síntesis revisión de concepto de resiliencia en edificaciones**

<b>Definición</b>	La resiliencia en edificaciones tiene como fin último aumentar la resiliencia de las comunidades que habitan el entorno construido. Es un área de investigación reciente y se ha ligado con el desarrollo de estándares para el diseño y la construcción de edificaciones (Mcallister, 2013)
<b>Aspectos de la Resiliencia en Edificaciones</b> (Burroughs 2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensión Física</li> <li>• Dimensión de Infraestructura</li> <li>• Dimensión medioambiental</li> <li>• Dimensión socioeconómica</li> <li>• Dimensión política</li> </ul>
<b>Marco regulatorio</b>	La resiliencia en edificaciones debería desarrollarse a través de los siguientes instrumentos regulatorios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Códigos de Construcción</li> <li>• Normas técnicas</li> <li>• Recomendaciones de diseño</li> <li>• Sistemas de evaluación y certificación</li> <li>• Desarrollo de métricas</li> </ul>
<b>Metodología</b>	Se deben involucrar a todos los actores posibles del sector público y privado, profesionales, técnicos, gestores de riesgo, propietarios y miembros de la comunidad con el fin de desarrollar políticas y normas de construcción para edificaciones resilientes.
<b>Recursos para la resiliencia al C.C. y D.N.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rescate de estrategias de diseño pasivo vernáculas</li> <li>• Incorporación de tecnologías de monitoreo</li> <li>• Infraestructura Cognitiva</li> <li>• Materiales SMART</li> <li>• Materiales autoreparantes y con memoria de forma.</li> </ul>

### 2.3 Integración de resiliencia y sustentabilidad

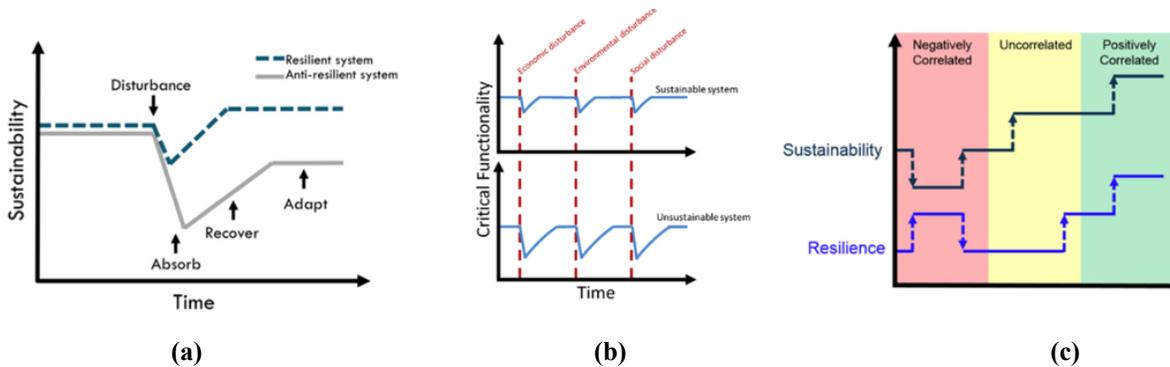
Como se ha revisado, varios autores coinciden con el aumento del uso del término resiliencia en el ámbito científico durante los últimos años. Una particularidad de este aumento es que recurrentemente se utiliza junto con el concepto de sustentabilidad, sin embargo, los autores no están de acuerdo de la relación entre ambos términos ya que, mientras algunos observan que ambos conceptos son lo mismo otros aducen que no existe ninguna relación (Marchese et al., 2018)

En el contexto de los desastres naturales, algunos autores pudieron establecer una relación entre sustentabilidad y resiliencia a partir de la aplicación de este último concepto en la planificación y uso de suelos para la resiliencia urbana, donde se encontraron con el primero (Saunders & Becker, 2015), refiriéndose a la sustentabilidad y resiliencia como principios guía para minimizar el efecto de desastres y recuperar rápidamente la vitalidad socioeconómica en las comunidades (Tobin, 1999). Sin embargo, han surgido preguntas con respecto a la correlación entre ambos conceptos: ¿Es un sistema resiliente uno sustentable también? Para ser sustentable, ¿se necesita ser resiliente?

Marchese et al. (2018) caracterizan la correlación entre sustentabilidad y resiliencia a partir de tres marcos de ordenamiento, con el fin de identificar maneras en que ambos conceptos pueden ser implementados de manera integrada: (1) **Resiliencia como componente de la Sustentabilidad**, donde se describe a la resiliencia como parte integral de un concepto más amplio que sería la sustentabilidad, la que constituye el primer objetivo. Opera de manera que, si se aumenta la resiliencia, aumenta la sustentabilidad del sistema, sin embargo, si se aumenta esta última no aumenta la primera. Algunas afirmaciones que acompañan este marco es que sin resiliencia un sistema posee sólo una sustentabilidad frágil y que para que un sistema sea sustentable se deben considerar las vulnerabilidades que posea respecto a eventos disruptivos. Este marco es posible de observar aplicado a sistemas de suministro de agua, uso de prácticas tradicionales en el sector agrícola y agroforestal. En este contexto la sustentabilidad pasa de ser segura o estática a un estado constante de renovación y adaptación; (2) **Sustentabilidad como componente de Resiliencia**, en el que la resiliencia es el objetivo último de los sistemas y la sustentabilidad se propone como un factor tributante a ella.

Al contrario que en el caso anterior, en este marco cuando se aumenta la sustentabilidad se aumenta la resiliencia del sistema, sin embargo, si se aumenta esta última no se obtiene necesariamente un sistema más sustentable. El enfoque de este marco es primeramente mantener

la funcionalidad de los sistemas durante y después de los eventos críticos. Se ha observado aplicado generalmente a cadenas de suministro, de modo que, por ejemplo, una que no utilice materiales que no sean tóxicos tendría menos pérdidas como resultado de un accidente químico o una que entregue mayor bienestar a sus trabajadores podría superar más rápidamente una crisis a través del capital social de sus empleados; (3) **Resiliencia y Sustentabilidad como objetivos separados**, donde se describe la resiliencia y la sustentabilidad como conceptos con objetivos separados, sin jerarquía, que se pueden complementar o competir entre ellos. Se ha observado aplicado en los campos de la infraestructura civil, economía, planificación urbana, resiliencia comunitaria y políticas públicas. En el marco de las edificaciones y la infraestructura civil se debe considerar, que los códigos de construcción, las políticas de regulación de sustentabilidad y códigos voluntarios como sistemas de certificación, se encuentran separados de la resiliencia que se encuentra más bien contenida en, por ejemplo, las normas con los requerimientos para la resistencia sísmica. Que estos dos conceptos se encuentren separado podrían traer conflictos y bajos desempeños en ambos sentidos.



**Figura 2.4: Marcos de ordenamiento entre resiliencia y sustentabilidad (a) Resiliencia como componente de la sustentabilidad (b) Sustentabilidad como componente de la Resiliencia (c) Sustentabilidad y Resiliencia como conceptos con objetivos separados (Marchese et al., 2018)**

En relación con lo anterior, Saunders (2015) indica que es posible determinar a través de la definición de ambos conceptos que un sistema puede ser sustentable solo si posee algún grado de resiliencia, lo que está reflejado en la definición de la Comisión por el Desarrollo Sustentable de la ONU que sugiere que el desarrollo sustentable no puede ser realizado sin contar con sociedades que sean resilientes a desastres naturales. Agrega que esto no significa que no se puede alcanzar la sustentabilidad si no es a través de la resiliencia, sino que significa que los sistemas resilientes pueden ser también no sustentables, lo que se puede considerar si se analizan históricamente en

los desastres que han azotado las ciudades en países desarrollados, donde han sido una oportunidad para generar un desarrollo más sustentable hacia el futuro.

Bocchini (2014) indica que entre sustentabilidad y resiliencia existen una vasta cantidad de similitudes y características en común, por ejemplo, que ambas tratan de optimizar los sistemas con respecto al diseño estructural, materiales utilizados, estrategias de gestión del impacto en la sociedad, etc. Indica, además, que resiliencia y sustentabilidad son conceptos complementarios y deberían utilizarse de manera integrada, acordando en que considerarlos por separados en términos teóricos como prácticos, ha dejado ver severas ineficiencias en los sistemas. Bocchini (2014) identifica además aspectos más y menos coincidentes entre resiliencia y sustentabilidad, produciéndose las mayores coincidencias en que las dimensiones de ambos conceptos consideran el contexto económico, ecológico, social; en que las metodologías de cálculo para ambos conceptos consideran estudio de ciclo de vida, decisiones en base a criterios múltiples, modelación simulación, y cálculo; que ambos se han aplicado a los edificios y han utilizado los códigos de construcción para establecerse. Ceré et al. (2017) indican que existe una relación crucial entre sustentabilidad y resiliencia en el ámbito de las construcciones ya que los edificios también contribuyen desde su parte al calentamiento global ya que son un importante consumidor de energía y constituyen una fuente emisión de gases invernadero. Saunders (2014), por otro lado, indica que los sistemas resilientes deberían ser sustentable, para poder recuperarse de las catástrofes utilizando prácticas más sostenibles. Además, el sistema sustentable debería ser resiliente para poder soportar los disturbios y mantener esta condición

Una de las principales diferencias que los autores identifican entre resiliencia y sustentabilidad está relacionada a las escalas temporales de implementación; mientras en la sustentabilidad los esfuerzos se realizan entendiendo escalas de tiempo más grandes, por ejemplo, *para las futuras generaciones*, según la definición de sustentabilidad del Informe Burdttland (1987), la resiliencia se entiende en escalas temporales más inmediatas, para proteger, por ejemplo a los sistemas a corto plazo ante posibles eventos críticos (Marchese et al., 2018). Por otro lado, es posible identificar que en la sustentabilidad se realizan acciones tendientes a lograr la transformación de los sistemas y los objetivos se miden en los *outputs* y resultados; en la resiliencia se prioriza la adaptación y se da preferencia al proceso de desarrollo ante que a la obtención de resultados, lo que sugiere que la resiliencia no involucra la elección de distintos resultados, pero si la elección de procesos de funcionamiento de los sistemas (Redman, 2014).

Varios autores concuerdan en que definitivamente existen características en común entre resiliencia y sustentabilidad sin embargo, se deben realizar esfuerzos para poder integrarlos como priorizar los objetivos de resiliencia o sustentabilidad en los sistemas, capitalizar las sinergias entre ambas y solucionar las incompatibilidades (Marchese et al., 2018) Reconocer e identificar más ampliamente los factores de resiliencia pueden acercarla a la sostenibilidad, de modo que los objetivos puedan estar más estrechamente alineados (Saunders & Becker, 2015) En términos urbanos se debe explorar las capacidades en que los actores tienen que interactuar con el fin de alcanzar los objetivos de la sustentabilidad y resiliencia a través de procesos de codesarrollo (Redman, 2014; Romero-Lankao, Gnatz, Wilhelmi, & Hayden, 2016); En el ámbito de las edificaciones se debe definir una criterio claro de desempeño mediante el desarrollo de sistemas regulatorios, incluyendo sistemas de verificación y métodos. Se indica que el desafío está en incorporar ambos conceptos en los códigos de construcción (Marjaba & Chidiac, 2016; Meacham, 2016); Es necesario desarrollar e identificar criterios en diseño de edificaciones donde resiliencia y sustentabilidad tenga objetivos comunes, en el caso de que sea contradictorio se debe explorar ampliamente la información de los edificios, en su ocupación, programa y emplazamiento, para lo que puede ser beneficioso utilizar modelamiento BIM (Phillips, Troup, Fannon, & Eckelman, 2017) Cuando se produzcan conflictos entre los objetivos de la resiliencia y la sustentabilidad en su aplicación a la infraestructura urbana, se debe realizar un análisis de los posibles resultados, siendo la recolección de los datos necesarios para obtenerlos el mayor desafío (Bocchini, Frangopol, Ummenhofer, & Zinke, 2014).

Además de mencionar potenciales caminos por donde lograr la integración de resiliencia y sustentabilidad en diferentes ámbitos, la breve revisión interior indica, como se mencionaba, que se deben *realizar esfuerzos* para su integración, lo que evidencia que no existe una relación natural ni inherente entre ambas en los sistemas. Además, es posible rescatar que esta revisión determina que la integración entre resiliencia y sustentabilidad constituyen efectivamente un problema de investigación en el ámbito de la arquitectura y la construcción y que, según la literatura, son tendientes al desarrollo de códigos de construcción, criterios de diseño, herramientas de verificación y el desarrollo de sistemas de medición e incluso varios autores proponen integrar la resiliencia en sistemas de certificación debido a la buena experiencia que se ha tenido con LEED o BREAM en el ámbito de la sustentabilidad.

## 2.4 Resiliencia en edificios educacionales

### 2.4.1 La escuela: comunidad y territorio.

En nuestro país la educación tiene una gran importancia dentro de la sociedad, lo que ha impulsado un aumento en el gasto público y el desarrollo de diferentes reformas educativas por parte del gobierno en los últimos años (MINEDUC, 2016). La legislación chilena define un edificio educacional como “el conjunto organizado de áreas libres, obras exteriores y edificios, con recintos para administración, servicios y docencia, de los que dispone un establecimiento educacional de los niveles de enseñanza, parvularia, básica o media, de manera de satisfacer en forma permanente las necesidades derivadas de las actividades sistemáticas del proceso educativo” y es la institución encargada en impartir la educación formal en Chile, convirtiéndose en el segundo agente socializador luego de la familia, por lo que tanto niñas y niños le atribuyen un gran valor (Villarroel 2012).

La escuela, además, es el edificio donde gravita lo que se denomina como “comunidad escolar” compuesta por la escuela, a través de los docentes, directivos y funcionarios, y por las familias, a través de padres y apoderados. La interacción entre estos referentes educativos permite la generación de vínculos entre docentes-familiares o entre las instituciones de la escuela y el hogar, contribuyendo a la generación de una íntima relación entre la escuela y la comunidad (Pereda, 2003), constituyéndose como un espacio de transmisión de valores, de formación para la ciudadanía y lugar público institucionalizado (Redón Pantoja, 2010) donde convergen distintos actores ciudadanos; organizaciones, centros de trabajo, instituciones de diversa naturaleza y otros centros docentes, los que se complementan con el entorno familiar en el proceso de socialización. Estos factores provocan una interacción social donde se van desarrollando sentimientos de pertenencia o de bien común, promoviendo acciones colectivas a favor del crecimiento personal y colectivo, manifestando sentimientos de pertenencia como expresión de su identidad comunitaria (Gómez Cardoso, 2010), acercando el concepto de comunidad local al de “territorio” (MINEDUC, 2017).

El término “territorio”, entonces, no solo comprendería el contexto geográfico y cultural inmediato donde se emplaza el edificio educacional, sino que también “(...) *es el lugar donde habitan niños, niñas y jóvenes con sus familias, y presenta ciertas particularidades relacionadas con necesidades y problemas específicos, pero también está enriquecido en su diversidad con identidades, hábitos y características comunes. Dicha condición hace de cada comunidad un espacio absolutamente*

*particular y diferente de otros. Esta comprensión hace una distinción y amplía la idea de comunidad educativa; no la restringe al escenario de la escuela, sino que se abre al espacio público local, incluyendo como agentes de enseñanza y aprendizaje a las familias, clubes, iglesias, organizaciones de vecinos, bibliotecas, organizaciones productivas, instituciones diversas, con el objetivo de construir un proyecto educativo y cultural que surja de las necesidades y posibilidades de la comunidad.”* (MINEDUC, 2017). En este contexto, la ley de Jornada Escolar Completa de 2004 estableció que los sostenedores educacionales pueden poner a disposición de la comunidad las instalaciones escolares con el propósito de desarrollar actividades culturales, deportivas y de beneficio social (Ley 19.979, 2004)

La escuela se constituye como un espacio de convergencia de la comunidad en el territorio, actuando como aglutinante de la colectividad. Este tipo de espacios son importantes ya que dotan de significado el espacio urbano, permitiendo la apropiación de lugares por parte de los sujetos, quienes los significan y se identifican con ellos (Rizo, 2006). Estos procesos de conexión se han denominado de diferentes maneras: “Sentido de Comunidad”, “Identidad de Lugar”, “Sentido de Lugar”, “Identidad Social urbana”, “Apropiación del Espacio”, sin embargo todas ellas giran en torno a la pertenencia y a la participación o pasiva (Berroeta & Rodríguez, 2012). En comunidades donde se desarrolla un fuerte sentido de pertenencia e identificación, como unidades vecinales y barrios, es posible observar dinámicas de preservación, cambio o mejora el entorno local; resolución por resolver problemas ciudadanos como la contaminación o la inseguridad, entre otras (Rizo, 2006).

Entender el edificio educacional en este contexto implica reconocer no sólo su rol de institución educativa, sino también su componente territorial y comunitario que, debido a la importancia social que se le atribuye, pasa a constituirse como un lugar en la ciudad: un espacio significativo para la comunidad que actúa como plataforma para la socialización e interacción, lo que además permite el desarrollo de vínculos colaborativos comunitarios. Debido a esto, posee la potencia de generar identidad, lo que aumenta el capital social, posibilitando su preservación por parte de los usuarios.

En el contexto de la resiliencia ante desastres naturales, el concepto territorio es vital, ya que las comunidades son entendidas en términos espaciales: grupos de personas viviendo en la misma área, cerca de los mismos peligros, compartiendo los mismos intereses, valores y estructuras. Desde la perspectiva de peligros la dimensión espacial es un elemento esencial que identifica las dinámicas de la comunidad con su entorno de modo de poder identificar los riesgos y factores que contribuyen a su vulnerabilidad (Twigg, 2009). Por otro lado, los procesos colaborativos comunitarios

constituyen un factor vital, ya que permiten la definición de responsabilidades, recursos y estrategias, de modo de contribuir a la obtención de resultados, al cumplimiento de objetivos comunes y a la atención de problemas particulares que cada uno de los actores involucrados no podría resolver por sí sólo (Oktari, Shiwaku, Munadi, Syamsidik, & Shaw, 2017).

#### 2.4.2 La escuela y su rol en desastres naturales

A continuación, se realizará una revisión del rol de los edificios educativos en desastres naturales en base a tres ejes fundamentales. El primero, relacionado al apartado anterior da cuenta cómo el edificio educacional constituye un espacio de convergencia en la comunidad, promoviendo el desarrollo de dinámicas sociales de asociación, que permiten aumentar el capital social a través de redes de colaboración, aumentando con ella la resiliencia de las comunidades ante desastres naturales. Además, constituye un espacio de apropiación e identificación comunitaria, lo que permite su propia preservación y restauración por parte de los sujetos miembros de la comunidad, factor clave en el contexto de catástrofes. Además, en situaciones de emergencia, la escuela se convierte en un espacio de contención para las niñas y niños afectados, donde es posible realizar terapias psicológicas de intervención para ellos y para el resto de los integrantes de la comunidad (UNICEF, 2016).

Sin embargo, el rol de la escuela en el contexto del riesgo comprende otras aristas. Un segundo eje permite identificar a través de la experiencia histórica nacional, el importante rol que han cumplido los edificios educativos ante situaciones de emergencia y desastres naturales, de modo que cuando la comunidad se ve afectada por desastres lo más común es que se utilicen edificios públicos como polideportivos, centros culturales, iglesias y escuelas para albergar a los pobladores hasta que puedan regresar a las viviendas en condiciones de mayor seguridad. La utilización de las escuelas como lugares de reunión, festividad, centros de votación y albergues temporales es común en el contexto latinoamericano y el Caribe, por lo que las escuelas son percibidas como espacios que brindan bienestar y protección a la comunidad (UNICEF - EIRD 2011). En Chile, los edificios escuelas se utilizan con propósitos no sólo educacionales durante su vida útil, funcionando como locales de votación y utilizados como albergue para personas damnificadas en caso de catástrofes naturales (MINEDUC, 2013). Durante el incendio que afectó los cerros de Valparaíso en 2014, se habilitaron cuatro escuelas para albergar a las personas afectadas (Corporación Municipal de Valparaíso, 2014). Para el terremoto de 2015 en el norte de Chile, en la XV Región de Arica y Parinacota, se habilitaron

19 escuelas como albergue, en la II Región de Antofagasta seis (La Tercera, 2014) y en la Región de Tarapacá diez, entre refugios y albergues, diferenciándose ambos por el tiempo de estadía en ellos (Cooperativa, 2014). Durante los aluviones de 2015, en la Región de Atacama se debieron habilitar diez colegios como albergue, en la Región de Antofagasta quince y en la Región de Coquimbo cinco (24 Horas, 2015). Para el terremoto que azotó la IV Región de Coquimbo en 2015 se dispusieron 30 escuelas y colegios como albergues entre las comunas de La Serena, Coquimbo, La Higuera, Los Vilos y Canela (La Tercera, 2015). Además, en 2015 se habilitaron diez escuelas entre las comunas de Villarrica y Ñancul como medida precautoria a la alerta de erupción del volcán Villarrica (El Mercurio, 2015).

### Albergues en la región

COMUNA	ESTABLECIMIENTO / RECINTO	DIRECCIÓN
Copiapó	Escuela Hernán Marquet Huerta	Nueva Arturo Pl at. s/n, Estación Papipote
	Escuela San Pedro	Panamericana KM 830
	Escuela Fundación Papipote	Sector Plaza s/n, Vía Hernán Vialta Lira
	Escuela Bernardo O' Higgins	Portales Nº596
	Escuela Vicente Sepúlveda	Calle del Río Esquina Vicuña
Tierra Amarilla	Escuela Manuel Rodríguez	Eusebio Lillo Nº 957, Población Pedro Larín Gallo
	Escuela El Chañar	Avenida de Chile Nº 2951
	Escuela Luis Cruz Martínez	Avda. El Chañar Nº 3245
	Colegio Estación	Los Cameros Nº 4169
	Escuela F-41 Marta Aguilera Zerón	11 De Septiembre Nº6411, Estación Papipote
Alto del Carmen	Escuela F-40 Víctor Sánchez Cabañas	Ranón Freire Nº47
	Escuela D-43 Concentración Fronteriza	Ferrocarril s/n Los Loros
	Escuela G-105 San Antonio	Ruta C-35 s/n
Diego de Almagro	Escuela G-104 Américas	Ruta C-35 s/n
	Escuela Ricardo Campillay Centro de Madres	Alto del Carmen s/n
Chañaral	Escuela de Chigüirto	Los Perales, s/n
	Intensidad de El Tránsito	El Chiriguirto s/n
Caldera	Alto Lamas Castillo	El Tránsito s/n
	Escuela Pedro Luján	Avda. Diego de Almagro Nº302
Caldera	Licón Federico Vialta	Gabineta Morral Nº100
	Escuela Manuel Blanco Encalada	Zufre Nº221
Caldera	Escuela Manuel Blanco Encalada	Canil Beagle s/n



RECONSTRUCCIÓN  
REGIÓN DE ATACAMA

Información del Catastro de Viviendas y Utilidad Pública

Abril 2015

### ENFRENTEMOS JUNTOS LA EMERGENCIA ESTOS SON LOS PUNTOS ESTABLECIDOS PARA:

**REFUGIOS**

LICEO JOSÉ ALEJANDRO SORIA VARAS  
ESCUELA CROACIA  
ESCUELA REPUBLICA DE ITALIA  
ESCUELA CHIPANA  
CANCHAS A.F.I.  
ESTADIO HERNÁN VILLANUEVA  
CANCHAS SINTÉTICA

**UBICACION**

S. ALLENDE C/ C. Y GONZALEZ  
S. ALLENDE Nº C/ T. BONILLA  
RANCAGUA C/ CASTRO RAMOS  
R. PEREZ O. C/ LOS ALGARROBOS  
RANCAGUA C/ TADEO HEANKE  
LAS ZAMPOÑAS C/ P. DE VALDIVIA  
RANCAGUA C/ CASTRO RAMOS

**ALBERGUES**

COLEGIO EDUARDO LLANOS  
COLEGIO ESPAÑA  
COLEGIO DEPORTIVO

**UBICACION**

GENARO GALLO C/ SERRANO  
EL MONTE C/ CERRO DRAGON  
ESTADIO TIERRA DE CAMPEONES

**CENTROS DE SALUD**

HOSPITAL REGIONAL  
CONSULTORIO AGUIRRE  
CONSULTORIO GUZMAN  
CONSULTORIO SUR  
COE (Clínicas Móviles)

**UBICACION**

HEROES C/ THOMPSON  
LIBERTAD C/ S. ALLENDE  
S. ALLENDE C/ P. GAMBONI  
EL AGUILA C/ LA TIRANA  
S. ALLENDE C/ CASTRO RAMOS

ALBERGUE: Recinto habilitado para personas cuyas viviendas, de forma comprobada, se encuentran inhabilitadas y deben permanecer allí hasta que se solucione su situación.  
REFUGIO: Recinto que sirve para quedarse sólo por horas, especialmente de noche, y donde las propias personas deben llevar elementos como frazadas y alimentos.

alcaldia@municipioiquique.cl  
Radio Municipal: 2 521117 - 2 521118

**Figura 2.5: Folletos de instituciones gubernamentales indicando escuelas habilitadas como albergues (fuente: internet)**

Sin embargo, la utilización de las escuelas como albergues en caso de catástrofes no está exenta de críticas, ya que la ocupación de los establecimientos educacionales trae como consecuencia la interrupción del proceso enseñanza-aprendizaje, el deterioro de aulas y laboratorios, el uso inadecuado del mobiliario y equipo, el daño de los servicios sanitarios y la pérdida de útiles, materiales didácticos y utensilios. Cuando se trata de retomar las actividades escolares, las escuelas no están disponibles, lo que impacta en indicadores como asistencia, repetición e incluso deserción (UNICEF - EIRD 2011). Un ejemplo de ello ocurrió durante la etapa posterior al incendio que afectó a la localidad de Santa Olga en 2017, cuando los damnificados ubicados en albergues solicitaron una ampliación al plazo de cierre de local dos días antes de la fecha en que niñas y niños debían volver a las aulas, lo que provocó un retraso del ingreso a clases (Cooperativa, 2017) En el contexto de una

catástrofe de mayores proporciones la paralización de las actividades escolares se agrava ya que, por un lado existen edificios educacionales que han sufrido daños por lo que no pueden ser utilizados y la gran mayoría del resto se debe habilitar como albergue. En el terremoto que afectó el centro-sur de Chile en 2010, un total de 4.538 escuelas entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía sufrieron daños lo que es equivalente a 1 de cada 3 escuelas en la zona de la catástrofe, provocando que 1.250.000 niñas y niños no pudieran asistir a clases (SEGEPRES, 2011). Con el fin de paliar esta situación el gobierno debió recurrir a la utilización de soluciones de emergencia para mantener relativamente el aparato educador en funcionamiento, entre las que se encontraron containers carpas, mediaguas y buses (Zaldívar & Ochagavía, 2013). A 45 días del terremoto fue posible que el 100% de estudiantes retomaran con regularidad su educación formal (SEGEPRES, 2011).

Por otro lado, muchos establecimientos educacionales en Chile no poseen las condiciones de habitabilidad adecuadas para realizar clases, consecuentemente tampoco para funcionar como albergues. El catastro de Infraestructura de Edificios Educacionales realizado por el MINEDUC entre 2012 y 2013, arrojó que 2.238 establecimientos catastrados presentaban más del 20% de daños en infraestructura, dejando en evidencia los graves déficits que persisten en algunos establecimientos educacionales públicos, especialmente en el área rural; establecimientos con letrinas, con estructura de adobe en mal estado, o sin agua caliente (Montenegro, 2016). Además, estudios en escuelas que operan sin sistemas de calefacción-enfriamiento en la ciudad de Santiago detectaron temperaturas interiores bajas en invierno y altas temperaturas en primavera, sin embargo niñas y niños han tenido la capacidad de adaptarse a estas temperaturas, estableciendo un rango de confort diferente al de los adultos (Trebilcock, Soto-Muñoz, Yañez, & Figueroa-San Martín, 2017). El sistema de recomendación RELi®, recomienda una temperatura operativa en albergues superior los 10°C (50°F) para el invierno y nunca superior a la temperatura exterior en verano (RELi, 2017).

El tercer eje corresponde a la labor educativa de la escuela respecto al territorio donde se emplaza, los riesgos asociados a él y las medidas de preparación y mitigación para afrontarlos. La inclusión de la educación sobre el riesgo de desastres en los planes de estudio de las escuelas promueve la concientización y una mejor comprensión del entorno inmediato. Con base en experiencias previas, se puede señalar que los niños que tienen conocimiento sobre los riesgos de las amenazas naturales desempeñan un importante papel cuando se trata de salvar vidas y proteger a los miembros de la comunidad en momentos de crisis (EIRD, ONU, & UNICEF, 2016)

Esta información permite determinar que para que las escuelas funcionen correctamente como albergues deben, primero, permitir que no se interrumpa la realización de clases completamente. Además, se debe hacer un esfuerzo por diseñar escuelas con condiciones adecuadas de habitabilidad tanto para las niñas y niños que realizan sus actividades educativas en ellas como para ser ocupados como refugios en situaciones de desastres. Por último, se hace importante que las escuelas se diseñen de manera resiliente, demostrando un alto desempeño a catástrofes naturales con el fin de disminuir sus daños y aumentar su capacidad de ser rápidamente reparadas, lo que posibilitará contar con un mayor número de espacios educativos disponibles. Durante la etapa inicial de las emergencias y desastres, es necesario trabajar en la reapertura de las escuelas o de los ambientes de aprendizaje, en el regreso de los niños, niñas y adolescentes a la escuela y en la recuperación de la infraestructura educativa afectada. Este es un esfuerzo que debe ser inmediato para tratar de restaurar en lo posible la normalidad en la vida de los niños, niñas y adolescentes y atender su derecho a la educación.

#### 2.4.3 La escuela en el contexto rural

La diferencia entre lo rural y lo urbano tradicionalmente ha consistido en la categorización de los espacios geográficos según sus características demográficas y económicas, relacionando, generalmente, lo rural a actividades primarias y lo urbano a industrias y servicios. En el contexto latinoamericano la ruralidad se define principalmente según la variable tamaño poblacional. En algunos países como Chile, esa variable es matizada con la importancia local de las actividades económicas primarias.

Algunas consideraciones para definir los espacios rurales son: (1) La definición de la OCDE donde se considera como rural los territorios con una densidad demográfica inferior a 150 habitantes/km; (2) La definición de urbanidad del INE en base a la población y a las unidades censales, donde urbano es todo conjunto de viviendas concentradas, con más de 2.000 habitantes, o entre 1.001 y 2.000 habitantes cuando el 50% o más de la población económicamente activa está dedicada a actividades secundarias y/o terciarias; (3) la provisión de servicios básicos como electricidad, agua potable y alcantarillado; (4) que las actividades piscisilvoagropecuarias disminuyen la intensidad en la medida que aumenta la urbanidad (Berdegué, 2010) Según el Censo de 2017 en Chile el 12,6% de la población vive en áreas rurales (2.310.353 habitantes). Las regiones con mayores índices de población rural son la del Maule y La Araucanía (INE, 2018)

En casi todos los países, la población que habita los sectores rurales son los que más resienten los desastres naturales. Esta vulnerabilidad se debe entre otras razones a la precariedad económica y de infraestructura; un nivel bajo de acceso a terrenos seguros y de alto valor; poca capacidad de inversión en medidas preventivas, y, por lo general, limitada capacidad de reacción una vez que sucede el desastre (ILCA, 2016). Las áreas rurales, además, han sido tradicionalmente depositarias de externalidades ambientales negativas de proyectos de desarrollo urbano que han deteriorado el medio ambiente rural (Pezo, 2007). En este contexto las áreas rurales se presentan como espacios altamente vulnerables, que sufren graves consecuencias producto del impacto de desastres naturales en aspectos que le son significativos en términos económicos y de calidad de vida, por ejemplo, en la productividad silvoagropecuaria y consecuentemente en las tasas de empleo; la degradación del paisaje e impacto sobre la flora y fauna nativa; el incremento de niveles de contaminantes y la degradación en la calidad del agua (Ministerio Agricultura, 2009)

En el ámbito educativo, diversos estudios indican que el medio rural sigue mostrando condiciones muestra condiciones desiguales con relación al urbano y a la atención de las políticas estatales en educación (UNESCO, 2003) En Chile, el 30% de las escuelas se encuentran dentro del contexto rural poseyendo solo el 7% de las matrículas nacionales (MINEDUC,2017), el 63% de estas escuelas tienen 50 estudiantes o menos y un total de 43 tienen solo un alumno matriculado (Elige Educar, 2016).

Estas escuelas funcionan bajo la modalidad denominada como “multigrado”, que consiste en escuelas donde se enseñan dos o más grados simultáneamente en una misma aula de clases. A su vez las escuelas bajo esta modalidad se clasifican en escuelas unitarias, donde todos los grados trabajan con un profesor, y escuelas con secciones multigrados, donde sólo algunos cursos funcionan en la modalidad multigrado y otros bajo el sistema tradicional de un curso por aula. Este sistema es característico en las zonas rurales de toda Latinoamérica y las condiciones socioeducativas de estos establecimientos a menudo se relacionan con el aislamiento, pobreza, infraestructura deficiente y baja accesibilidad (UNESCO, 2003).

Sin embargo, es posible identificar que las escuelas rurales presentan una mayor posibilidad de lograr estrategias colaborativas de aprendizaje ya que pueden con mayor facilidad integrar el entorno comunitario al proceso educativo. Muchas escuelas rurales no sólo son el sitio donde estudiar y aprender, si no que constituyen un referente social en donde muchas de las prácticas sociales tienen lugar, generándose dinámicas comunitarias y formándose los valores y las personas que las sustentan(Ahumada, 2010) La escuela en el espacio rural es relevante ya que constituye un

espacio donde el conocimiento es generado y difundido, entrelazándose con la comunidad local, contribuyendo al desarrollo local en lo educativo, social y cultural y generando un sistema de interacciones con dinámicas culturales entre la escuela el territorio y la comunidad. En el contexto de lo rural, la escuela cumple funciones no solo educativas si no también socioculturales, resguardando la identidad colectiva, conservando el patrimonio natural e histórico, haciendo frente al modelo cultural impuesto desde el medio urbano (Vera-Bachmann, 2014).

Debido a las políticas de reconstrucción post-terremoto de 2010 algunas de las escuelas rurales existentes en la zona afectada fueron cerradas y/o fusionadas bajo el argumento de baja calidad y déficit económico fiscal. En 2013 los establecimientos rurales disminuyeron a 899 de un universo de 3.836 durante el año 2000, lo que ha provocado una desintegración en las dinámicas colaborativas y de cohesión social que se generaban en torno a la escuela. Para la comunidad, la escuela urbana, al contrario de la rural, supone una fuente de distancia afectiva y discriminación social, invisibilizando y marginando los valores de la cultura rural (Solís-Araya, 2014).

Se ha revisado brevemente cómo el edificio escuela puede contribuir a aumentar la resiliencia de las comunidades ante desastres naturales a través de dos aspectos fundamentales: (1) la escuela constituye un espacio físico y simbólico que permite la generación de dinámicas sociales donde se integran diferentes actores de la comunidad, permitiendo prácticas de colaboración ante eventos críticos, lo que se traduce en una disminución en los tiempos de recuperación de catástrofes; (2) la escuela se constituye como una plataforma de educación e información a la comunidad acerca del territorio donde reside, sus riesgos y vulnerabilidades, aumentando los niveles de preparación de los habitantes para enfrentar desastres naturales.

La revisión indica también que en espacios geográficos de mayor exposición a los desastres naturales como es el medio rural, donde existe mayor vulnerabilidad y las repercusiones son mayores en términos económicos, sociales y de calidad de vida, la escuela adquiere una mayor relevancia ya que en muchos casos constituye el único espacio público de sociabilización. Una escuela rural permite reforzar la educación de la comunidad respecto a su territorio y sus dinámicas sociales, generando redes de apoyo en lugares altamente vulnerables, contribuyendo a aumentar su resiliencia ante eventos críticos.

Contar y utilizar el capital social puede ser esencial para la salvar las vidas de las personas, particularmente en evento de gran magnitud. En diferentes pueblos pesqueros de la zona afectada durante el terremoto de Chile de 2010, se observó que el conocimiento de los pescadores locales

respecto al territorio, el sentido de comunidad y la cooperación permitieron una pronta evacuación. (Moreno, 2018).

Durante los terremotos de Nueva Zelanda en 2010 y 2011, las escuelas jugaron un rol importante en la respuesta de la comunidad y su recuperación. En la fase de respuesta, estas instalaciones fueron ocupadas como albergues y lugares de información.

En la fase de recuperación fueron constituyeron lugares de cuidado de la comunidad y seguridad, asegurando que tanto estudiantes como sus familiares tuvieran acceso a apoyo emocional y psicológico. A pesar de esto existe una desconexión entre el rol que se espera cumpla la escuela y su lugar en la planificación ante desastres (Mutch, 2015). Por ello Mutch (2015), recomienda que el estudio del emplazamiento, diseño, instalaciones y roles de la escuela considere no sólo lo que se espera que hagan en términos inmediatos, si no también lo que pueden hacer en el futuro respecto a la respuesta de la comunidad a los desastres naturales y su recuperación.

#### 2.4.4 Aplicación del concepto ZEB a Escuelas.

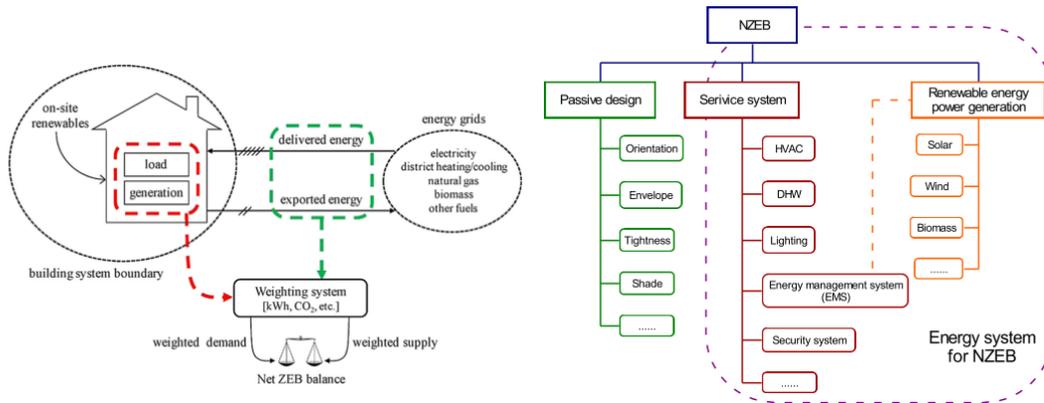
Dentro de las diferentes sinergias que podrían existir entre los conceptos de sustentabilidad y resiliencia en edificaciones se ha hecho mención de que la incorporación del concepto de Net Zero Energy Buildings, o Edificio de consumo Cero Energía, en edificios diseñados bajo conceptos de resiliencia, dotaría a los edificios de una mayor autonomía energética ante un evento crítico, haciendo posible mantener su operación durante y posterior a él. Se ha hecho mención, además, de cómo los edificios que siguen operativos durante y después de este tipo de eventos contribuyen en gran medida a la recuperación de comunidad en la etapa posterior. El departamento de Energía de los Estados Unidos define ZEB como aquellos edificios que producen suficiente energía renovable para satisfacer sus propios requerimientos anuales de consumos de energía, reduciendo el consumo de energía no renovable((DOE) US Department of Energy, 2015).

Los Edificios Cero Energía, o Net Zero Energy Buildings (NZEB), ofrecen la obtención de edificios saludables y energéticamente eficientes y que además generen energía. Esta característica se apoya en la utilización de tecnologías de energía renovables y un alto rendimiento en la utilización de recursos para aumentar la calidad y optimizar el desempeño del edificio (Attia, 2018).

Zeiler y Boxem (2013) reconocen ventajas de edificios ZEB, como por ejemplo un bajo impacto en el aumento del costo de la energía, mayor confort debido a una mayor uniformidad en la temperatura interior, reducción de los costos mensuales por operación, costos extras reducidos en una nueva construcción comparado con el costo de habilitación de los edificios para alcanzar futuras normativas térmicas y ambientales. Algunas desventajas son costos iniciales altos, y que la captura de energía solar solo funciona bien en lugares con una orientación sin obstrucciones.

Deng et al. (2014) indican que no existe un consenso en la definición de NZEB, sin embargo, una definición debería elaborarse a partir de un marco constituido por diferentes niveles de límites, criterios y métricas. Teniendo como consideración inicial el clima local, las costumbres y factores económicos. Los niveles iniciales podrían ser modificados de modo de elaborar un plan de acción hacia la obtención de NZEB.

En este contexto, la eficiencia energética de los edificios tiene un impacto directo en la evaluación del desempeño NZEB y debería articularse a la integración de sistemas de generación de ERNC para electricidad y A.C.S, lo que podría transformar los costos por ahorro de energía y las emisiones de contaminantes. La integración del análisis de ciclo de vida del edificio favorecería un análisis más exhaustivo, pudiéndose obtener indicadores de su impacto ambiental (Deng, Wang, & Dai, 2014).



**Figura 2.6: Izq: Estructura y elementos básicos del ZEB / Der: Principios de diseño para el ZEB (Fuente: Deng, Wang, and Dai 2014).**

En el contexto de los edificios educacionales, Pearse (2017) indica algunas razones por las que las escuelas son edificios idóneos para incorporar los principios ZEB: (1) Las escuelas operan en días y

horas establecidas, por un período menor a diez meses. Los niveles de ocupación son constantes y predecibles. Las cargas por equipamiento son menores; (2) Alto potencial en uso de energías renovables en escuelas en áreas suburbanas y rurales ya que son pequeñas, usualmente de dos o tres pisos, con terrenos disponibles para la instalación de equipos de generación de energías renovables. La mayor demanda ocurre durante horas del día donde se pueden ocupar la energía producida por paneles fotovoltaicos. (3) Pueden constituir lugares donde fomentar y educar a través del ejemplo, la sustentabilidad a las futuras generaciones; (4) Las tecnologías incorporadas en materias de generación de energía pueden ser incorporadas al curriculum escolar, por lo que el edificio puede convertirse en un laboratorio; (5) Las características de los edificios ZEB relacionadas a la iluminación natural, ventilación mejorada y confort térmico crean un ambiente saludable que contribuye al proceso educativo, reduce la ausencia escolar e incrementa la retención de profesionales; (6) En eventos de desastres naturales, las escuelas pueden mantener su funcionamiento para continuar su operación, sirviendo como centros comunitarios (Pearse, 2017)

Zeilier y Boxem (2013) identifican que el impacto en la eficiencia energética en escuelas ZEB de Holanda no siempre es acompañado con una calidad del aire interior adecuada debido a la hermeticidad de la construcción y a que la inyección de aire fresco no es necesaria para remover humedades y olores una vez que los alumnos han dejado la sala de clases. (Zeiler & Boxem, 2013).

Lou et al. (2017) identifican que las escuelas son edificios que tienen la potencia para ser ZEB en Hong Kong debido a las pocas horas de ocupación y a los largos periodos de vacaciones. Evalúan a través de un software de simulación energética, técnicas de ahorro de energía aplicada a la iluminación y sistemas de HVAC&C de una escuela en Hong Kong, tomando en cuenta estándares de confort interior térmico, lumínico y de calidad del aire. Incorporan sistemas de generación eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos en la fachada con el fin de determinar si satisfacen la demanda de energía eléctrica. Los resultados de la investigación indican que para ese caso, los paneles fotovoltaicos pueden cubrir un 97,5% de una demanda total de 41 kWh/m<sup>2</sup> (Lou, Tsang, Li, Lee, & Lam, 2017)

Gaitani et al. (2015) cuantifican los requerimientos que deberían tener escuelas nZEB (Near Zero Energy Buildings) en el área del mediterráneo europeo en el contexto de la renovación de edificios educacionales existentes. Determinan que el consumo de energía primaria (calefacción, enfriamiento, ventilación, A.C.S, cocina, iluminación y artefactos debería suplirse a través de la

producción de energías renovables; que el consumo final anual (para todos los usos excepto A.C.S y cocina) debería ser menor a 25 kWh/m<sup>2</sup> año por recinto acondicionado (HVAC  $\leq$  20kWh/m<sup>2</sup> año e iluminación  $\leq$  5kWh/m<sup>2</sup> año); que la calidad del aire anterior debería asegurarse y el número de horas con temperatura superior a 28°C debe ser menor a 40 en horario de ocupación (Gaitani, Cases, Mastrapostoli, & Eliopoulou, 2015).

Berardi et al. (2017) reconocen la importancia de incorporar estrategias pasivas en renovaciones de escuelas existentes en Cataluña, con el fin de alcanzar estándares nZEB, considerando que en ese caso el 62% del consumo eléctrico provenía de la calefacción. La estrategia con mayor impacto en la reducción de este indicador fue el mejoramiento de la envolvente y el reemplazo de las ventanas por unas de doble vidrio de baja emisión. La instalación de paneles fotovoltaicos en el techo de la escuela permitió satisfacer el 70% del consumo de energía eléctrica del edificio (Berardi, Manca, Casaldaliga, & Pich-Aguilera, 2017)

Para el presente estudio se han algunos casos de escuelas en donde se ha aplicado el estándar ZEB y están reconocidos por distintas instituciones y bases de datos que registran los edificios cero energía. Los casos de estudio se presentan en el Anexo A, y fueron extraídos de la lista ZNE 2016, que elabora el New Building Institute cada año, con el fin de identificar y registrar aquellos edificios que cumplen con el estándar. Además, estos casos se encuentran certificados como “Living Building” a través del Future Living Institute, que, a través de su programa “Building Living Challenge”, que certifica edificios sustentables en base al cumplimiento de criterios y una auditoria previa de un año.

## 2.5 Síntesis

Fue posible establecer que en el contexto de la resiliencia ante los desastres naturales el principal foco de atención es la resiliencia que poseen las comunidades, reflejada en su capacidad de prepararse, de mitigar y absorber el impacto de un evento crítico, y su capacidad de recuperación.

Una de las maneras de aumentar la resiliencia de las comunidades es a través del aumento de la resiliencia del entorno construido, principalmente de la infraestructura crítica en él. Edificios de índole social, como juntas vecinales, e iglesias son fundamentales en la etapa de preparación de eventos críticos ya que aglutinan socialmente a la comunidad, permiten la participación y la generación de lazos colaborativos entre sus diferentes miembros y, durante la etapa de

recuperación, pueden ser utilizadas, entre otras, como lugar de información, albergues y centros de acopio.

Por otro lado, los edificios “operacionales” como estaciones de bomberos, de policía, edificios de gobierno y hospitales son fundamentales de mantener operativos en la etapa post-impacto y durante la etapa de recuperación, ya que de ellos depende atender situaciones de urgencia generadas por el impacto, la restauración del orden cívico en el contexto de una catástrofe y son las encargadas de llevar adelante las gestiones políticas y económicas que apoyarán la etapa de recuperación.

Uno de los edificios que es gravitante ante eventos críticos, son los educacionales. Históricamente se ha observado como ante la contingencia de un desastre natural se recurre a ellos como albergue, como centro de atención e información, y como lugar de acopio de donaciones. Además, este edificio es importante para la comunidad ya que significa un lugar de encuentro donde se genera participación transversal de todos los actores de la comunidad, lo que posibilita la generación de lazos colaborativos entre ellos.

Además de la educación formal, la escuela permite compartir conocimientos propios de la cultura donde se inserta, como por ejemplo la transmisión del conocimiento acerca del territorio, como construcción cultural de la comunidad que lo habita, sus riesgos y potencias, la que es llevada a sus hogares y entorno inmediato. En la literatura, es posible identificar casos donde los niños salvaron otras personas por contar con este tipo de educación adquirida en las escuelas. Lo anterior indica que la escuela es un lugar en la ciudad, o localidad, donde que aglutina la comunidad y sirve de plataforma para aumentar la resiliencia ya que su uso pivota entre las etapas de preparación y recuperación.

Como es posible de observar en la Fig. 2.7, las edificaciones que constituyen el entorno construido son responsables en buena parte de los impactos ambientales que contribuyen al aumento en desastres naturales, sobre todo los hidrometeorológicos derivados del calentamiento global y el cambio climático, por lo tanto, un aumento de la resiliencia debe acompañarse con estrategias para construir un entorno construido más sustentabilidad con menor impacto en el entorno natural.

Una de las particularidades más importante del entorno construido es que se diseña, se proyecta y se construye, existe una etapa previa a su existencia, por lo que se identificó un consenso general

en los autores de que la mejor manera de aumentar la resiliencia y sustentabilidad de los edificios que constituyen el entorno construido es incorporando estrategias de resiliencia y sustentabilidad en la etapa de diseño a través de la elaboración de códigos de construcción que incorporen estos aspectos, a través de la elaboración de manuales y recomendaciones, y de la sistematización de criterios de diseño. Es necesario que estas estrategias se enmarquen en la gestión de riesgos del territorio, la que debe ser elaborada integrando las diferentes miradas que pueden abordar distintas disciplinas profesionales, sectores privados, miembros de la localidad, comunidades originarias, académicos y gobierno.

La literatura apunta a que, a pesar de que los conceptos de resiliencia y sustentabilidad distan en muchos aspectos, se deben realizar esfuerzos para encontrar puntos de convergencia y sinergias entre ambos conceptos. Uno de los criterios de diseño que se ha identificado como un momento sinérgico entre la sustentabilidad y la resiliencia ha sido la incorporación a los edificios de criterios para alcanzar el estándar de Cero Energía o Net Zero Energy Bulding (NZEB). Sin embargo ¿Cuál es esta sinergia? Una de las características, sino la más importante, que define los edificios NZEB es que al incorporar estrategias de eficiencia energética e hídrica disminuyen drásticamente el consumo de las redes habituales pudiendo funcionar a través de la generación local de ERNC y de la captación de aguas lluvias.

Esto, además de disminuir su impacto ambiental en términos de demanda de recursos energéticos e hídricos en la etapa de operación – que se puede acompañar con elección de materiales de bajo impacto y un diseño que permita su reutilización en la etapa de abandono, reduciendo aún más su impacto ambiental – resulta ventajoso en eventos críticos ya que al generar su propia energía y contar con su propia agua, pueden seguir operativos ante el colapso de redes eléctricas o de abastecimiento de agua potable.

Si estas estrategias son acompañadas con criterios de diseño de resistencia estructural ante desastres naturales, de sistemas e instalaciones resistentes; criterios de diseño que fomenten y faciliten la participación comunitaria; criterios de diseño basados en el conocimiento y el respeto al territorio y el medio natural, es posible que podamos empezar a construir edificios más resilientes, más sustentables.

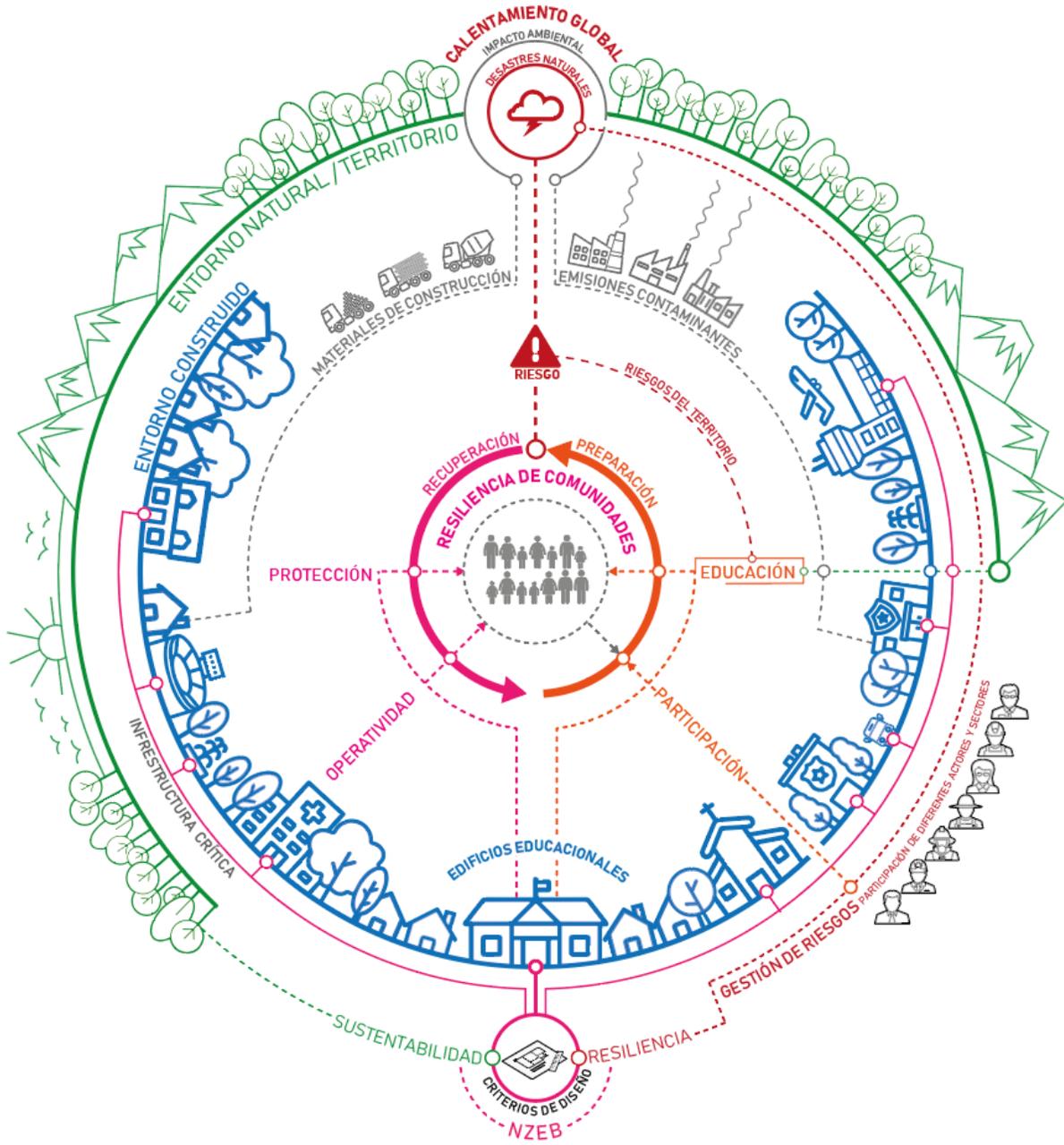


Figura 2.7: Diagrama de síntesis Marco Teórico (fuente: Elaboración Propia)

### **Capítulo 3. Zonificación de Chile según Desastres Naturales.**

Debido a sus características geográficas y geológicas, nuestro país se encuentra expuesto a sufrir diferentes tipos de catástrofes naturales, principalmente eventos sísmicos debido a su posición en el anillo de fuego del Pacífico. Dentro de los países de la OCDE, Chile es el más expuesto a desastres de origen natural, con el 54% de su población y el 12,9% de su superficie total expuesta a tres o más tipos de estas amenazas (CREDEN, 2016). Según datos del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID, 2016) los cinco desastres naturales con mayor prevalencia dentro de los últimos 30 años han sido terremotos y tsunamis, erupciones volcánicas, incendios y eventos meteorológicos extremos como inundaciones por aguas lluvias y aluviones. Históricamente algunas zonas de nuestro país han sufrido con mayor frecuencia el impacto de estos distintos desastres naturales, por lo que se constituyen como zonas con mayor propensión, o mayor riesgo, de que vuelvan a ocurrir, debido a sus características geo-climáticas y bióticas.

Con el fin de identificar estas zonas del país y los desastres naturales a los que se ven expuestas diferentes instituciones gubernamentales y militares han desarrollado herramientas donde es posible identificar la existencia del riesgo de ocurrencia de eventos críticos y el grado de exposición a ellos. Un ejemplo de ello son las cartas de tsunami desarrolladas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) o los mapas de riesgo de ocurrencia de incendios forestales elaboradas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). En un intento de integrar estas herramientas, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) ha desarrollado recientemente un aplicación alojada en su sitio web denominada “Visor Chile Preparado”, donde es posible identificar si en una zona determinada existe el riesgo de actividad volcánica, tsunami y/o incendio forestal. Esta herramienta, además de no incluir la prevalencia de fenómenos hidrometeorológicos, tampoco desarrolla una delimitación geográfica que permita identificar macrozonas definidas según la combinación de desastres naturales a los que se vea expuesta.

Se elaboró una herramienta zonificación de Chile que permitió identificar estas macrozonas, utilizando como criterio el riesgo de ocurrencia de catástrofes naturales. Se reconoció que todo el territorio chileno posee como riesgo común los eventos sismológicos de magnitud, por lo que la presencia de otros riesgos en zonas determinadas dependiendo de su configuración geo-climática,

provocan una exposición a múltiples riesgos (dos o más), que se podrían presentar de manera simultánea o como eventos individuales durante el tiempo.

En el marco del desarrollo de normas y recomendaciones de diseño de edificios, la metodología de delimitar una zona geográfica en unidades de menor tamaño de acuerdo con sus características particulares es ampliamente utilizada, ya que permite establecer necesidades en común que poseen diferentes localidades dentro de esa zona, con el fin de desarrollar criterios específicos que satisfagan sus necesidades de diseño. Esta metodología es utilizada para determinar criterios o reglas de diseño a en Zonificaciones Climáticas (TDR, 2011), Zonificaciones Sísmicas (NCh 433, 2009) e incluso en los Planes Reguladores Comunales, que son posibles de encontrar representadas gráficamente. En otros casos se elaboran tablas, como en el caso de los requerimientos espaciales de colegio en nuestro país.

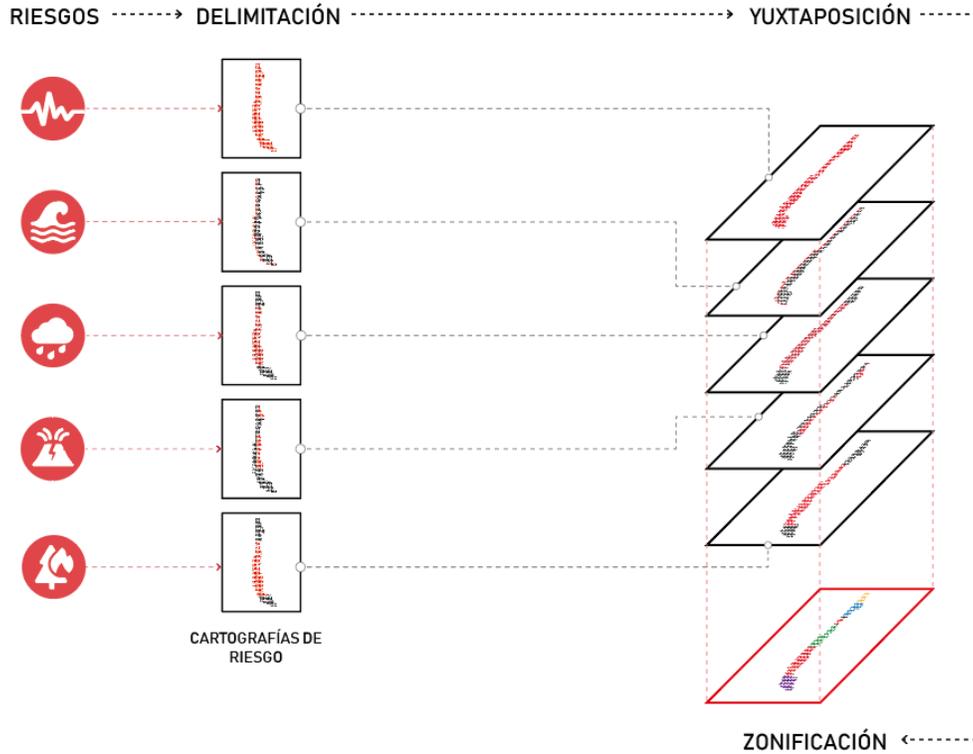
La metodología utilizada consistió en integrar herramientas los mapas de riesgo de cada uno de los desastres naturales con mayor prevalencia en Chile, con el fin de obtener uno solo que, además de posibilitar el desarrollo de los criterios de diseño, permitió realizar una lectura de los riesgos a los que se expone la mayor parte de la población chilena; fue posible observar cómo las entidades urbanas de mayor tamaño se han ubicado en una zona de riesgos muy precisa. Además, fue posible comparar esa zonificación con la zonificación climática de Chile, lo que permitió la integración de los criterios de sustentabilidad y eficiencia energética a los de resistencia contra catástrofes.

Como resultado de este proceso se obtuvieron \_\_\_ zonas en total, que fueron denominadas según las iniciales de los riesgos predominantes. Se pudo establecer que la región central y la región central costera es la que se encuentra expuesta a un mayor número de riesgos de catástrofes naturales, lo que a la vez la constituye como crítica ya que presenta la mayor cantidad de población en Chile.

### **3.1 Recopilación de datos para elaboración de zonificación.**

Para poder identificar zonas en Chile según su exposición a diferentes catástrofes naturales, se obtiene la cartografía de riesgo de cada uno de los cinco desastres naturales con mayor prevalencia en Chile: terremoto, tsunami, actividad volcánica, incendios forestales y eventos hidrometeorológicos; que ha puesto a disposición la autoridad o bien, que se ha encontrado en la literatura. Una vez obtenidas estas cartografías, se delimita en cada una de ellas toda el área del país que se encuentra expuesta al desastre sin considerar los grados de exposición a él. Cuando se

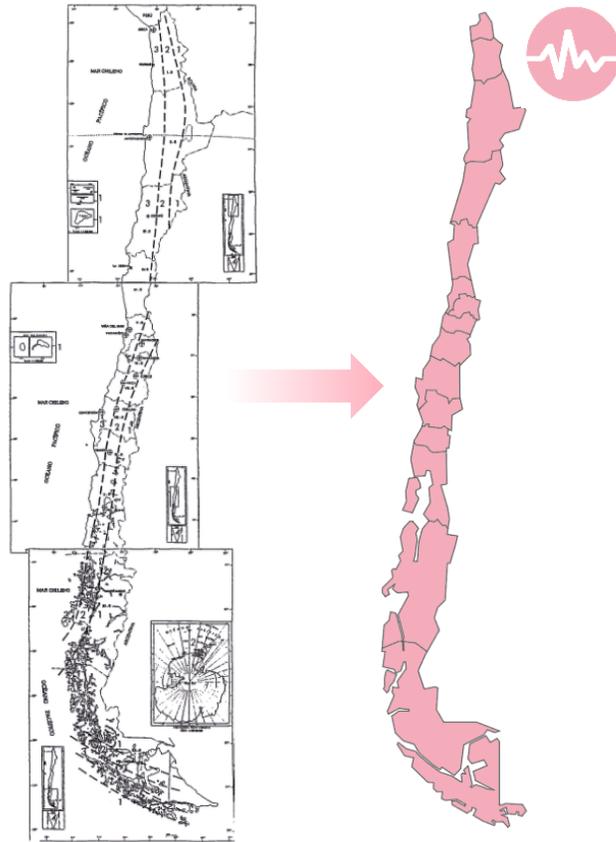
identifican las áreas de los cinco desastres principales, se monta una sobre otra con el fin de identificar aquellas zonas donde las áreas de riesgo se yuxtaponen, obteniendo así regiones en las que es posible que ocurran dos o más desastres naturales. Se obtuvieron en total once áreas de riesgo a través de los desastres naturales más propensos a sufrir, dentro de los cinco con mayor prevalencia en Chile.



**Figura 3.1: Diagrama de Metodología utilizada (fuente: elaboración propia)**

Zonificación Sísmica según la NCh 433:1996-2012.

Con el fin de establecer zonas con riesgo de eventos sísmicos se utilizó la zonificación de la NCh 433:1996, modificada en 2012, de diseño sísmicos de edificios. Esta zonificación divide a nuestro país en tres franjas longitudinales denominadas como Zona Sísmica 1, 2 y 3, cada una relacionada a un valor numérico de Aceleración Efectiva a utilizar en el cálculo del Coeficiente Sísmico para obtener el Esfuerzo de Corte Basal del edificio proyectado, según su peso. Tomando en cuenta que la cartografía incluye todo Chile y que la metodología utilizada no considera los grados de riesgos expresados en valores cualitativos ni cuantitativos, se consideró que todo Chile está expuesto a este tipo de eventos y se determina que el terremoto es el desastre natural base en todo nuestro país.



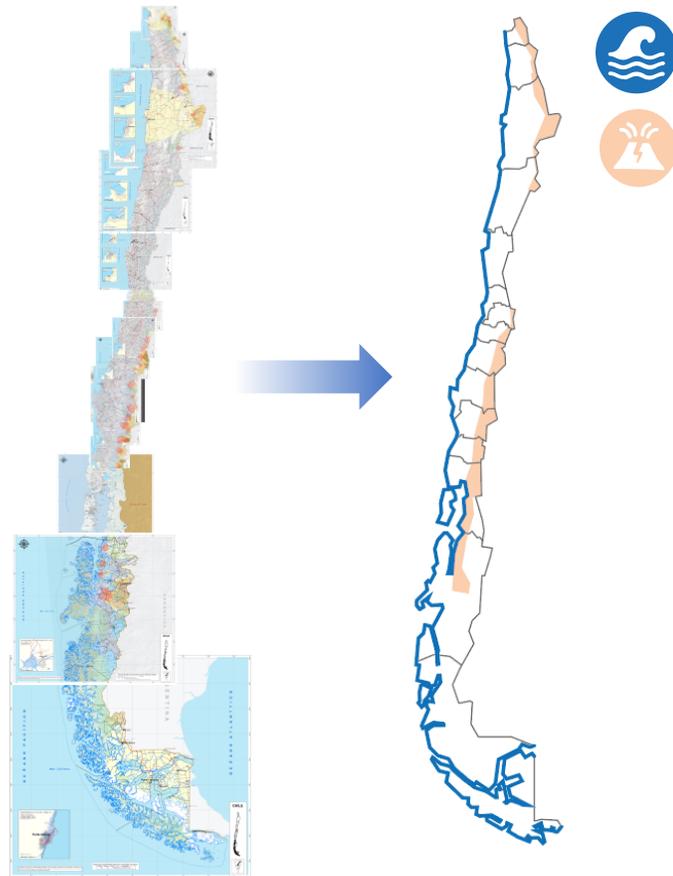
**Figura 3.2: Izq.: Zonificación Sísmica de Chile (fuente: NCh 433:1996-2012) Der.: Delimitación del área de riesgo de evento sísmicos en Chile (fuente: elaboración propia)**

Zonificación de riesgo variable de Tsunami-Volcánico según la ONEMI

Durante 2011, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior de Chile (ONEMI), en un intento por integrar riesgos a diferentes catástrofes naturales en una sola cartografía, elaboró los “Mapas de Riesgo Regional Peligro Tsunami-Volcánico” incorporando información proveniente del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) en aspectos de actividad volcánica; información del INE respecto a la población vulnerable en la región e información georreferenciada propia respecto a las zonas bajo la cota 30, propensos a inundación por efectos de tsunami. Estas cartas se encuentran disponibles en el repositorio de la ONEMI, alojado en su página web.

A partir del análisis de estas cartas para la identificación de las zonas expuestas a tsunamis y actividad volcánica en Chile, se pudo determinar la existencia de dos franjas longitudinales en Chile respecto a los riesgos de tsunami y actividad volcánica. A la primera se le denominó “Cordón Borde Mar” y se constituye bajo la cota 30 en todo el borde costero de Chile, además de los bordes de las

islas y archipiélagos al sur de nuestro país. Para graficar esta zona en la presente herramienta, se consideró una franja constante por el perímetro costero del mapa de Chile e islas asociadas. Para obtener una información detallada de la localidad costera donde se emplaza el proyecto, de modo de identificar en una escala menor sus zonas de riesgo y seguridad se debería recurrir a las cartas particularizadas por ciudad del SHOA. La segunda franja identificada se denominó el “Cordón Volcánico Cordillerano”, y fue delimitada considerando, por un lado, la concatenación de más de 90 volcanes activos en Chile, y por otro, las localidades que se ven expuestas a eventos volcánicos. Para delimitar esta área se identificaron todos los volcanes en Chile, información que luego se complementó con las áreas expuestas obtenidas desde las cartas de la ONEMI. Este cordón, a diferencia del anterior es discontinuo, dividiéndose en dos grandes segmentos; el primero se desarrolla en la cordillera del norte de nuestro país desde la primera hasta la tercera región. El segundo segmento aparece desde la cordillera de la Región Metropolitana, con el Volcán Tupungatito, y se extiende hasta el sur de la Región de Aysén abarcando el cordón volcánico del Villarrica y del Chaitén.



**Figura 3.3:** Izq.: Cartas de riesgo tsunami volcánico regional (fuente: ONEMI, 2011) Der.: Delimitación del área de riesgo de evento volcánicos y de tsunami en Chile (fuente: elaboración propia)

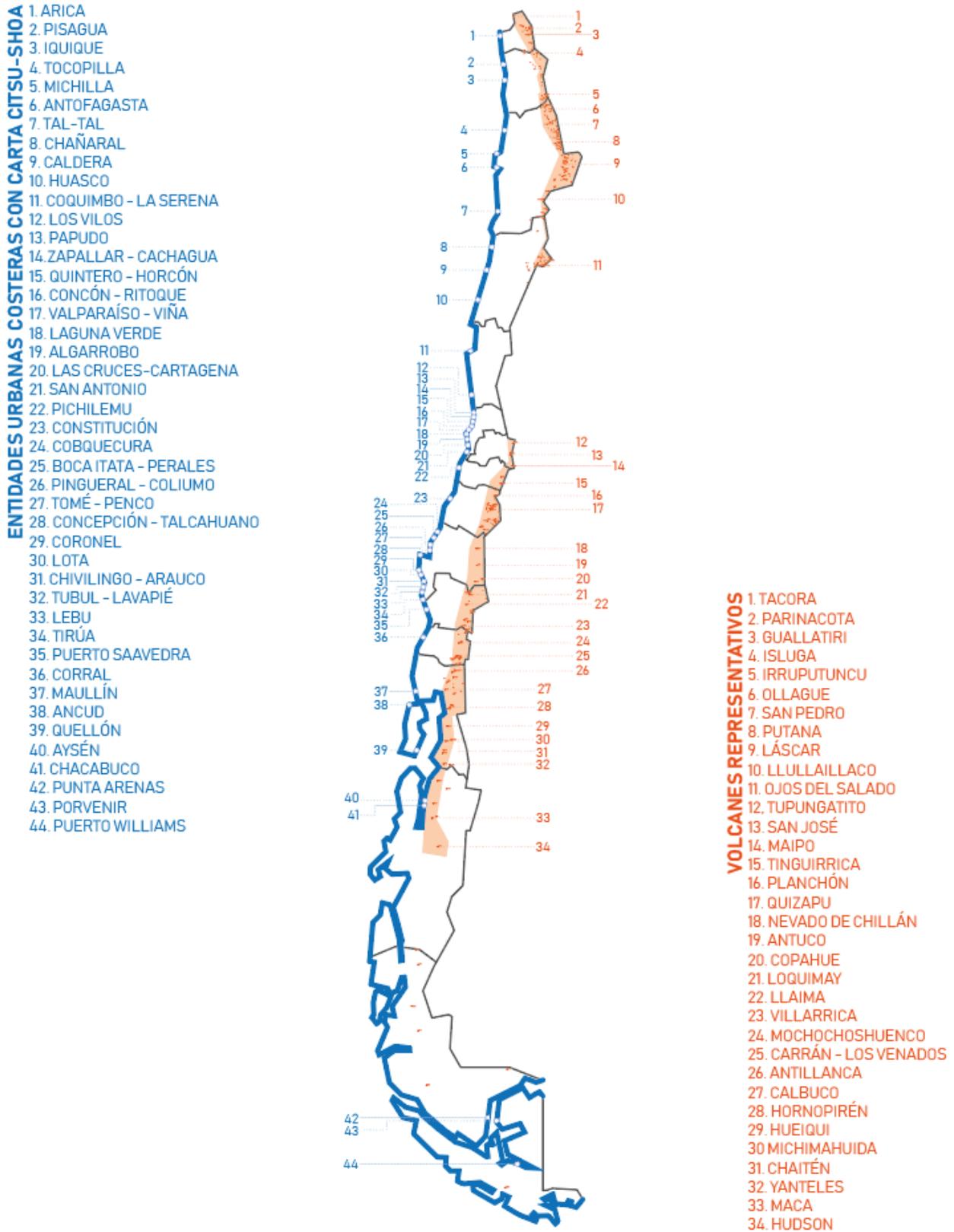


Figura 3.4: Izq.: Zonas de riesgo volcánico y de tsunami en Chile (Fuente: elaboración propia)

### Zonificación de riesgo de incendios volcánicos según la CONAF.

Para identificar las zonas de Chile afectas a incendios forestales se utilizó la información contenida en las diferentes cartografías de la Sección de Análisis y Predicción de Incendios Forestales de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) que se encuentra alojada en su sitio web. Particularmente se utilizaron las cartografías correspondientes a Índice de Riesgo de Incendios Forestales para identificar las áreas de nuestro país expuestas a este desastre sin discriminar el grado de exposición. Por otro lado, no se incluyeron las áreas expuestas en las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá ya que no se identificaron asentamientos humanos considerables como entidades urbanas que pudieran verse afectados, siendo las áreas expuestas, principalmente las de parques nacionales como el Lauca y Volcán Isluga. Putre, la entidad urbana más cercana a esta zona, se encuentra fuera del área expuesta. Complementariamente a la información anterior, se utilizó la cartografía de Frecuencia de Incendios Forestales entre los años 2002-2017 para identificar las ciudades y zonas con mayor predominancia de eventos de estas características.

A través de esta información se pudo determinar una macrozona en Chile con mayor riesgo de sufrir incendios forestales, comprendida entre el sur de la III Región de Atacama, desde Vallenar y el Parque Nacional Llanos del Challe (28° S), hasta el norte de la XII Región de Magallanes, a la altura de la Isla Chatham y el Parque Nacional Torres del Paine (51°S). Esta macrozona se encuentra en directa relación, por un lado, con la presencia de parques nacionales y reservas naturales y por otro con la existencia de un clima propicio para el desarrollo de vegetación extensiva y de actividades silvoagropecuarias de mayor envergadura, observable a partir de la VI Región, relacionado con el aumento de precipitaciones anuales. Cabe destacar, además, que en esta macrozona existen alrededor de 23 entidades urbanas donde se han registrado la mayor cantidad de incendios forestales durante los últimos 15 años destacándose ciudades como Valparaíso, Rancagua, Talca, Concepción y Temuco.

Esta zonificación es consecuente con estadísticas de la CONAF que indican que en el quinquenio 2013-2018 se produjeron en promedio un total de 7 incendios forestales de magnitud, siendo las regiones de Valparaíso y del Biobío las más afectadas. Sólo en el período 2017-2018 se registraron 9 incendios forestales de magnitud, concentrándose mayormente entre las regiones de Valparaíso y la de la Araucanía, información donde se ve reflejado el mega incendio forestal que afectó la zona centro-sur en el verano de 2017. Durante este año, entre la Región de Valparaíso y la Región de O'Higgins, se vieron afectadas más de 74 hectáreas de bosque.

Por otro lado, las regiones que presentan menos incendios forestales son aquellas que se ubican en los extremos norte y sur de nuestro país (CONAF, 2018).

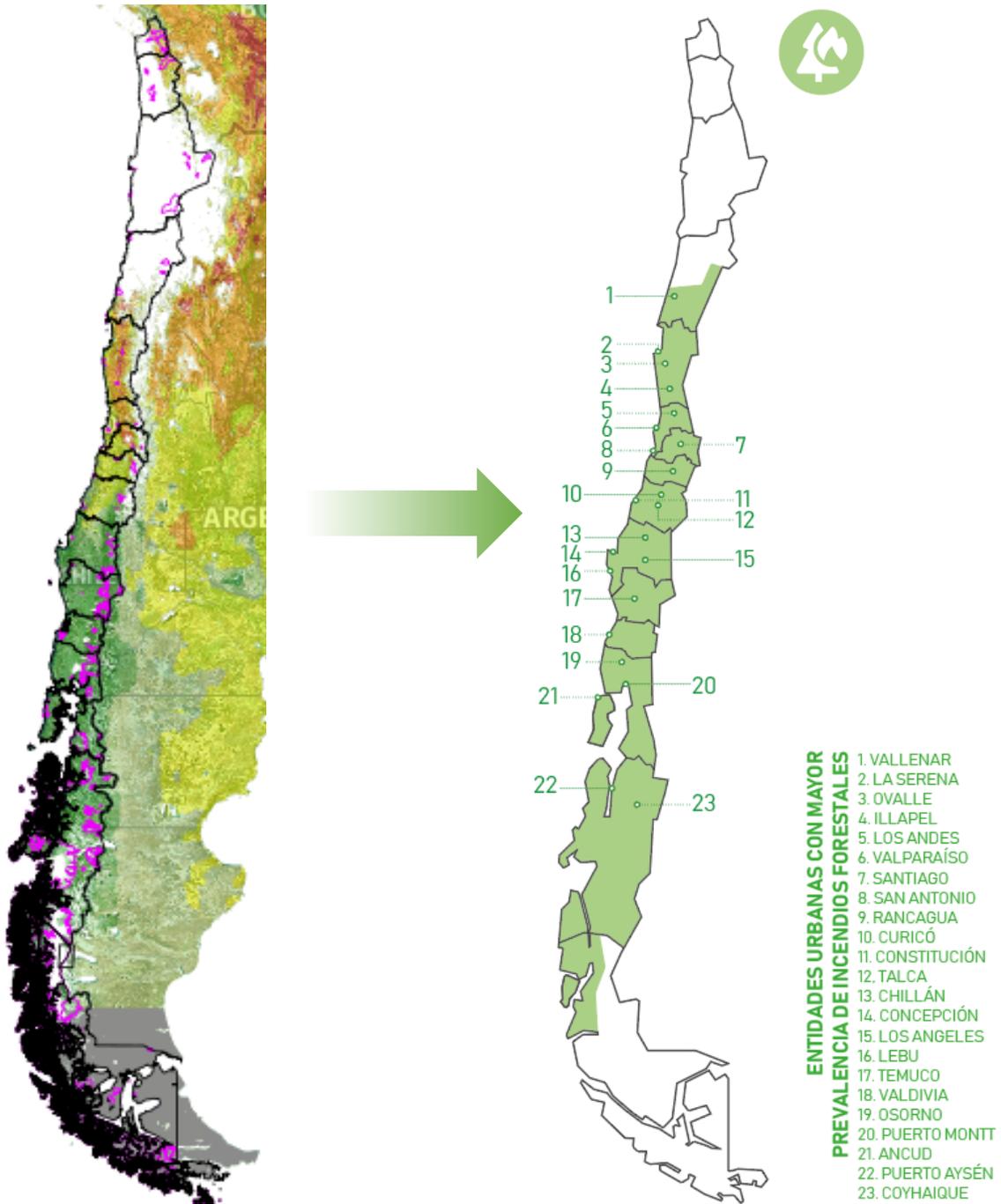
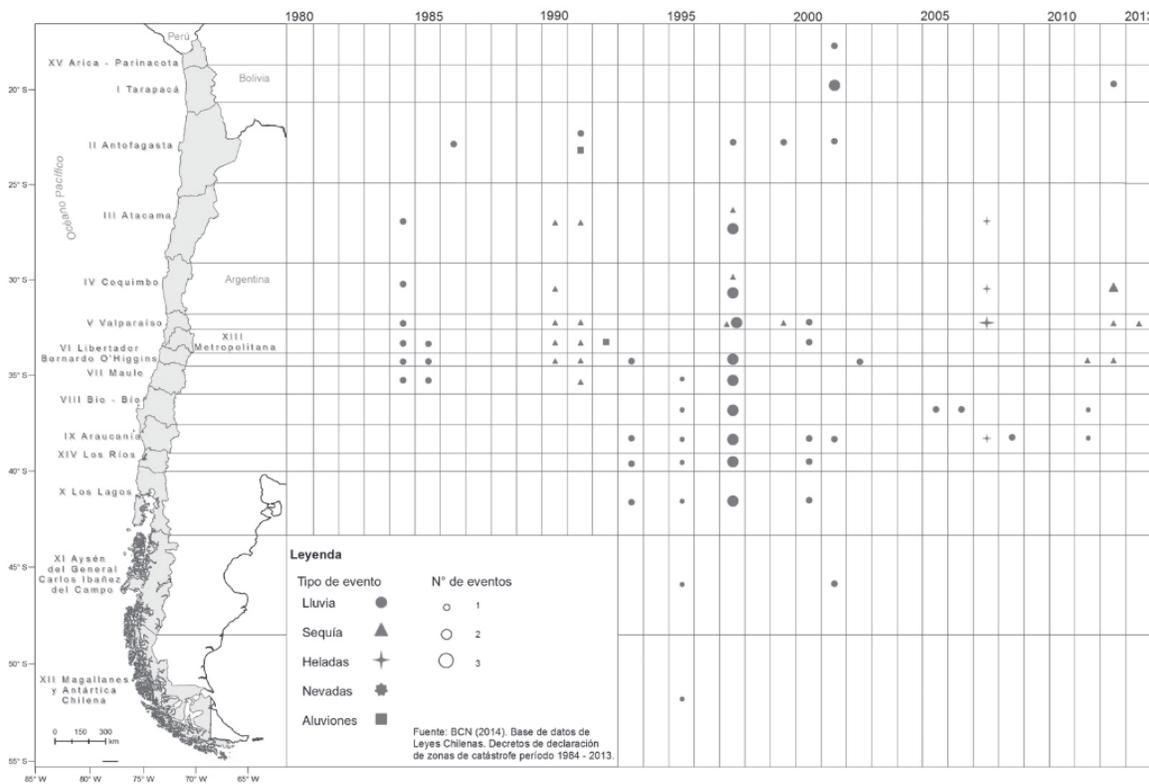


Figura 3.5: Izq.: Carta de índice de riesgo de incendios forestales en Chile (fuente: CONAF, 2017) Der.: Delimitación del área de riesgo de riesgo de incendios forestales en Chile (fuente: elaboración propia)

Zonificación de riesgos de eventos hidrometeorológicos según Henríquez et al. (2016).

Para la identificación de la zonas de nuestro país expuesta a eventos hidrometeorológicos, se utilizó como base el estudio de Henríquez, Aspee y Quense, denominado “Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático” (Henríquez et al, 2016), donde se recopilan y clasifican por región todos los sucesos de esta naturaleza ocurridos dentro del período 1984-2013, a partir de decretos de declaración zona de emergencia contenidos en la base de datos de leyes de la Biblioteca del Congreso Nacional ([www.leychile.cl](http://www.leychile.cl)).

A través de este análisis, se pudo establecer que los eventos hidrometeorológicos más recurrentes han sido las lluvias y temporales que constituyen el 61% de los eventos, afectando a diferentes regiones, seguido en orden decreciente por sequías, nevazones, heladas y aluviones. Además, es posible establecer que la macrozona de Chile más afectada es la Zona Central que reúne el 38,5% de los eventos, seguida de la Zona Sur con el 32,1%, siendo las comunas más afectadas las de La Ligua, Cabildo y Petorca. Tanto las macrozonas Norte Chico, Norte Grande y Austral en su conjunto, constituyen el 29% restante (Henríquez, Aspee, & Quense, 2016)

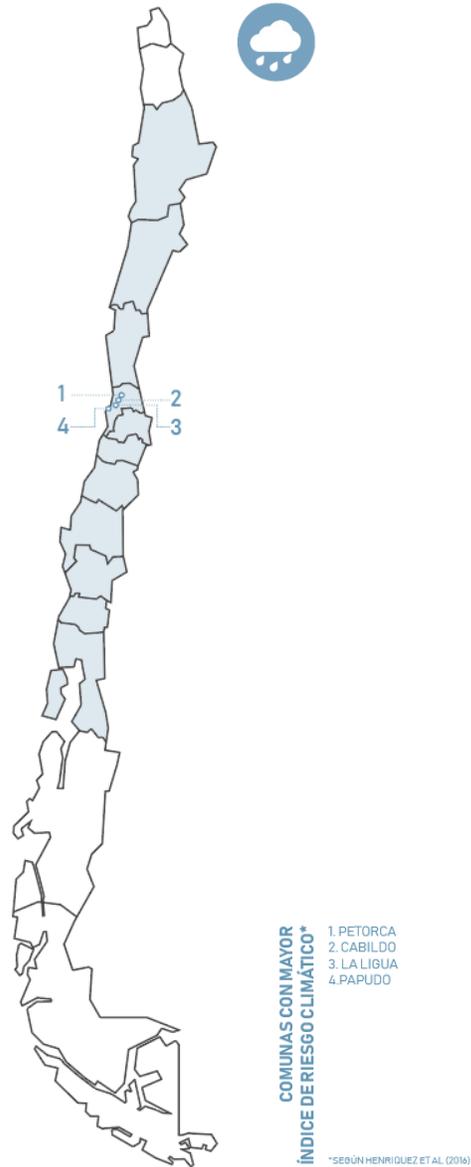


**Figura 3.6: Izq.: Evolución de zonas de catástrofes por causas climáticas e hidrometeorológicas en Chile 1984-2013 (Henríquez et al., 2016)**

A partir de la imagen anterior, es posible determinar que las regiones con mayor número de eventos hidrometeorológicos, sobre todos los relacionados con lluvias y aluviones, para el período 1984-2013 son aquellas ubicadas entre la II Región de Antofagasta y la X Región de Los Lagos. Marginalmente, las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Aysén y Magallanes presentan eventos puntuales que no logran constituir un comportamiento sostenido durante el tiempo. Considerando los eventos de aluviones ocurridos en 2015 y 2017 tanto en Antofagasta y Calama como en la Región de Atacama que no se incluyen en el estudio de Henríquez et al., y las constantes inundaciones en el interior de la II Región producto del invierno altiplánico, es que se determina que la zona comprendida entre la Segunda y Décima Región es la zona con mayor exposición a eventos de índole hidrometeorológico.

Dentro de las comunas más expuestas a riesgo climático, se encuentran las comunas de Cabildo, La Ligua, Petorca y Zapallar, en la quinta Región de Valparaíso. En general la zona central resulta ser la más compleja, al contar con mayor población y menor participación ciudadana en organizaciones sociales, lo que podría indicar una baja resiliencia de las comunidades ante eventos críticos. Para 2020 la macrozona Central se proyecta con la mayor cantidad de población y junto con ello una eventual mayor vulnerabilidad, explicado por la presencia de la metrópolis de Santiago y la conurbación de Valparaíso-Viña del Mar-ciudades intermedias (Henríquez et al., 2016)

Como consideración final, Henríquez, Aspee y Quense indican la importancia de espacializar el riesgo climático para poder enfocar e implementar eficientemente programas y políticas, de modo de proponer medidas de adaptación adecuadas y anticiparse al desarrollo de crisis socioculturales. En relación con esto, indican que las regiones y comunas más vulnerables y riesgosas frente al cambio climático corresponden a la zona de Chile central, especialmente en la costa y valles interiores, donde se concentrará mayormente la población y se pronostica una agudización de los problemas climáticos e hidrometeorológicos observados como sequías, inundaciones, heladas, así como marejadas, incendios, olas de calor, entre otros y que requieren de una mayor preparación. De igual manera reconocen la importancia en el desarrollo e implementación de medidas de adaptación climática, en lugar de medidas reactivas como la declaración de zona de catástrofe, entre las que destaca mejorar los instrumentos de planificación territorial y materializar obras de infraestructura que permitan disminuir los niveles de vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del entorno construido y de las comunidades.



**Figura 3.7: Delimitación del área de riesgo de eventos críticos hidrometeorológicos y comunas con mayor riesgo según Henríquez et al. (2016) (fuente: elaboración propia)**

### 3.2 Propuesta de Zonificación de Riesgos en Chile

Siguiendo con la metodología descrita, al superponer las diferentes zonificaciones de riesgo se pudieron identificar doce diferentes áreas en Chile que se encuentran expuestas a dos o más desastres naturales de los cinco con mayor prevalencia, teniendo los eventos sísmicos como base para todas las zonas del país. Cada una de las zonas se denominó con las iniciales de los nombres de

los desastres a los que está expuesta: **S**, para eventos sísmicos; **V**, para eventos volcánicos; **H**, para eventos hidrometeorológicos; **T**, para riesgo de tsunamis; e **I**, para riesgo de incendios forestales. A todas ellas se les antepone una **Z**, que quiere decir “zona”, con un número indicado el correlativo. La explicación de cada zona se puede encontrar de manera más detallada en el Anexo B.

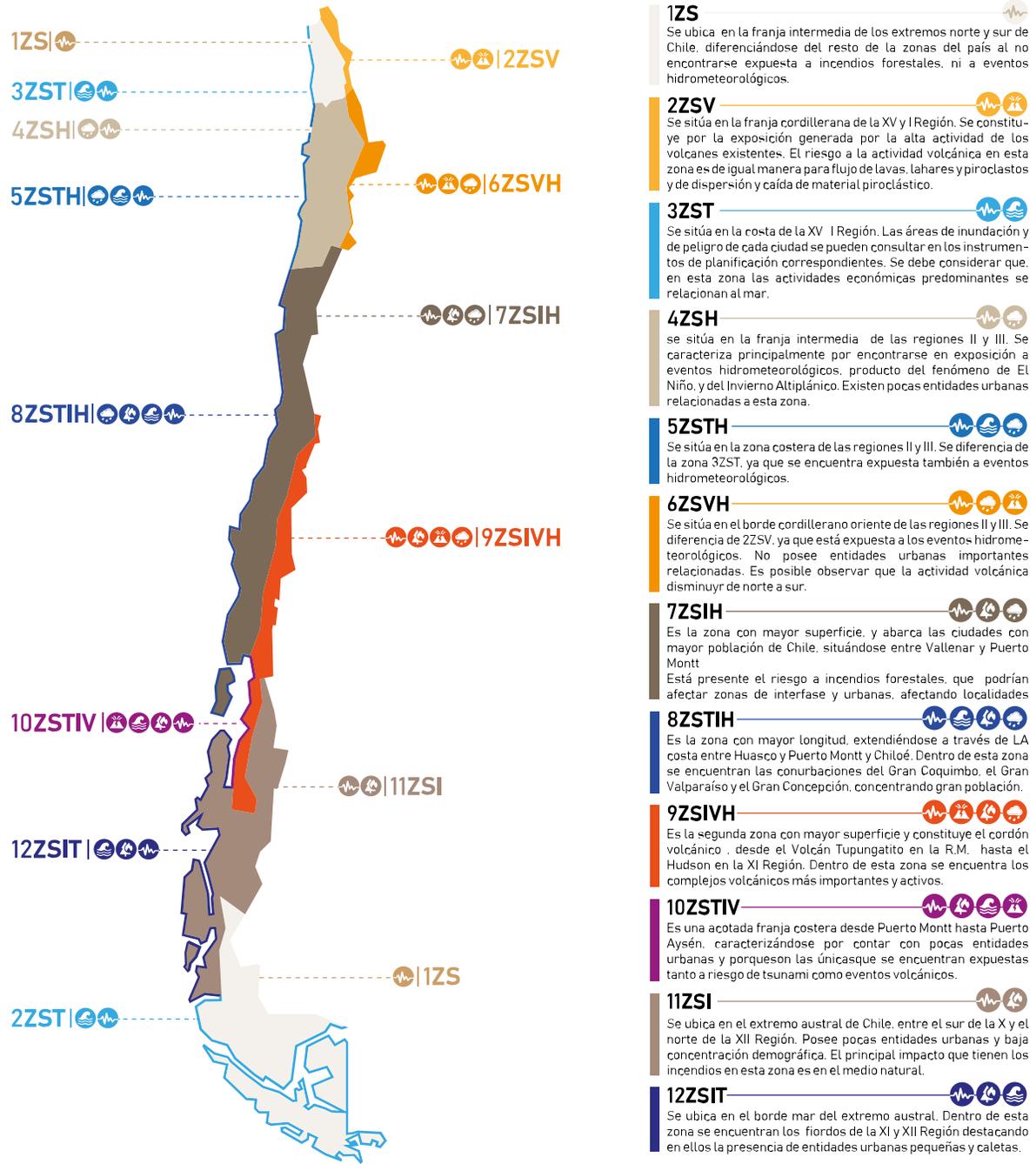


Figura 3.8: Zonificación de riesgos de Chile (Fuente: elaboración propia)

### 3.3 Análisis de la Zonificación de Riesgos.

Es posible identificar en la Figura 3.10 la existencia tres franjas longitudinales en la zonificación, que están definidas por la geografía de nuestro país. La primera de ellas se ubica en el borde costero de Chile abarcando todas las localidades y territorios costeros. Una segunda porción se encuentra en la depresión intermedia que es, por lo general, donde se desarrollan la mayoría de las ciudades, destacando la exposición a eventos hidrometeorológicos e incendios forestales. Por último, una tercera franja que se ubica en el borde oriente de nuestro país, en sectores correspondientes a las conformaciones volcánicas de la Cordillera de Los Andes y se separa en dos porciones una en el Norte Grande y otra desde la Región Metropolitana hasta Los Lagos. En este sector, la zona volcánica se desplaza hacia el centro debido a la aparición de las conformaciones volcánicas de la Cordillera Patagónica de los Fiordos.

En el sentido transversal es posible identificar al menos tres porciones dentro de la zonificación. La primera de ella se ubica en el norte de Chile, y se encuentra dividida en dos diferentes zonas debido a la presencia del riesgo de eventos hidrometeorológicos a partir de la II Región. Un segundo tramo, denominado se ubica desde el centro norte, aproximadamente desde Vallenar, hasta el sur chileno, a la altura de Puerto Montt y la isla de Chiloé. Esta porción además de ser la más extensa, es la que se encuentra expuesta a un mayor número de desastres naturales. La última porción se denominó se ubica en el extremo austral de Chile, separándose en distintas áreas debido a la presencia discontinua del riesgo de eventos hidrometeorológicos y de incendios forestales. En términos generales, los dos extremos de Chile, norte y sur se presentan segmentados en diferentes áreas y expuestos a un menor número de desastres naturales en relación al centro. Por otro lado, se presenta el área central de manera más homogénea, sin embargo, expuesta a un mayor número de eventos críticos.

A través de este análisis es posible determinar que la zona central de Chile se encuentra expuesta a un mayor número de desastres naturales y es también donde se concentra el mayor número de entidades urbanas del país. Sobre todo, aquellas que son más pobladas, destacando la Región Metropolitana y las conurbaciones valle-costeras del Gran Valparaíso y el Gran Concepción. Cabe destacar, además, el caso de la ciudad de Puerto Montt que, al situarse en el límite entre las zonas 7, 8, 9 y 10, eventualmente se encontraría expuesto a los cinco desastres naturales con mayor prevalencia, siendo la única ciudad en Chile con esta condición.

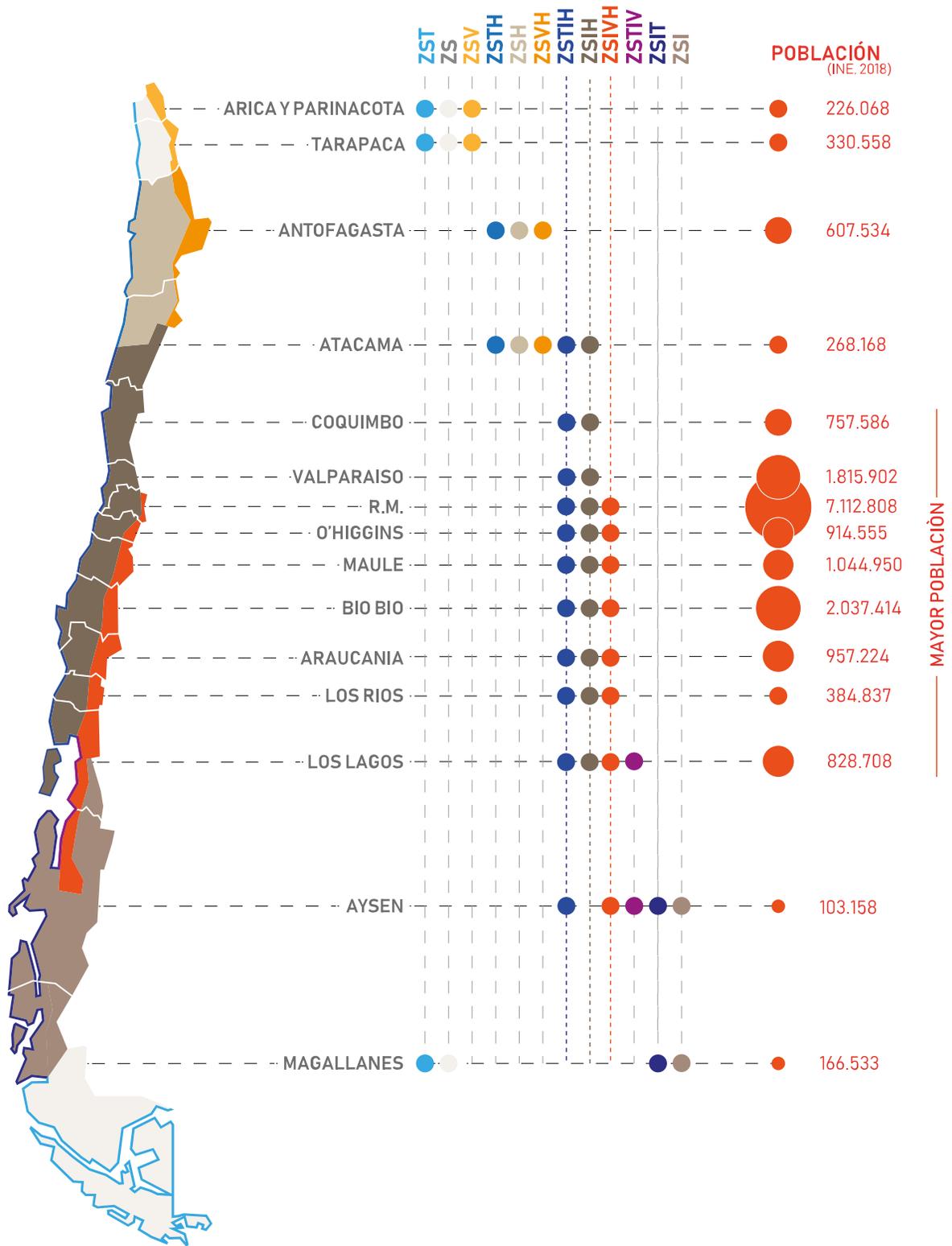
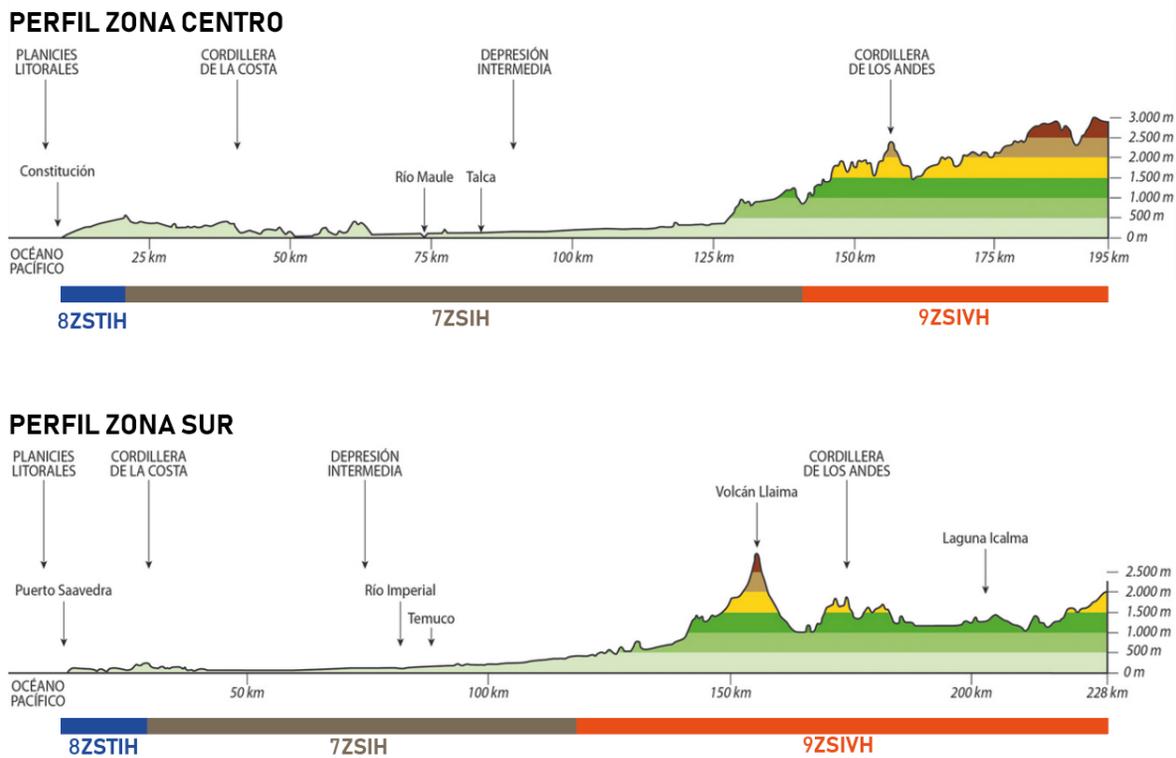


Figura 3.9: Diagrama de análisis demográfico de la zonificación de riesgos según regiones (Fuente: elaboración propia)

3.3.1 Identificación y análisis de Zona Representativa.

El área central está conformada por las zonas 7ZSIH, 8ZSTIH y 9ZSIVH, que son las tres con mayor extensión y superficie de la zonificación. Dentro de ellas, destaca la Zona 7ZSIH debido a la cantidad de ciudades y localidades que se encuentran dentro de ella. Geográficamente, esta zona se ubica en la depresión intermedia y valles interiores de Chile, donde se emplazan ciudades como Talca, Rancagua y Chillán, en la zona central, y Temuco y Osorno en la Zona sur, además de gran cantidad de entidades urbanas más pequeñas y localidades rurales caracterizadas fuertemente por la presencia de actividades económicas ligadas del sector agropecuario.



**Figura 3.10: Perfil topográfico interpretativo Zona Central y Zona Sur de Chile (Fuente: IGM, 2012) indicando aproximadamente su correspondencia con Zonificación de Riesgos.**

La zona 7ZSIH se podría comprender como la zona más representativa de Chile dentro de la zonificación, por motivos que no sólo se remiten a la articulación entre densidad poblacional y extensión de superficie, sino también a aspectos culturales e históricos. Por un lado, la construcción identitaria que se realiza en Chile a partir del Siglo XIX toma los elementos culturales y tradiciones del valle central chileno para elaborar el discurso cultural que lo distingue de los demás países de

Latinoamérica. En el contexto de la celebración del centenario de la independencia, el huaso, personaje típico de la zona del valle central, se convirtió en el representante icónico de la chilenidad.

A través de una compleja construcción de elementos simbólicos que determinan su pertenencia socio-geográfica y racial (DIBAM, 2018) el huaso pasaría a conformar la imagen de la *raza chilena*, siempre perteneciente al contexto de la ruralidad, lo que postuló exitosamente el valle central como fuente identitaria de la cultura nacional, a través de la amplia difusión de la cueca, la tonada, el huaso, los saucos y álamos (Correa, 2009). De esta manera, el campo se convierte en el paisaje de lo rural. Es el campo chileno, y no la totalidad del país, la copia feliz del Edén (Mizón, 2001).

Sin embargo, la utilización del *campo* como el paisaje de la identidad chilena no se aleja del hecho que el desarrollo urbanístico territorial de nuestro país ha estado innegablemente relacionado con las actividades económicas del sector agrícola. Desde un punto de vista histórico, el aumento en la demanda peruana por productos agropecuarios durante los siglos XVI y XVII y la reducción en la extracción minera, potenció el desarrollo de la agricultura en la zona central del país, reemplazando la organización agrícola de subsistencia indígena por el modelo de hacienda, que permitía una obtener la producción demandada por el mercado, convirtiéndose hacia el Siglo XVIII en la estructura socio económica que forjaría las primeras urbanizaciones del país. Ya hacia 1900, las ciudades de la zona central del país se consolidaban en términos urbanos gracias al aumento en la exportación de trigo, principalmente a California y Australia, actividad que fue posible de expandir hasta la región de Los Lagos una vez que estos territorios fueron colonizados y fue extinta la Guerra de Arauco. La consolidación final de las ciudades del centro-sur de Chile fue la construcción del ferrocarril en 1920 que unió desde Iquique a Puerto Montt (Geisse, 1977).

El auge agrícola durante la colonia impulsó el desarrollo de los asentamientos urbanos que se ubicaban en la zona del valle central chileno. Como es posible observar en la Figura 3.11, las ciudades con más antigua data de fundación se ubican en la zona 7ZSIH, precisamente en el sector centro del país. Esta particularidad se debe principalmente a la benevolencia del clima mediterráneo de las zonas agrícolas de Chile entre la IV y X Región, generalmente positivo para la actividad agrícola pero que en algunos periodos es afectado por eventos climáticos que producen impactos negativos. Entre los riesgos climáticos que afectan a la agricultura se encuentran heladas, lluvias extremas, sequías, vientos, granizos o nieve, los que, dependiendo de sus características, pueden provocar daños en los cultivos y pérdidas económicas. Los grandes desastres producto de la ocurrencia de

eventos extremos (como lluvias extremas y períodos de sequías) están generalmente ligados a ciclos de precipitaciones sobre lo normal, a los que siguen amplios períodos secos. Estos ciclos se relacionan con el fenómeno El Niño, que se presenta aproximadamente cada dos a siete años, con una duración anual o bienal; por su parte La Niña. (Aldunce & Gonzáles, 2009).

Las principales entidades urbanas en Chile se desarrollan en esta zona entre los Siglos XVI y XVII, inicialmente a partir de conventos, misiones y fundaciones españolas; más hacia el siglo XVIII la fundación de ciudades ocurre en sectores periféricos a las urbanizaciones establecidas, y son realizadas por grupos vecinales, lo que evidencia el auge de los sectores rurales producto del aumento en la demanda agrícola. Por otro lado, la zona 8ZSTIH, ubicada en la costa, cuenta con la fuerte presencia de las ciudades portuarias impulsadas por la exportación agrícola desde la época colonial, y luego minera con la apertura de los yacimientos salitreros en el norte.

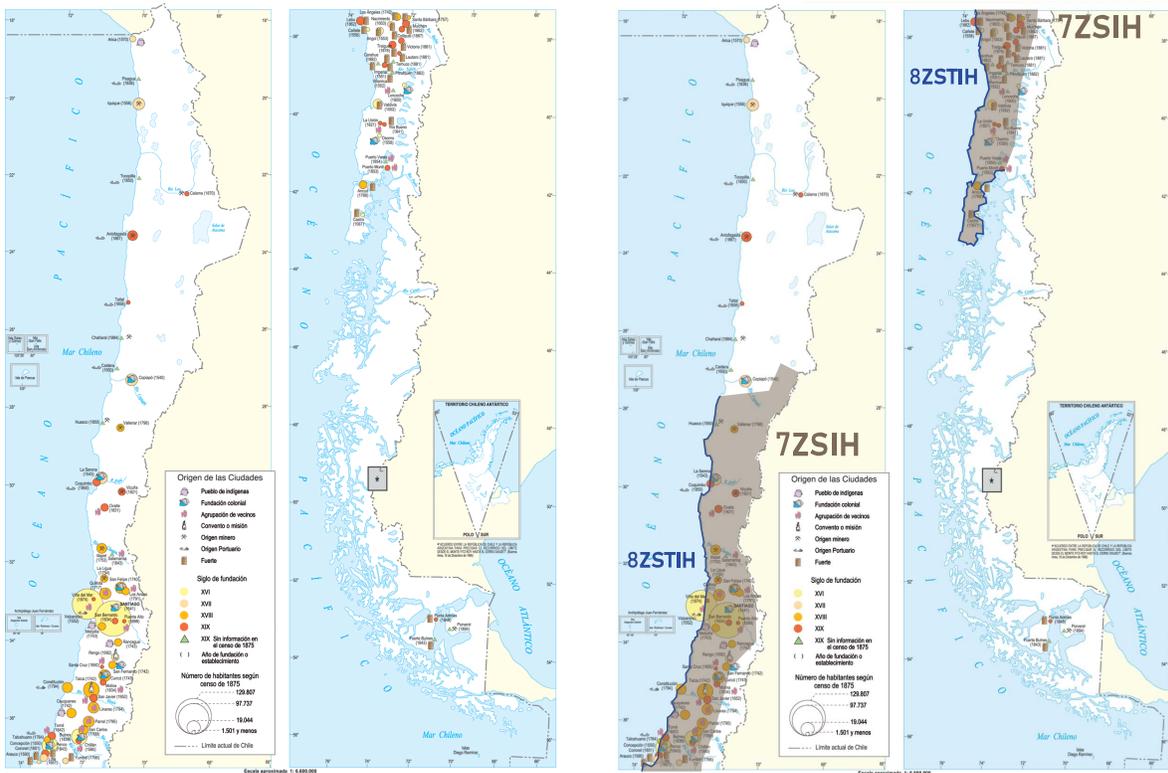


Figura 3.11: Izq.: Mapa de fundación y orígenes de las ciudades en Chile (Fuente: IGM,2018) y Der: su correspondencia aproximada con zonificación de riesgos (Fuente: elaboración propia)

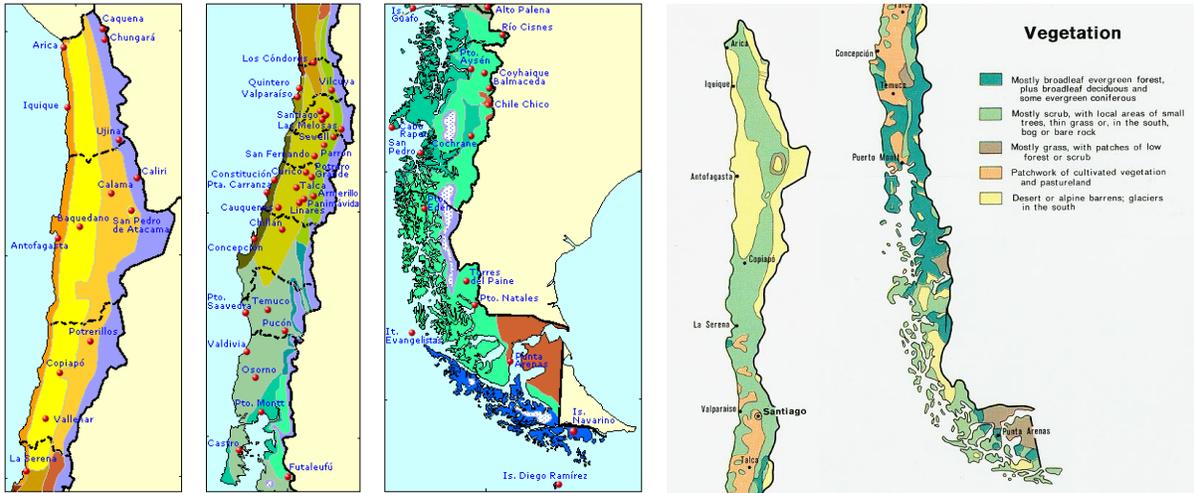
Es muy probable que el gran impacto que han provocado los desastres hidrometeorológico en Chile se deba a que las principales ciudades de han desarrollado en zonas particularmente expuestas a

este tipo de eventos. En el país, dos factores determinan la circulación atmosférica que define el clima: el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental que corresponde a un área de altas presiones semipermanentes que afecta la zona norte y central del país y el cinturón de bajas presiones subpolares que se localiza entre los 45° y 55° de latitud sur, cuyos desplazamientos hacia latitudes menores ocurren con frecuencia en invierno, originando el desarrollo de sistemas frontales incursionan regularmente entre La Serena y Concepción (Aldunce & Gonzáles, 2009)

Según la CEPAL, y de acuerdo a bases de información del Centro para la Investigación de la Epidemiología de los Desastres (CRED), desde 1900 Chile ha sufrido 226 eventos críticos, de los cuales 86 corresponden a eventos hidrometeorológicos, 30 sismos de magnitud y al menos 6 erupciones volcánicas (Bárcena, Prado, López, & Samaniego, 2010). Por otra parte, en la recopilación de CREDE de los más importantes desastres naturales de los últimos 200 años en Chile indica que han existido 45 eventos de magnitud, siendo 14 de ellos terremotos y 14 de ellos de carácter hidrometeorológico; 10 erupciones volcánicas y 7 incendios (CREDE, 2016). Consecuentemente con la Zonificación de Riesgos, los datos anteriores indican que el segundo desastre natural al que una mayor superficie del país está expuesta son los desastres hidrometeorológicos, lo que podría aumentar en los próximos años hasta posicionarse como el desastre natural con mayor prevalencia en el país, hecho preocupante ya que, como se ha revisado, las más importantes entidades urbanas en Chile y aquellas con mayor concentración demográfica, se encuentran en una zona especialmente expuesta a este tipo de fenómenos.

Son precisamente los climas templados de la zona centro y centro sur del país (Riosco et al., 2018) y la existencia de cauces fluviales al interior, o próximos a las entidades urbanas en esta zona, factores que, a pesar de haber sido favorables para el desarrollo económico y urbano de las ciudades, aumentan el riesgo de inundaciones y aluviones ante eventos críticos de carácter hidrometeorológico. Como es posible de observar en la Figura 3.12 los climas más comunes en la zona 7ZSIH, 8ZSTIH, 9ZSIHV son los templados en sus variaciones cálidos, fríos, y templados lluviosos hacia el sur, lo que también es coincidente con la zonificación de riesgos, principalmente en la variación zonal por eventos de incendios forestales, siendo posible observar como el cambio de clima desde la IV Región hacia el sur, de seco a templado, impacta en la zonificación con la aparición de este riesgo dada la mayor abundancia de terrenos agrícolas en la zona central, y de bosques y árboles en la zona sur. Lo anterior indica, por un lado, que la variación zonal de desastres naturales está fuertemente ligada a la variación climática de Chile desde La Serena hacia el sur y el desarrollo

de vegetación producto de este cambio. Por otro lado, el desarrollo urbano en esta zona, impulsado por una amplia actividad agrícola gracias al contexto climático adecuado, provoca que la mayoría de las ciudades del país se encuentre en ella, por consecuencia sobre el 50% de la población chilena.

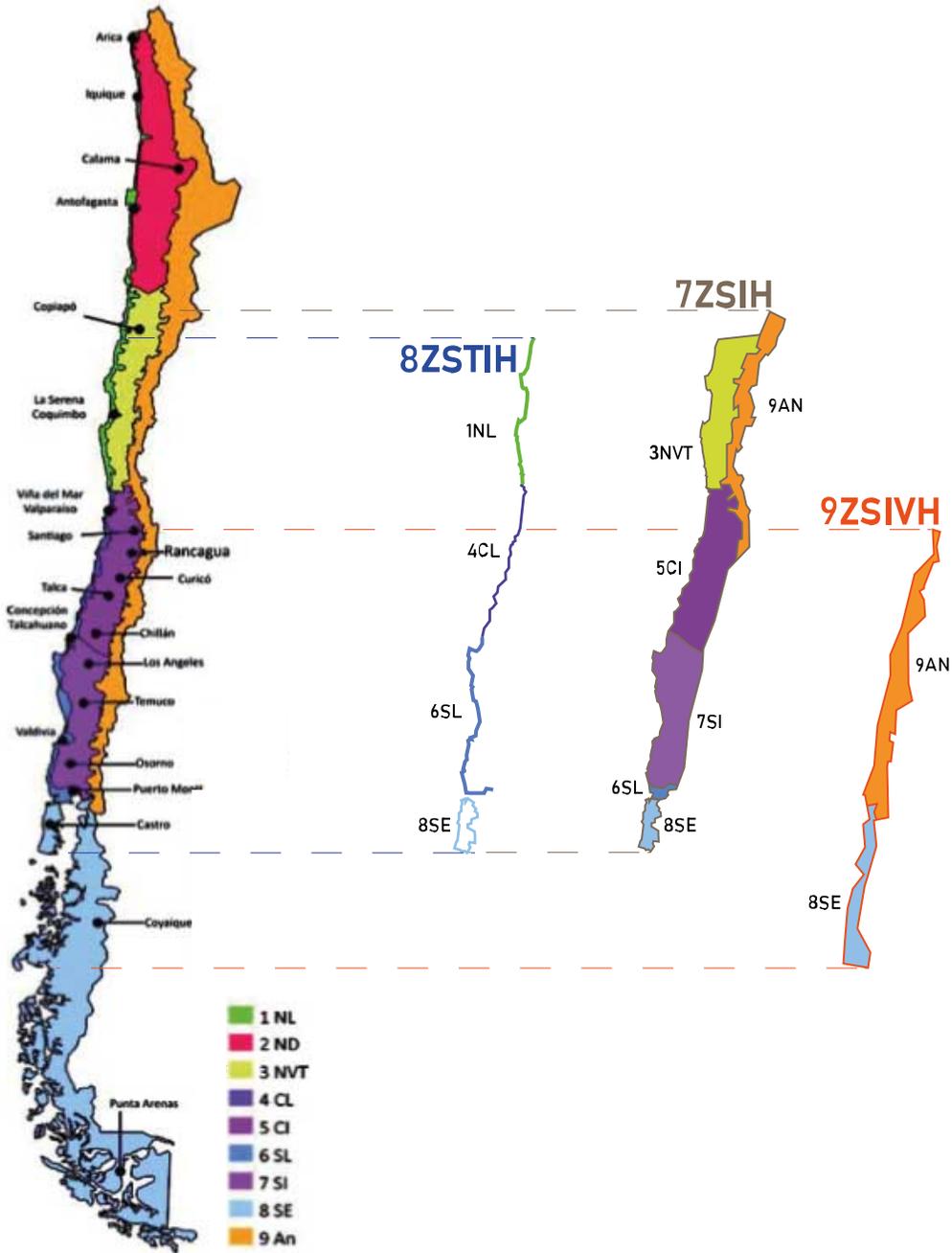


**Figura 3.12: Der: Cartografía de los climas de Chile según Köppen (Fuente: [www.uc.cl/sw\\_educ/geografia/cartografiainteractiva](http://www.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva)) Izq: Cartografía de la Vegetación de Chile (Fuente: <http://www.lib.utexas.edu/maps/chile.html>)**

Respecto a la zonificación climática de los NCh 1079:2008, es posible observar que es muy congruente con la Zonificación de Riesgos respecto a la existencia de tres bandas longitudinales en el país, que responden a las características geográficas de la zona litoral, centro zona andina. Como es posible de observar en la Figura 3.13, las zonas más representativas de la de zonificación de riesgos abarcan más de una zona climática. Por su parte, la zona más representativa 7ZSIH comprende los climas 3NVT, 5CI, 6SL, 7SI y 8SE.; La zona 8ZSTIH se extiende sobre los climas 1NL, 4CL, 6SL y 8SE; por último, la zona 9ZSTIVH es coincidente con los climas 9AN y 8SE.

Según la NCh 1079 (2008), las Zonas Centro Interior y Sur Interior se caracterizan por ser templadas, con pluviometrías y vegetación en aumento hacia el sur. Por otro lado, la zona Sur Extremo se caracteriza por ser fría y lluviosa durante todo el año con vegetación abundante. La norma establece que existen precipitaciones anuales altas para la zona 5CI (sobre 350 mm anuales) y muy altas para las zonas 7SI y 8SE (sobre 1200 mm anuales). Lo anterior indica que la zona 7ZSTIH, en general, se ubica en un contexto climático lluvioso, con gran amplitud térmica anual, sobre todo en ciudades

ubicadas en los valles interiores como Los Andes, Rancagua, Talca, Chillán, Los Ángeles y Temuco, caracterizadas por veranos muy cálidos e inviernos muy fríos.



**Figura 3.13: Der: Zonificación Climática de Chile Nch 1079 Of. 2008 (Fuente: TDR) Izq: Correspondencia con zonas representativas de la Zonificación de Riesgos (Fuente: elaboración propia)**

Considerando que esta zonas interiores se encuentran en un contexto geográfico de cuencas exorreicas andinas y pre andinas (IGM, 2018), y que, por lo general, las entidades urbanas más

importantes se encuentran vinculadas a cauces fluviales importantes (Santiago al Río Maipo; Rancagua al Río Cachapoal, Talca al Río Claro y Río Maule, etc.) un contexto pluviométrico alto conlleva un alto riesgo de inundaciones por crecidas de ríos y cauces menores. Mismo riesgo en la zona Norte de los Valles Transversales (3NVT), donde si bien no existen precipitaciones altas, eventos de este tipo se producen por otros fenómenos hidrometeorológicos como elevación de la Isoterma 0 en el sector cordillerano aumentando la superficie pluvial y la cantidad de agua disponible (Garreaud, 2017), posibilitando inundaciones por aumento de los cauces y/o activación de cuencas aluvionables.

Se puede establecer que el aspecto determinante del riesgo en la zona 7ZSIH es el contexto geoclimático donde se encuentra ubicada, ya que posibilita, por un lado, el desarrollo de eventos hidrometeorológicos tanto del tipo inundaciones y aluviones como sequías y olas de calor. Posibilita, por otro lado, eventos relacionados a incendios forestales, provocados por la articulación entre una mayor disponibilidad de vegetación y las altas temperaturas durante el verano que es el período donde se registran los mayores eventos de este tipo. Estos dos riesgos se suman al de eventos sísmicos, presente en todo el país, conformando el contexto de amenaza al que se expone la zona de Chile con mayor densidad demográfica, donde se encuentran las principales entidades urbanas de la región y donde se desarrollan más extensivamente las actividades económicas ligadas al sector silvoagropecuario y pesquero.

Cabe destacar que según datos del Ministerio de Desarrollo Social obtenidos a través de la Encuesta CASEN de 2015 (MDS, 2018) la zona comprendida entre las regiones de Atacama y Coquimbo, por un lado, y la comprendida entre el Maule y Los Lagos, por otro, presentan las mayores tasas de pobreza por ingreso y de pobreza multidimensional respecto al resto del país, lo que podría indicar una mayor vulnerabilidad y un baja capacidad de preparación - recuperación de los sistemas sociales y urbanos ante desastres naturales. Ambas porciones se encuentran dentro de la zona que se identificó como aquella más representativa. En general, las tasas de pobreza son indicadores directamente proporcionales a la vulnerabilidad ante desastres naturales, mas no de riesgo ni de pérdidas económicas. Por un lado, no se ha encontrado relación entre el riesgo a desastres naturales y la riqueza de los países medido según su PIB; por el otro, se ha detectado que en países ricos se producen mayores pérdidas económicas ante eventos críticos que en aquellos en vías de desarrollo (Sawada & Takasaki, 2017).

## Capítulo 4. Criterios de diseño de edificios resilientes.

### 4.1 Definición del concepto “criterio”.

La R.A.E. (2018) define la palabra “criterio” como una norma para conocer la verdad o como un juicio o discernimiento. Otras fuentes indican que un criterio es una regla o norma conforme a la cual se establece un juicio o se toma una determinación; es una opinión, juicio o decisión que se adopta sobre una cosa o la capacidad para adoptar esta opinión, juicio o decisión (<https://es.oxforddictionaries.com>). De lo anterior se pueden identificar dos aspectos del concepto “criterio”, primero, que implica efectuar un juicio u opinión sobre algo y el segundo que posibilita tomar una determinación o decisión. Un criterio de diseño, entonces, puede ser entendido como un objetivo explícito que un proyecto debe alcanzar para tener éxito, el que se necesita con el fin de evaluar el diseño realizado (Perelman, 2001). Otras definiciones indican que un criterio de diseño es un principio que seguir en la elaboración de algo, que garantiza que ello funcionará debidamente (Santa Clara Valley Science and Engineering Fair Association, 2015); que son aspectos que deben estar satisfechos para alcanzar un objetivo o responder una pregunta (PBIS, 2016); que son los requerimientos explícitos que un producto debe reunir para ser exitoso y se utilizan para evaluar un potencial producto o para crear procedimientos de testeo (Lancaster School, 2010). Además, un criterio de diseño puede ser entendido como cualquiera de los múltiples inputs del proceso de diseño (Blanchard, 2010). En el ámbito de edificaciones, los criterios de diseño pueden definir el desempeño esperado tanto del edificio completo como de sus partes antes de asumir cualquier solución específica, por lo que se utilizan en etapas tempranas del proceso de diseño (BSD, 2018). A través de esta breve revisión es posible señalar que los criterios de diseño en edificaciones consisten en: (1) aspectos que se consideraran en etapas tempranas de diseño (inputs), que (2) constituyen requerimientos para alcanzar el desempeño deseado del edificio y que (3) además, permiten evaluarlo. En este caso un criterio de diseño se puede entender desde dos enfoques: significaría un punto de partida desde donde tomar decisiones tempranas de diseño, y un punto de control ya que permite evaluar el desempeño del edificio. Evaluar, en este sentido, significaría medir que tan bien o que tan mal lo está haciendo el edificio en base a estos criterios establecidos, utilizando indicadores ya sean cualitativos o cuantitativos que evalúan aspectos específicos del edificios (Quesada Molina, 2014).

Dentro del primer enfoque se podrían clasificar las “recomendaciones de diseño” que indican lineamientos a seguir, considerando aspectos generales que incorporar a etapas tempranas de diseño (inputs) sin establecer, sin embargo, objetivos en términos cuantitativos, por lo que su cumplimiento se vuelve difícil de comprobar. Se pueden incorporar acá, además, los créditos de algunos sistemas de certificación cualitativos como ENVISION®. Los créditos de otros sistemas de evaluación de edificios, sobre todo aquellos que poseen indicadores cuantitativos, se pueden utilizar de ambas maneras; por un lado, sirven como guía para la toma de decisiones de diseño y también establecen metas a alcanzar con indicadores específicos de desempeño, de modo que su cumplimiento se puede medir e implica la obtención un puntaje determinado.

## 4.2 Características de un edificio resiliente

Durante el último tiempo la prensa y los medios de comunicación se han introducido el concepto de resiliencia al campo de la construcción en Chile, mencionado en reiteradas oportunidades que nuestro país posee edificaciones *resilientes* debido a que han resistido de buena manera los más recientes eventos críticos, sobre todo sísmicos, que han azotado el país.

Diversas fuentes (Penner 2010, Olson 2010, St Paul 2010, Witte and Llana, 2010) indican que esto ha sido posible debido a que Chile posee un fuerte trasfondo normativo de construcción, el que se ha ido desarrollando como respuesta a los diferentes eventos sísmicos que han ocurrido a lo largo de su historia. Esto, sumado a otros factores, ha permitido que nuestro país consiga menos daños en infraestructura en comparación a otros en eventos sísmicos de características similares.

Sin embargo, el desarrollo normativo en Chile en materias de desastre no se ha centrado solo en los eventos sísmicos. Como se puede observar en la tabla 5.1 en nuestro país se han elaborado distintos instrumentos que regulan el diseño y construcción de edificaciones con el fin de dotarlas de mayor resistencia a eventos críticos tales como incendios y tsunamis.

**Tabla 4.1: Marco normativo en Chile para construcciones según desastre natural  
(Fuente: Elaboración propia)**

<b>Sísmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NCh 433:1996 Mod. 2009 diseño sísmico de Edificios.</li> <li>• NCh 2369:2003 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales</li> <li>• NCh 2745:2013 Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica.</li> </ul>
<b>Tsunami</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTM 007 Diseño estructural para edificios en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche. (MINVU, 2013)</li> </ul>

<b>Volcanismo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> </ul>
<b>Hidrometeorológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> </ul>
<b>Incendios Forestales y/o Estructurales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Capítulo 3 Condiciones generales de seguridad contra el fuego.</li> <li>• NCh 1974:1986, 1977:1985, 1979:1987, 2114:1990, 2121/1:1991, 2121/2:1991, 2209:1993, 2852:2006, 935/1:1997, 935/2:2013 Prevención de incendio en edificios.</li> <li>• NCh 2095/1:2000, 2095/2:2000, 2111:1999 Protección contra incendios.</li> <li>• Nch 388:1955 Prevención y extinción de incendios en almacenamientos de materias inflamables y explosivas.</li> </ul>

En la tabla 5.1, y considerando los cinco desastres naturales que se han determinado como aquellos con mayor prevalencia en Chile, es posible advertir que respecto a los instrumentos existentes: para incendios existen consideraciones respecto a los materiales de construcción y a la arquitectura; respecto a tsunamis la NTM 007 solo considera el aspecto estructural y para los sismos las normas existentes también se encuentran orientadas al diseño estructural. Por otro lado, no existen instrumentos normativos que regulen o recomienden parámetros de diseño y/o construcción para edificaciones que se encuentren expuestos a riesgos de eventos volcánicos e hidrometeorológicos. En general, la lógica que existe para edificaciones en contexto de riesgo para estos dos últimos eventos es el de evitar el emplazamiento en zonas de riesgo, para lo que existe una serie de recursos e instrumentos. Se pueden identificar aquellas que zonifican el territorio y regulan las tipologías de construcción en cada una de estas zonas, como son los planes reguladores en sus diferentes escalas; y aquellas que se utilizan para identificar áreas de riesgo, como son las diferentes cartografías que dispone la ONEMI. Estos dos tipos de instrumentos están relacionados al sitio de emplazamiento.

Es posible identificar que los diferentes instrumentos normativos y de recomendaciones en Chile están orientados a cuatro aspectos del proyecto del edificio: el sitio, el diseño arquitectónico, la materialidad y el cálculo estructural, siendo este último el más persistente dentro de ellos. En general, y en el contexto de los desastres naturales, es posible establecer que todos aquellos instrumentos que implican exigencias y que constituyen organismos legales, están más bien orientados a los aspectos de “resistencia” de las edificaciones (resistencia estructural, resistencia de los materiales al fuego) y aquellos que implican recomendaciones o buenas prácticas a aspectos de diseño.

Por lo tanto, de aceptarse la afirmación de que en Chile existen edificaciones *resilientes gracias a un importante trasfondo normativo*, y este trasfondo es, en general, orientado a la resistencia de las construcciones, se está equiparando el concepto de resiliencia con el de resistencia, lo que si bien en primera instancia parece acertado - o al menos lógico - da la posibilidad de preguntarse qué tan satisfactorio es reducir el concepto de resiliencia tan solo al aspecto resistente de un sistema, considerando que esta característica se ve involucrada tan solo en la etapa de impacto del evento, lo que constituye, como se revisó en el marco teórico, tan solo un momento en el ciclo de un sistema resiliente.

La revisión teórica arrojó que el modelo más común de un sistema resiliente pasa por cuatro etapas: una etapa inicial de estabilidad; una etapa disruptiva, una etapa de recuperación y una de nueva estabilidad que puede ser igual, superior o inferior a la primera. Para ello el sistema resiliente utiliza tres capacidades: absorción, de la que depende que tan profunda es la etapa disruptiva; restauración, que define la capacidad de volver a la estabilidad y el tiempo que le toma; y adaptación que indica, dadas las nuevas condiciones, si el sistema es más o menos estable que en la etapa inicial, lo que se puede entender como lecciones aprendidas y preparación para otro evento similar.

Si se considera que, por definición, el objetivo del cálculo estructural es diseñar y producir estructuras capaces de resistir las cargas aplicadas a ellas sin fallar durante su vida útil (Mrema, Gumbe, Chepete, & Agullo, 2011) en el ciclo típico de la resiliencia, que se grafica en la figura 4.1. y aplicado al diseño de edificios, es posible enmarcar al cálculo estructural dentro de la fase disruptiva y en el aspecto de absorción, ya que a través de él es posible dotar a este sistema de las condiciones necesarias para resistir o absorber el impacto, en este caso en su dimensión física, dentro de lo que se determina como vida útil, orientándose principalmente a la resistencia de los materiales y la geometría de los distintos elementos estructurantes.

Considerando que nuestra normativa está orientada solo hacia el cálculo estructural no abordando otras fases de la resiliencia, como la restauración o la adaptación al contexto post-impacto, y que el fin último de un edificio resiliente debiese ser aumentar la resiliencia de las comunidades que lo habitan (McAllister, 2013) por lo que debería acompañar a una comunidad durante todo el proceso graficado en la tabla 5.1., cabe preguntarse ¿son nuestros edificios en realidad resilientes a los desastres naturales o son simplemente resistentes a ellos?

La aproximación ingenieril con que se define la resiliencia en edificios no es satisfactoria para lograr el objetivo de un edificio resiliente que indica Mcallister (2013) ya que en ella la edificación es entendida como un objeto resiliente tan solo en la dimensión física de su constitución física y material. Para satisfacer este objetivo es necesario que el edificio no sólo logre mantenerse en pie, sino que también contribuya a la absorción, recuperación y adaptación de la comunidad que lo habita en relación con los eventos naturales propios del territorio donde se emplaza. Para ello es necesario incorporar al diseño parámetros que logren establecer una dialéctica entre comunidad, territorio y edificio en el contexto de los desastres naturales.

El ambiente construido y las edificaciones constituyen una de las diferentes dimensiones que contribuyen a la resiliencia de las comunidades (Mendonça, Amorim, & Kagohara, 2018). Para determinar las características de un edificio resiliente a los desastres naturales, primeramente, se indaga en qué aspectos del proceso de resiliencia de la comunidades debería satisfacer y qué necesidades debiese cubrir. Existe en la literatura una gran cantidad de ejemplos de cómo las comunidades incorporan los edificios y el entorno construido en el proceso de preparación para los desastres naturales, mitigar los daños derivados de su impacto y recuperarse de ellos.

En Lisboa, luego del terremoto de 1775, las comunidades utilizaron las iglesias como refugio para las personas que sufrieron daños en sus viviendas, así también, al fallar la torre del reloj del pueblo, utilizaron las campanas de estos edificios para guiarse a través de las horas del día. Esto indica que debe considerarse el rol que cumplen las tecnologías disponibles en las comunidades para determinar su posible contribución a la resiliencia (Mendonça et al., 2018).

En Nueva Zelanda comunidades originarias han organizado estratégicamente sus viviendas alrededor del *marae*, lugar sagrado, que se utiliza como centro asistencial en caso de emergencia, albergando gran número de personas pertenecientes tanto a su propia tribu como a otras, a personas no maoríes e incluso extranjeros. La organización estratégica responde a obtener una movilidad rápida y expedita entre las viviendas y el *marae*. Además han sido capaces de generar vías de comunicación estableciendo radios comunales y centros de información (Thornley, Ball, Signal, Lawson-Te Aho, & Rawson, 2015).

Por otra parte, se ha observado que la existencia de jardines comunitarios constituye lugares seguros y de encuentro donde desarrollar interacciones sociales, aumentando el capital social de la comunidad. Sin embargo, estos espacios cumplen un rol esencial en la etapa post desastre ya que

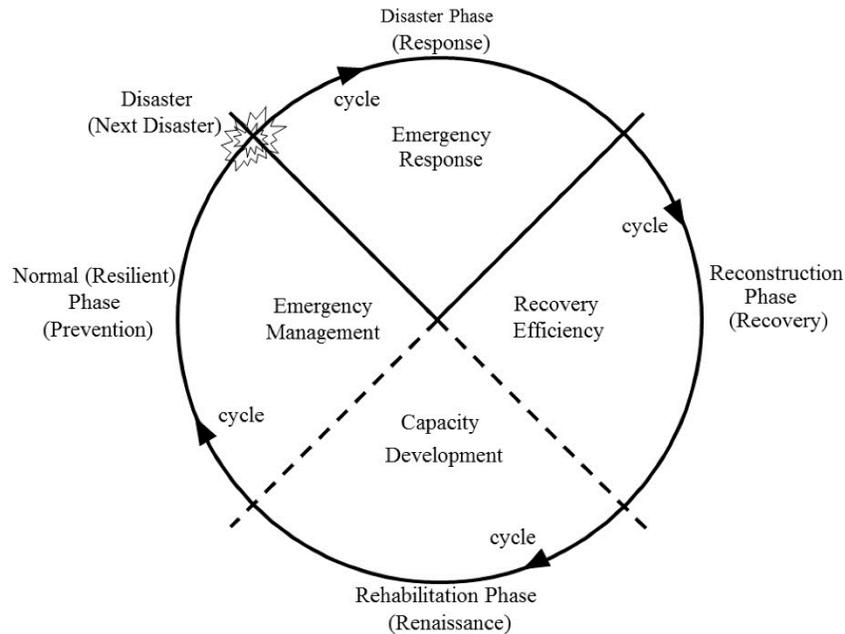
pueden constituir fuentes de alimentos y lugares donde las personas afectadas pueden aliviar el estrés. (Shimpo, Wesener, & McWilliam, 2019)

Luego del terremoto que afectó la región central de Italia en 2009, algunas aldeas en zonas rurales de la montaña quedaron aisladas de la ayuda gubernamental debido al daño sufrido en rutas y caminos por lo que se vieron obligados a improvisar soluciones que ayudaran a recuperarse del evento sísmico. La primera acción fue la utilización de las construcciones que quedaron en pie como cocinas comunes y espacios donde compartir comunitariamente alimentos, instalaciones sanitarias para poder ducharse improvisando instalaciones para contar agua caliente sanitaria y lugares de lavado. También se organizaron diferentes campamentos con carpas que sirvieron de espacios de encuentro donde se discutían diferentes estrategias para sobrellevar la situación (Imperiale & Vanclay, 2016)

A través de estos casos es posible determinar no sólo algunas de las acciones que se llevan a cabo por las comunidades en el contexto de un desastre natural para satisfacer requerimientos básicos que se suscitan, sino también en qué temporalidad se realizan. Por ejemplo, se encontraron espacios utilizados como refugio para la población tanto preparados desde antes del evento, como aquellos que se desarrollaron espontáneamente luego de él junto con espacios de higienización y encuentro comunitario. Los espacios comunes se desarrollan luego de la catástrofe con el fin de la interacción y comunicación entre los afectados, sin embargo, existen aquellos, como los jardines comunitarios que, antes del desastre promueven la interacción entre los miembros de la comunidad para aumentar el capital social de la comunidad y posterior a ella se utilizan como fuente de alimentación y para proveer distensión en los afectados. Otra acción recurrente es la utilización de edificios significativos dentro de la comunidad, iglesias y lugares sagrados, como punto de encuentro, de referencia y ordenamiento.

A partir de estos casos se pueden identificar algunos requerimientos que surgen en las comunidades afectadas por eventos de desastres naturales y que se satisfacen a partir de las edificaciones. Requerimientos básicos constituyen la provisión de refugio, alimentación, higienización, e interacción – comunicación, las que van surgiendo en diferentes momentos del proceso de resiliencia. Xiang, Zhao y Chen (2018) establecen un ciclo de cuatro etapas para graficar este proceso en las comunidades: etapa normal, de desastre, de reconstrucción y de rehabilitación; y cuatro aspectos para evaluar cada una de las etapas anteriores: respuesta a la emergencia; eficiencia de

recuperación, capacidad de desarrollo y gestión de la emergencia, respectivamente. Este modelo grafica el proceso de reconstrucción del entorno de vida post desastre basado en las necesidades de las víctimas. Este ciclo es concordante en gran medida con las etapas y aspectos de resiliencia identificadas en la Figura 4.1.



**Figura 4.1: Diagrama esquemático de modelo del ciclo de desastres (Fuente: Xiang, Zhao, and Chen 2018)**

Consideradas las necesidades que surgen en las comunidades durante las diferentes etapas del ciclo de resiliencia en contexto de desastres naturales es necesario preguntarse ¿qué características deberían poseer los edificios para satisfacerlas? Con el fin de que el edificio contribuya en todas las etapas de este ciclo, diferentes autores (Alonso 2019, Applegate 2018, Kosanović, 2018, Tien et al. 2018) concuerdan en que un edificio resiliente deberían reunir las siguientes características:

- **Edificios comunitarios.** que promuevan la igualdad social y contribuyan a la construcción de estructuras sociales que aumenten el capital social de las comunidades. Dentro de estos espacios se puede compartir información en la etapa previa al desastre; pueden utilizarse como espacio de autoorganización y distensión durante la etapa posterior. Los aspectos sociales de la resiliencia pueden ser tan importantes como las aspectos de infraestructura física.

- **Edificios eficientes.** En términos energéticos e hídricos. En términos energéticos los edificios deben diseñarse altamente eficientes aprovechando las estrategias pasivas de la arquitectura bioclimática, y aumentando sus prestaciones en aislamiento y estanqueidad. En términos hídricos diseñar edificios que suplan el consumo hídrico con sistemas de captación de aguas lluvias, pudiendo funcionar incluso independiente a la red pública; que cuenten con manejo de aguas residuales y que sean capaces de devolver el agua limpia a cauces naturales.
- **Edificios productores.** Productores de energía, pensándolo como una pequeña central generadora de ERNC que pueda compartirla con las comunidades aledañas en caso de emergencia. Productores de alimentos, que consideren la producción agropecuaria a una escala comunitaria a través de huertos urbanos, invernaderos, muros verdes, etc.
- **Edificios saludables.** El edificio debería proveer los servicios básicos requeridos por las necesidades humanas: refugio en condiciones habitables, agua potable, sistemas sanitarios, energía eléctrica, iluminación, aire fresco y alimentos. El edificio debería proteger la salud de sus ocupantes a través de la calidad ambiental interior y que promuevan la actividad física de las comunidades. El edificio no debiese provocar contaminación interna, ni química ni electromagnética y minimizar los impactos que puedan ser externos, como el tipo de ruido y/o la radiación.
- **Edificios de bajo impacto.** A través del manejo de residuos, el reciclaje, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de agua y la utilización de materiales y de mano de obra local en su construcción. La ubicación con respecto a la ciudad que privilegien el uso de medios de transporte no contaminantes y/o sistema de transporte público. Edificios que sean respetuosos con el sitio y que no contribuyan a la deforestación o al agotamiento de fuentes hídricas locales.
- **Edificios flexibles.** Que puedan ser utilizados para diferentes actividades de modo que, si dejan de ser utilizado para el uso en que fueron diseñados, se puedan reutilizar alargando su vida útil o que puedan ser modificados o alterados en el futuro. Incluir sistemas pasivos o manuales son más resilientes que las soluciones complejas que se pueden descomponer y requieren un mantenimiento continuo. Edificios que puedan ser reparados fácilmente, utilizando mano de

obra y materiales locales. Las soluciones flexibles pueden adaptarse a las condiciones cambiantes tanto a corto como a largo plazo.

- **Edificios robustos.** Edificios que utilicen criterios de diseño que los hagan durables y robustos de modo de extender su vida útil. Debería considerar no sólo la resistencia de los elementos estructurales si no también el diseño de la forma para hacer frente a adversidades, la orientación respecto al sol y la durabilidad de los sistemas e instalaciones, así como los componentes de terminaciones interiores.
- **Edificios diversificados y redundantes.** La diversificación y la redundancia es una de las principales características de los sistemas resilientes. Esto es aplicable a los edificios en cuanto a redundar y diversificar sus fuentes de energía, sus modos de acceso, y las actividades que puedan albergar.

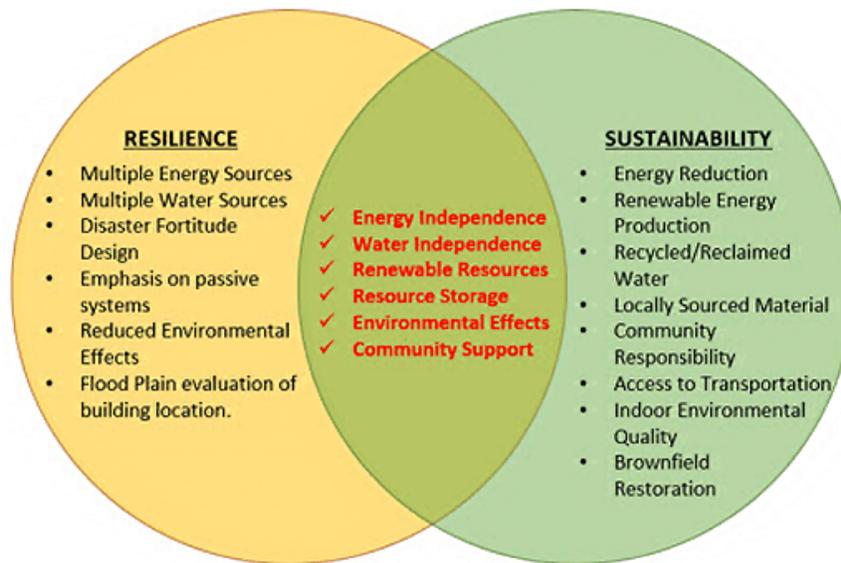
Es posible observar que dentro de las características recién enunciadas se repiten ciertos tópicos que son capaces de establecer aspectos comunes entre ellas, lo que indica que es posible generar una codependencia sistémica entre estas, pudiendo satisfacer diferentes características a través de una sola estrategia de diseño. Sin embargo, debería ser necesario incorporar diferentes estrategias con los mismos objetivos en el diseño con el fin de diversificar la posibilidad de atribución de esa característica en el edificio, de modo que de llegar a fallar alguna durante un evento catastrófico, las otras aún se encuentran disponible. Esto satisface el principio de diversificación que debería estar presente en los sistemas resilientes. Es posible que estos puntos de convergencia entre las distintas características constituyan lugares desde donde comenzar a determinar criterios de diseño para las edificaciones.

Estas cualidades atienden a diferentes momentos del ciclo de la resiliencia en comunidades satisfaciendo las necesidades que se suscitan producto de un evento catastrófico y tienen impacto tanto a esta escala como a la escala medioambiental del territorio, cumpliendo así la propiedad multiescalar de la resiliencia. En este aspecto es atendible la cantidad de características que están fuertemente relacionadas a aspectos medioambientales y que son abordables a través de la incorporación de estrategias de arquitectura bioclimática y eficiencia energética. Es posible establecer aspectos comunes entre resiliencia y sustentabilidad en el ámbito de las edificaciones

orientados principalmente a la independencia energética e hídrica, la utilización de recursos y energías renovables, la disminución del impacto ambiental y el apoyo a la comunidad.

En conclusión, se pueden identificar cuatro aspectos donde gravitan las diferentes características que deberían reunir los edificios para ayudar a las comunidades durante el ciclo de resiliencia ante desastres naturales. El primero de ellos se ha denominado **Ecología e Impacto Ambiental** y aborda la arista territorial y medioambiental de las edificaciones. El segundo se inscribe en la escala del entorno construido y está orientada a la **Eficiencia Energética y Sustentabilidad** de los edificios y se encuentra fuertemente conectada al primer aspecto. El tercero apunta a la escala del edificio en sí y se ha denominado **Resistencia y Seguridad** tanto estructural como de los sistemas que le permiten al edificio ser sustentable y energéticamente eficiente. La cuarta se dirige a la escala humana de las comunidades que habitan el edificio y está relacionada al **Bienestar y Comunidad**.

Estos cuatro aspectos se encuentran relacionados entre sí y sirven de marco inicial para desarrollar los criterios de diseño donde se integran resiliencia y sustentabilidad.



**Figura 4.2: Diagrama esquemático de aspectos comunes entre resiliencia y sustentabilidad (Fuente: Global Energy Network Institute, 2017)**

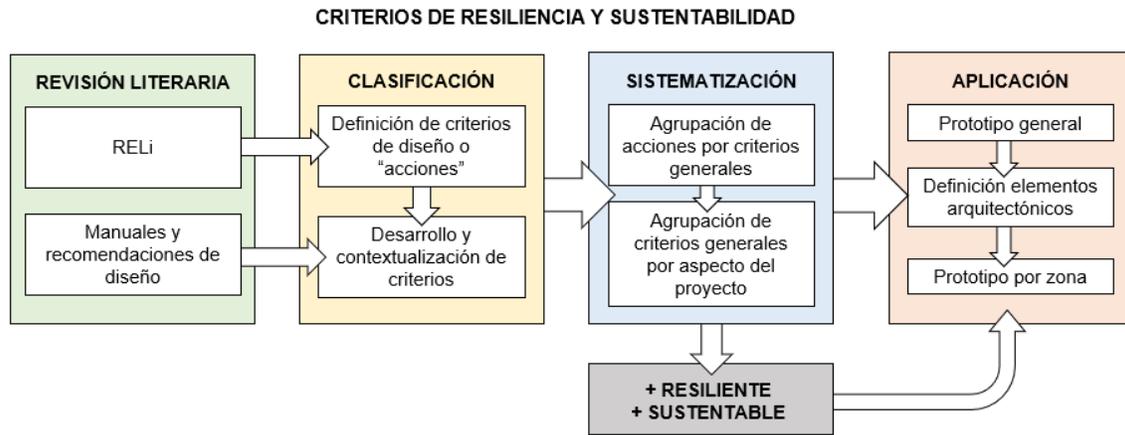
### 4.3 Metodología

Para determinar criterios de diseño de edificios donde se integran criterios de sostenibilidad y resiliencia se utilizó una metodología compuesta por cuatro etapas: La primera de ellas consiste en una revisión en la literatura, que se realizó a partir de dos fuentes: el análisis del sistema de certificación RELi y la revisión de distintos manuales y recomendaciones de diseño de edificios para cada uno de los desastres con mayor prevalencia en Chile, puestos a disposición por distintos organismos y gobiernos tanto nacionales como internacionales.

La segunda etapa consiste en clasificar y condensar los más de 60 créditos de RELi en 26 estrategias de diseño o “*acciones*” considerando cuatro distintos aspectos de la resiliencia que fueron identificados en el capítulo anterior: Resistencia y seguridad; Bienestar y comunidad; Eficiencia energética y sustentabilidad; Ecología e impacto ambiental. Estas acciones fueron desarrolladas más profundamente utilizando la información la revisión literaria de manuales y diseños de recomendación y fueron contextualizadas al ámbito chileno, especificándose para cada una de las cinco catástrofes más recurrentes en Chile.

La tercera etapa consiste en el desarrollo de un sistema donde estas 26 acciones se ordenen y clasifiquen de manera de facilitar su aplicación. Para ello, estas acciones se clasifican en 10 diferentes grupos o “*criterios generales*” que funcionan como objetivos que pueden ser logrados incorporando las acciones correspondientes al diseño. Estos 10 criterios, a su vez, se ordenan en torno a tres aspectos básicos a considerar en el diseño de una edificación: Sitio, Edificio e Instalaciones. A este sistema se le denominó: **+ Resiliente + Sustentable**.

La cuarta etapa consiste en la aplicación de este sistema de recomendaciones de diseño en la elaboración de un primer prototipo de edificio escolar puramente volumétrico que no considera aún especificaciones en el programa interior, pero sí incorpora alguno principios arquitectónicos básicos que pueden sufrir variaciones formales de manera de ser satisfactorios para cada una de las zonas de riesgo identificadas en la primera parte de la tesis y los desastres naturales asociados a ellas. De este modo el prototipo correspondiente a la zona 7ZSIH, la que se identificó como la más representativa, se desarrollará más ampliamente considerando los requerimientos normativos para espacios educacionales, en la tercera parte de la presente investigación.



**Figura 4.3: Diagrama metodología utilizada (Fuente: Elaboración Propia)**

### Revisión de literatura y sistema de certificación RELi

La primera etapa consiste en la recolección de datos a través de una revisión de diferentes manuales y recomendaciones de diseño para desastres naturales, pero principalmente del sistema de certificación RELi. RELi es un sistema de certificación tanto para edificios como para comunidades que sean resistentes a los impactos, saludables, adaptables y regenerativos a través de una combinación de diversificación, previsión y capacidad de auto organización y aprendizaje. El sistema combina una lista holística de criterios de diseño resilientes con procesos de diseño integrado, persiguiendo la preparación ante emergencias y la adaptación de las comunidades (RELi, 2017).

Algunas características de RELi son las siguientes:

- Sigue la estructura de otros sistemas de certificación. Está diseñado con un formato de *menú* con puntaje aditivo basado en una lista de criterios que se dividen entre requisitos (obligatorios) y créditos (no obligatorios) que se pueden incorporar para aumentar el puntaje. Los criterios, además, pueden ser créditos simples, donde el puntaje se alcanza satisfaciendo un solo objetivo, y poli créditos, donde es necesario cumplir más de un objetivo para alcanzar el puntaje.
- Los criterios de RELi también están clasificados dependiendo si pueden incorporarse en una escala de edificios y viviendas (Structures), a escala de barrios y comunidades (Communities) o a ambos. Además, especifica sin las características que busca incorporar el crédito son tangibles
- RELi se complementa y expande, referenciando sus criterios con otros sistemas de certificación como LEED, Envision y Living Building Challenge, utilizando sus métricas y sus procesos de diseño

integrado y participativo, lo que tiene como fin consensuar los estándares de RELi con los otros sistemas.

- RELi posee tres niveles de certificación en su ranking de resiliencia en base al puntaje obtenido por el proyecto: Basic, Advances y Revolutionary. Los puntajes de cada crédito no se han incluido hasta la fecha, sin embargo, es posible completar la lista de acciones utilizando el puntaje 1 para cada criterio.

RELi cuenta con un *action list* donde se clasifican todos los créditos dentro de cuatro categorías que a su cuentan con subcategorías: (1) Enfoque panorámico: (1.1) Enfoque panorámico a la planificación, diseño, mantención y operación. (2) Adaptación al riesgo y mitigación de riesgos graves: (2.1) Preparación al riesgo; (2.2) Adaptación y mitigación del riesgo. (3) Adaptación exhaustiva + mitigación para un futuro y presente resiliente: (3.1) Cohesión comunitaria, social y vitalidad económica; (3.2) Productividad, Salud y diversidad; (3.3) Energía, agua y comida; (3.4) Materiales y artefactos. (4) Creatividad aplicada y contextualización de los factores de resiliencia: (4.1) Creatividad aplicada, innovación y exploración. En total la suma de criterios entre requisitos y créditos, considerando aquellos incluidos en los poli-criterios, alcanza el número de 176 criterios.

ESTRUCTURAS COMUNIDAD	NÚMERO	REQUISITO / DESCRIPCIÓN	REQUISITO	PUNTO	VALORABLE	REFERENCIA
<b>PANORAMIC APPROACH</b>						
<b>PA PANORAMIC APPROACH TO PLANNING, DESIGN, MAINTENANCE, &amp; OPERATIONS</b>						
S	C	Req 1 Study-Project Short Term Hazard Mitigation and Adaptation Needs Including Climate	Required	Y	RELI	
S	C	Req 2 Integrative Process, Development & Community Stakeholder Involvement	Required	Y	IP   LEED   Envision	
S	C	Poly Req 3 Commissioning & Long-Term Monitoring / Maintenance	Required	Y	LEED   Envision	
S	C	Poly Credit 1 Business & Community Case Analysis, Post-Development Evaluation and Reporting	TBD	Varies		
S	C	Credit 2 Establish a Sustainability & Resiliency Management System	TBD	Envision		
S	C	Credit 3 Address Conflicting Regulations & Policies	TBD	Envision		
S	C	Credit 4 Third Party Leadership & Next Generation Certifications and Programs	TBD	RELI		
<b>Credits 5-8 Below Expand the Integrative Process Required by Requirement 2 Above</b>						
S	C	Poly Credit 5 Study & Design for By-Product & Underutilization Synergies	TBD	Adapted - Envision		
S	C	Poly Credit 6 Study & Design for Improved Project Element & Infrastructure Integration	TBD	Adapted - Envision		
S	C	Poly Credit 7 Study & Design for Long-Term Adaptability, Diversity & Resiliency	TBD	RELI		
S	C	Poly Credit 8 Study & Learn Design for Advanced Resiliency Home a Diversity of Ecology-Based Perspectives	TBD	RELI		
<b>RISK ADAPTATION &amp; MITIGATION FOR ACUTE EVENTS</b>						
<b>HP HAZARD PREPAREDNESS</b>						
S	C	Req 1 Fundamental Emergency Planning & Preparedness for Common Hazardous Events	Required	Y	RELI	
S	C	Req 2 Fundamental Access To First Aid, Emergency Supplies, Water, Food, Communications	Required	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 1 Enhanced Emergency Planning for Common Hazards & Extreme Events	TBD	Y	RELI	
S	C	Credit 2 Enhanced Access, Emergency Care & Supplies, Water, Food, Communications	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 3 Additional Emergency Provisions for the Community & for Longer Timeframes	TBD	Y	RELI	
S	C	Credit 4 Community Education, Active/Passive Dialogues on Ever-Increasing Weather, Safety & Resiliency Risks	TBD	RELI		
<b>MA HAZARD ADAPTATION &amp; MITIGATION</b>						
S	C	Req 1 Sites of Assistance & Repair: 500-Year Flood Plain, Storm Surge & Sea Rise	Required	Y	RELI	
S	C	Req 2 Fundamental Emergency Operations: Back-Up Power & Operations	Required	Y	RELI	
S	C	Req 3 Fundamental Emergency Operations: Thermal Safety During Emergencies	Required	Y	RELI	
S	C	Req 4 Safe Design for Extreme Weather, Wildfire & Seismic Events	Required	Y	Fortified	
S	C	Poly Credit 2 Adaptive Design for Extreme Rain, Sea Rise, Storm Surge & Extreme Weather, Events & Hazards	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 3 Advanced Emergency Operations: Back-Up Power, Operations, Thermal Safety & Operating Water	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 4 Passive Thermal Safety, Thermal Comfort & Lighting Design Strategies	TBD	Y	2030 Palette	
S	C	Poly Credit 5 Transit & Transportation System Protection & Continuous Operations	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 6 Provide Environmental Protection & Remediation for Parks & Preserves	TBD	RELI		

ESTRUCTURAS COMUNIDAD	NÚMERO	REQUISITO / DESCRIPCIÓN	REQUISITO	PUNTO	VALORABLE	REFERENCIA
<b>COMPREHENSIVE ADAPTATION + MITIGATION FOR A RESILIENT PRESENT + FUTURE</b>						
<b>CY COMMUNITY COHESION, SOCIAL &amp; ECONOMIC VITALITY</b>						
S	C	Poly Req 1 Improve Community Quality of Life	Required	Envision		
S	C	Poly Credit 1 Incorporate Important Community Flow and Aspects of Local Landscape	TBD	Envision		
S	C	Poly Credit 2 Community Connectivity: Walkability, Public Transit, Non-Motorized Transit	TBD	Y	LEED V4	
S	C	Poly Credit 3 Community Connectivity: Mixed-Use Commercial, Housing & Public / Community Space	TBD	Y	LEED V4	
S	C	Poly Credit 4 Expand Citizen Participation: Public Amenities, Councils, Organizations, Communication	TBD	RELI		
S	C	Poly Credit 5 Resilient Organizations: Cooperative & B-Corporations, Non-Profits & Social Equity Measures	TBD	RELI		
S	C	Poly Credit 6 Diversity of Local Skills, Capabilities & Long-Term Employment & Mix	TBD	Envision		
S	C	Poly Credit 7 Use Regionally Sourced & Manufactured Materials and Products	TBD	LEED   Envision		
S	C	Poly Credit 8 Stimulate Sustainable Growth and Development	TBD	Envision		
<b>PH PRODUCTIVITY, HEALTH &amp; DIVERSITY</b>						
S	C	Poly Req 1 Minimum SQ & Views to the Exterior	Required	Y	LEED   RELI	
S	C	Poly Req 2 Minimum Protection for Prime Habitat & Floodplain Functions	Required	Y	LEED   Envision	
S	C	Poly Credit 1 Human PHD: Expanded AQ, Daylight & Views, Fresh Air	TBD	Y	LEED NC V4	
S	C	Poly Credit 2 Human PHD: Active Design for Buildings, Communities and Urban Environments	TBD	Active Design		
S	C	Credit 3 Human PHD: Provide for Social Equity: Interdisciplinary / Intercultural Opportunities	TBD	RELI   Stars		
S	C	Poly Credit 4 Human & Eco PHD: Reduce Pesticides, Prevent Surface & Groundwater Contamination	TBD	Y	Envision	
S	C	Poly Credit 5 Ecological PHD: Protect Wetlands & Avoid Slopes and Adverse Geology	TBD	Y	Envision	
S	C	Poly Credit 6 Ecological PHD: Biodiversity, Habitat & Soil	TBD	LEED   Envision		
<b>EW ENERGY, WATER &amp; FOOD</b>						
S	C	Poly Req 1 Minimum Water Efficiency & Resilient Water and Landscapes	Required	Y	LEED	
S	C	Poly Req 2 Minimum Energy Efficiency & Atmospheric Impacts	Required	Y	LEED	
S	C	Poly Credit 1 Plan for Rainwater Harvesting, Resilient Landscapes & Food Production	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 2 Plan the Site and Orientation for Sun & Wind Harvesting, Natural Cooling	TBD	Y	Multiple	
S	C	Poly Credit 3 Water Use Reduction, Near Zero / High-Efficiency Water Flows and Resilient Landscapes	TBD	Y	LEED   RELI	
S	C	Poly Credit 4 Energy Optimization, Near Zero / Carbon Neutral, Net Zero, Net Positive Energy Flows	TBD	Y	Multiple	
S	C	Poly Credit 5 Edible Landscaping, Urban Agriculture & Resilient Food Production	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 6 Reduced Site Environmental Impacts: Lighting, Heat Island, Airborne Toxins	TBD	Y	LEED   Envision	
<b>MA MATERIALS &amp; ARTIFACTS</b>						
S	C	Poly Req 1 Minimum Material Effectiveness & Life Cycle Planning	Required	Multiple		
S	C	Credit 1 Safer, Non-Toxic Materials (SMART or Equivalent Certified)	TBD	Y	RELI	
S	C	Credit 2 Material & Artifact Effectiveness: Full Life Cycle Design for Durability, Adaptability, Flexibility	TBD	Y	Adapted - AutoDesk	
S	C	Credit 3 Material & Artifact Effectiveness: Design for Disassembly, Reuse, Recycling & Composting	TBD	Y	Adapted - AutoDesk	
S	C	Poly Credit 4 Material Effectiveness: Use Recycled Content Materials, Salvaged Materials & Local Materials	TBD	LEED		
S	C	Credit 5 Use Legally Logged Wood from Ecologically Managed Forests (FSC Certified)	TBD	Y	RELI   LEED	
S	C	Credit 6 Reduce Net Embodied Energy & Carbon, Water and Toxins	TBD	Y	Adapted - LEED   SMART	
S	C	Poly Credit 7 Divert Waste from Landfills, Reduce Excavated Soils Taken from Site	TBD	LEED   Envision		
<b>APPLIED CREATIVITY AND CONTEXTUAL FACTORS FOR RESILIENCY</b>						
<b>AC APPLIED CREATIVITY, INNOVATION &amp; EXPLORATION</b>						
S	C	Poly Credit 1 Applied Creativity in Resiliency & Integrative Design	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 2 Contextual Factors & Project Responsive Topics	TBD	Y	RELI	
S	C	Poly Credit 3 Exemplary Performance	TBD	Y	RELI	

Figura 4.4: Lista de criterios (*action list*) de RELi (Fuente: RELi 2017)

**Sistema de certificación referido**

S	C	Poly-Credit 2	Community Connectivity: Walkability, Public Transit, Non-Motorized Transit	LEED V4
S		Credit 2.1	Surrounding Density & Diverse Uses (Option 1, Surrounding Density)	Y LEED NC V4
S		Credit 2.2	Access to Quality Transit	Y LEED NC V4
S		Credit 2.3	Bicycle Facilities	Y LEED NC V4
S		Credit 2.4	Reduced Parking Footprint	LEED NC V4
C		Credit 2.5	Preferred Location	Y LEED NC V4
C		Credit 2.6	Access to Quality Transit	Y LEED NC V4
C		Credit 2.7	Bicycle Facilities	Y LEED NC V4
C		Credit 2.8	Walkable Streets	Y LEED ND V4
C		Credit 2.9	Compact Development	Y LEED ND V4
C		Credit 2.10	Connected and Open Community: Surrounding Connectivity (Case 1.)	Y LEED ND V4
C		Credit 2.11	Connected and Open Community: Internal Connectivity (Case 2.)	Y LEED ND V4

----- Aplicable a comunidades (C = Communities)

----- Aplicable a estructuras (S = Structures)

Tangibilidad (Y=yes)

**Figura 4.5: Características de los créditos de RELi (Fuente: Elaboración propia)**

Es posible atender que la mayoría de los aspectos que se abordan en los créditos de este sistema de certificación se enmarcan en las características de resiliencia que se identificaron inicialmente en los edificios. Por ello, la presente investigación considera los créditos de RELi como punto de partida para desarrollar estrategias de diseño de edificaciones contextualizados a la realidad chilena y a los desastres presentes en ella. Para lograr esto, primeramente, se discriminaron primeramente los criterios que según eran aplicables a estructuras (S) y aquellos que eran tangibles, descartando aquellos que son aplicables a comunidades y aquellos que no eran tangibles ya que correspondían a procesos y prácticas de diseño. A partir de esta primera selección fue posible reducir el universo de criterios 176 a 95.

#### Estructura y sistematización de criterios.

Esta etapa consiste en el procesamiento de los datos obtenidos desde la revisión literaria, la elaboración de criterios de diseños y su sistematización, obteniendo como resultado un sistema organizativo para ellos, que se denominó con el nombre “+ Resiliente + Sustentable”.

Los 95 criterios de RELi resultantes de la primera etapa de la metodología se clasifican según su correspondencia con los distintos aspectos de la resiliencia en edificaciones: resistencia y seguridad, eficiencia energética y sustentabilidad, ecología e impacto ambiental y bienestar y cohesión social. Una vez identificado el aspecto resiliente al que cada crédito corresponde, se identifican y sintetizan en un solo criterio todos aquellos que guardan analogías temáticas entre sí. De esta manera fue

posible disminuir la cantidad de criterios de 95 a 26, que son los que se denominan como “*acciones*” o “*criterios específicos*” y constituyen la base del sistema de recomendaciones.

A su vez, estos 26 criterios se agrupan según temáticas convergentes u objetivos en común, obteniendo 10 diferentes grupos que constituyen los “*criterios generales*” del sistema de recomendaciones. Esta estructura permite abordar cada uno de los criterios generales a partir de la incorporación de una acción (o criterio específico) en el diseño del edificio; a su vez el proceso de síntesis inicial garantiza que cada una de estas acciones reúna diferentes aspectos de la resiliencia, incorporándolos integralmente al diseño del edificio.

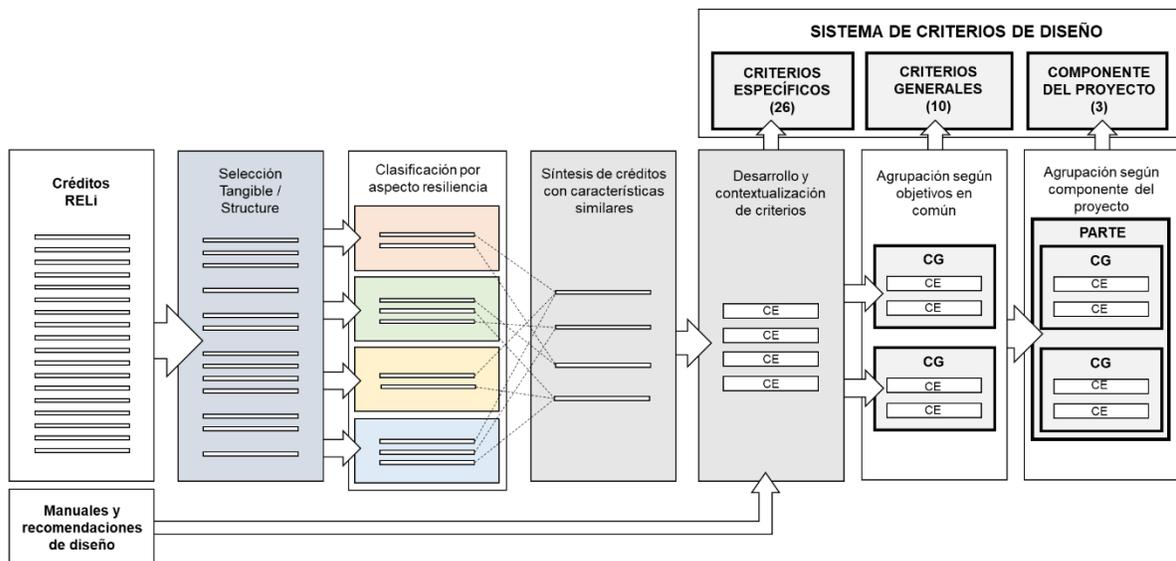
Por último, los 10 criterios generales se ordenan en torno a tres aspectos a considerar en el diseño de edificaciones: Sitio, orientado al sitio de emplazamiento considerando el medio natural y construido donde se inserta; Edificio, focalizado en el diseño arquitectónico y estructural del edificio, abordando desde la forma geométrica y sistemas constructivos hasta criterios de elección de materiales; Sistemas, relacionado a las instalaciones de sistemas eléctricos y sanitarios del edificio, su protección y mantención.

De esta manera es posible abordar el sistema de criterios de diseño desde las tres distintas escalas en que se basa su estructura, dependiendo del tamaño y escala del edificio. En ese sentido, el proceso de diseño de un espacio público, o una edificación menor como una vivienda, podrá concentrarse en incorporar las recomendaciones del aspecto de sitio o edificio y una edificación más compleja incluir los criterios de instalaciones.

#### Adaptación de los criterios de diseño al contexto chileno.

Si bien el sistema de certificación RELi sirvió para determinar los criterios de diseño en primera instancia, fue necesario ampliarlos adecuándolos a la realidad nacional. En ese sentido, a través de RELi fue posible obtener los descriptores de cada criterio y una definición general que debió profundizarse y adecuarse al contexto chileno a partir de la incorporación de métricas y parámetros desde leyes y normativas chilenas, principalmente de la O.G.U.C y de los TDRé. Además se incorporaron algunos de los parámetros contenidos en los requerimientos y créditos del sistema de certificación chileno CES, de modo de compatibilizar este sistema con el de los criterios de diseño.

Este proceso también exigió considerar los cinco desastres naturales con mayor prevalencia en Chile con los que fue desarrollada la zonificación de riesgos. Ya que en el contexto nacional las recomendaciones de diseño de edificaciones para desastres naturales, con excepción de las estructurales, son escasas, se debió recurrir a manuales de organismos internacionales especializados en la gestión de riesgos, como son la ONU, FEMA, Cruz Roja Internacional, entre otros, desde donde fue posible extraer algunos parámetros que fueron incorporados al sistema, lo que permitió especificar algunos de los criterios para cada uno de los cinco desastres más recurrentes en Chile, pudiéndose incorporar al proceso del diseño de proyecto dependiendo de la zona de riesgo en que se encuentre. En este sentido, este sistema de criterios de diseño trabaja articuladamente con la zonificación de riesgos elaborada.



**Figura 4.6: Diagrama metodología para la elaboración sistema de criterios de diseño (Fuente: Elaboración propia)**

#### 4.4 Alcances de los criterios de diseño

Se han determinado una serie de criterios de diseño de edificaciones en Chile a través de la revisión de distintas fuentes en la literatura, que satisfacen los conceptos de integración de resiliencia y sustentabilidad que se han obtenido desde el marco teórico de esta investigación. Estos criterios se han estructurado o para su aplicación y entendimiento, de modo que ha sido posible elaborar un sistema de criterios de diseño que se ha denominado con el nombre de +RESILIENTE +SUSTENTABLE.

### ¿Qué es +RESILIENTE +SUSTENTABLE?

Es una lista de criterios que integran aspectos de la resiliencia y la sustentabilidad, que pueden ser incorporados al diseño de una edificación con el fin de aumentar estas dos características en el edificio. El sistema de criterios se estructura en base a 10 criterios generales u “*objetivos*”, que representan diferentes características con las que un edificio debiese contar para ser más resiliente y más sustentable. Los criterios generales se ordenan en torno a tres de los aspectos más comunes que se abordan en el diseño de una edificación: Sitio, referido al sitio de emplazamiento; Edificio, referido al diseño arquitectónico, estructural y materialidad del proyecto; y Sistemas, referido a los sistemas de instalaciones y recursos del edificio

Estos objetivos son posibles de alcanzar mediante la incorporación o cumplimiento de ciertos criterios específicos o “*acciones*”, que representan recomendaciones de diseño de carácter concreto. Cada criterio general u *objetivo* se compone por dos o tres criterios específicos, sumando un total de 26. Estos criterios específicos o acciones han sido elaborado de integrando los cuatro diferentes aspectos de la resiliencia: Seguridad y Resistencia; Ecología y Medioambiente; Eficiencia Energética y Sustentabilidad; y Bienestar y Cohesión Social, de modo que la incorporación de un criterio específico al diseño conlleva también la incorporación de estos ámbitos en el proyecto. Algunos de los 26 criterios específicos, o acciones, están especificados para cada uno de los desastres naturales con mayor prevalencia en Chile, de este modo el sistema de criterios se articula además con la zonificación de riesgos.

Esta lista de recomendaciones se denomina *sistema* ya que sigue una estructura que obedece a una metodología de aplicación. La estructura de +RESILIENTE +SUSTENTABLE guarda un carácter escalar y flexible en vez de jerárquico y con grados de obligatoriedad.

### ¿Qué no es +RESILIENTE +SUSTENTABLE?

+RESILIENTE +SUSTENTABLE no es un sistema de certificación. Los diferentes criterios contenidos en el sistema se han planteado más bien como unidades que representan recomendaciones a considerar en el proceso de diseño y no créditos con un puntaje acumulativo. Lo anterior implica que no existe una jerarquía entre los criterios, ni tampoco se diferencian a través de una condición de obligatoriedad, por lo que cada uno de ellos es comparativamente equivalente al otro. Como se

verá más adelante, un análisis indica que la importancia que tienen los créditos está referida a las interrelaciones que existen entre ellos mismos.

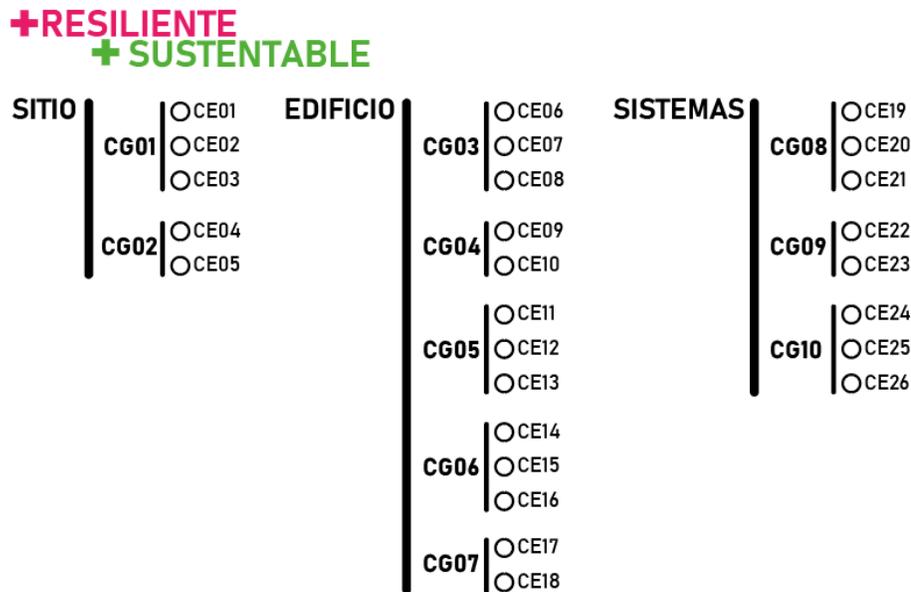


Figura 4.7: Diagrama de árbol de estructura de sistema de criterios de diseño, donde CG= Criterio General y CE= Criterio Específico (Fuente: Elaboración propia)

Otro de los alcances del sistema es que a pesar de que está adecuado al contexto geoclimático y a los desastres naturales recurrentes en Chile, no se han considerado algunas anomalías climatológicas presentes en nuestro país, como las sequías, las heladas y nevazones que, aunque son consideradas como un fenómeno hidrometeorológico, tienen una persistencia menor que las inundaciones y aluviones. Por otro lado, el sistema no contempla desastres del tipo antrópico, ni proyectos de restauración o *retrofit*.

Con respecto a la resiliencia al cambio climático, si bien no existen criterios determinados para este aspecto, deberían considerarse a través de los que están referidos a las condiciones de confort interior en los edificios y la aplicación de estándares de eficiencia energética.

Por último, si bien se reconoce la importancia de ellos, el sistema de criterios no incluye recomendaciones de prácticas y metodologías en la etapa de diseño, sin embargo, se debería considerar que se abordara de manera interdisciplinaria y contara con etapas de trabajo

participativo con las comunidades. Tampoco cuenta con recomendaciones relacionadas a las prácticas en la etapa de construcción ni abandono del edificio. Es posible que estos dos temas se aborden en investigaciones futuras.

#### ¿Cómo se debería emplear +RESILIENTE +SUSTENTABLE?

Como se mencionaba, +RESILIENTE +SUSTENTABLE se articula con la zonificación de riesgos de Chile en su metodología de aplicación, por lo que en primera instancia se debería consultar en qué zona se encontrará el edificio a diseñar. Luego se debería decidir cuáles de los tres aspectos del proyecto de edificación se considerará dependiendo de su tamaño y luego resolver cuales de los criterios generales son posibles de incorporar al edificio, dependiendo de su naturaleza y el contexto geoclimático y social en que se inserte. En cada uno de los criterios específicos que estén detallados para los diferentes desastres naturales, se deberán considerar las acciones referidas a las que se encuentren presentes en la zona de emplazamiento.

Otro modo de utilizar el sistema es para reforzar algunas características de un edificio existente o consultar métricas respecto a algunos aspectos que no se encuentran dentro de las normativas vigentes en Chile. Para ello se podría revisar la lista de criterios específicos y seleccionar aquellos que parezcan adecuados para cubrir los requerimientos existentes considerando, de igual manera, la zonificación de riesgos para aquellas especificaciones que se encuentren detalladas. De este modo, el sistema de criterios de diseño, además, podría ser utilizado para referir al equipo de diseño a las métricas utilizadas en sistemas de certificación, manuales de recomendaciones de diseño y métricas relacionadas a la gestión de riesgo y catástrofes naturales exigidas tanto en normativas nacionales como internacionales.

#### 4.4.1 Presentación de los criterios de diseño.

En los diagramas de la Fig. 4.8, 4.9 y 4.10 se presentan de manera sintetizada los criterios de diseño que componen el sistema +RESILIENTE + SUSTENTABLE. La explicación de cada uno de ellos, junto a los requerimientos y criterios específicos por tipo de desastre natural son posibles de encontrar en el ANEXO C.

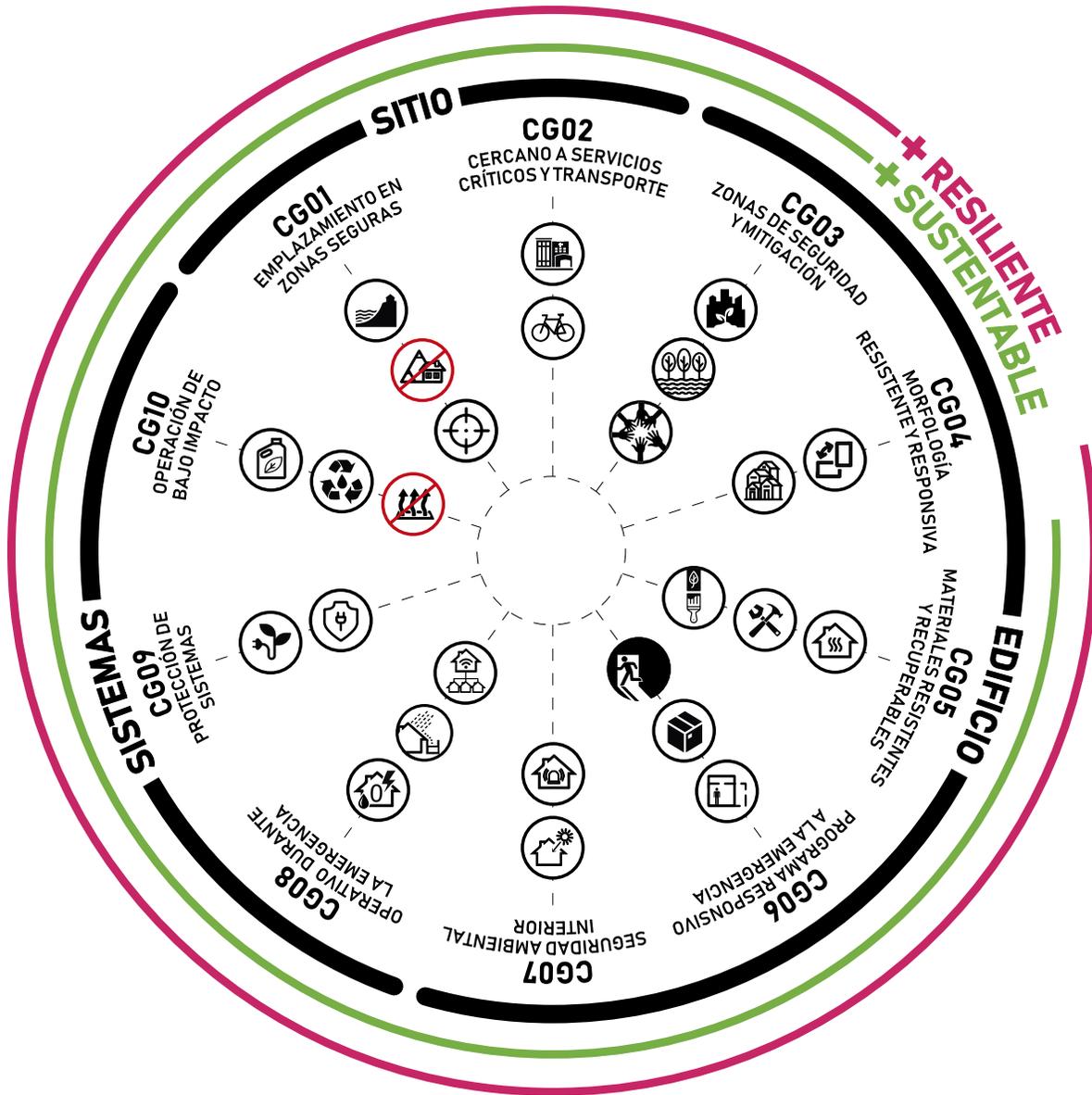


Figura 4.8: Diagrama de estructura de criterios de diseño +Resiliente+Sustentable (Fuente: Elaboración propia)

- CG 01**
-  **CE01 ZONA DE SEGURIDAD:** El edificio se ubica en zonas seguras según los instrumentos de planificación, mapas de zonas de riesgo y manuales de la normativa chilena.
  -  **CE02 PROTECCIÓN ZONAS ECOLÓGICAS:** El proyecto no se emplaza en zonas protegidas, parques nacionales ni reservas ecológicas.
  -  **CE03 IDENTIFICAR OTROS RIESGOS:** Proponer estrategias de diseño para abordar otros eventos críticos naturales, como sequías y nevazones, y de origen antrópico.
- CG 02**
-  **CE04 PREFERIR LOTES EN CENTROS URBANOS:** El edificio se encuentra a 400 metros de servicios críticos. Preferir ubicación en entrebloques o rehabilitar pre-existencias
  -  **CE05 CONEXIÓN CON CICLOVIAS Y TRANSPORTE PÚBLICO:** Conectarse a ciclovías y encontrarse cercano a paraderos de transporte público.
- CG 03**
-  **CE06 PRIVILEGIAR ÁREAS VERDES:** Superficie de áreas verdes es igual o mayor al 30% de la superficie construida. Reducir estacionamientos en al menos un 40% exigido en OGUC.
  -  **CE07 PAISAJISMO RESILIENTE:** Paisajismo contribuye a la ef. energética y seguridad del proyecto utilizando vegetación y suelos como medida de protección y mitigación.
  -  **CE 08 USO MIXTO COMUNITARIO:** Áreas perimetrales orientadas al uso comunitario y fomentar la actividad física. Recintos de la escuela pueden ser ocupada por la comunidad.
- CG 04**
-  **CE09 PREPARADO DESDE LA FORMA:** Composición formal y orientación del edificio integran criterios de eficiencia energética y seguridad y resistencia.
  -  **CE10 EN SINTONÍA CON EL ENTORNO:** La forma del proyecto se desarrolla protegiendo de vistas significativas del paisaje o contexto urbano y de la identidad de la comunidad.
- CG 05**
-  **CE11 SEGURIDAD ESTRUCTURAL Y TÉRMICA:** La envolvente construida para ser resistente a desastres naturales. Deberá tener buen desempeño térmico interior pasivo.
  -  **CE12 REPARABLE Y ADAPTABLE:** Materiales y sistemas constructivos reciclables, reutilizables, desmontables y reparables, para adaptarse a nuevos requerimientos.
  -  **CE13 CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES DE BAJO IMPACTO:** Utilizar materiales, que sean social, ecológica y ambientalmente responsables, con algún tipo de certificación reconocida

Figura 4.9: Resumen de criterios específicos desde CE01 hasta CE13 (Fuente: Elaboración propia)

- CG 06**
-  **CE14 ESPACIOS ADAPTABLES Y RESPONSIVOS:** Recintos son adaptables a usos requeridos durante emergencia. Recintos están diseñados y habilitados para ser utilizados por la comunidad.
  -  **CE15 ALMACENAMIENTO DE PROVISIONES:** Contar con recintos para almacenaje de provisiones de emergencia y combustibles para 10 días, para el doble de los usuarios.
  -  **CE16 ZONAS DE SEGURIDAD Y VIAS DE EVACUACIÓN:** Todos los espacios de circulaciones, pasillos, escaleras, etc., se dimensionan para ser vías de evacuación. Considerar helipuertos y zonas de seguridad.
- CG 07**
-  **CE17 INTEGRAR ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO:** Se incorporan estrategias de diseño pasivo para desempeño en calidad ambiental interior en r funcionamiento normal y emergencia.
  -  **CE18 ALARMAS Y SEÑALIZACIÓN:** Información acerca de evacuación, zonas de seguridad, refugios, almacenes, servicios de salud, etc. Sistemas de alarmas de robo y fuego.
- CG 08**
-  **CE19 DEMANDA ENERGÍA Y AGUA CERO O POSITIVO:** La demanda del edificio en términos energéticos y de agua es cero, posible de utilizar off grid durante emergencia.
  -  **CE20 COSECHA Y GESTIÓN DE AGUA:** Reducir consumo de agua interior y exterior a través de sistemas de manejo y almacenamiento de aguas lluvias y tratamiento.
  -  **CE21 COMPARTIR RECURSOS CON LA COMUNIDAD:** Capacidad de proporcionar excedentes de energía eléctrica y agua a la comunidad en caso de requerirlos durante la emergencia.
- CG 09**
-  **CE22 PROTECCION SISTEMAS CRÍTICOS:** Considerar ubicar los sistemas e instalaciones críticas en sitios según el criterio 1. Proteger las cañerías y sistemas según manuales.
  -  **CE23 USO DE ERNC:** Fuentes de energía tradicionales siempre y cuando el clima no permita un edificio 100% pasivo, en funcionamiento normal o de emergencia.
- CG 10**
-  **CE 24 SIN SUSTANCIAS CONTAMINANTES:** Energéticos sin o de bajo impacto ambiental. Sin uso de pesticidas o herbicidas.
  -  **CE25 GESTION DE RESIDUOS:** Instalaciones para tratamiento y reutilización de aguas. Espacios para reciclaje. Incentivar compostaje en cualquiera de sus etapas.
  -  **CE26 REDUCCION EXTERNALIDADES INTANGIBLES:** Se reduce el efecto isla de calor y el impacto por contaminación lumínica.

Figura 4.10: Resumen de criterios específicos desde CE14 hasta CE26 (Fuente: Elaboración propia)

4.4.2 Análisis de correlación entre criterios específicos.

Durante el proceso de elaboración, fue posible determinar que existía una serie de correlaciones entre los criterios de diseño, determinadas a partir de la existencia de aspectos en común o de posibles complementariedades entre ellos. El diagrama de la figura 4.11 grafica las correlaciones entre los diferentes criterios específicos y en qué aspectos se hacen comunes o complementarios, pudiendo determinar que aquel que tienen más asociaciones es el criterio específico “CE19: Demanda de energía y agua cero o positivo”, seguido por “CE07: Paisajismo Resiliente”, “CE16: Zonas de Seguridad y Evacuación” y “CE21; Compartir recursos a la comunidad”.

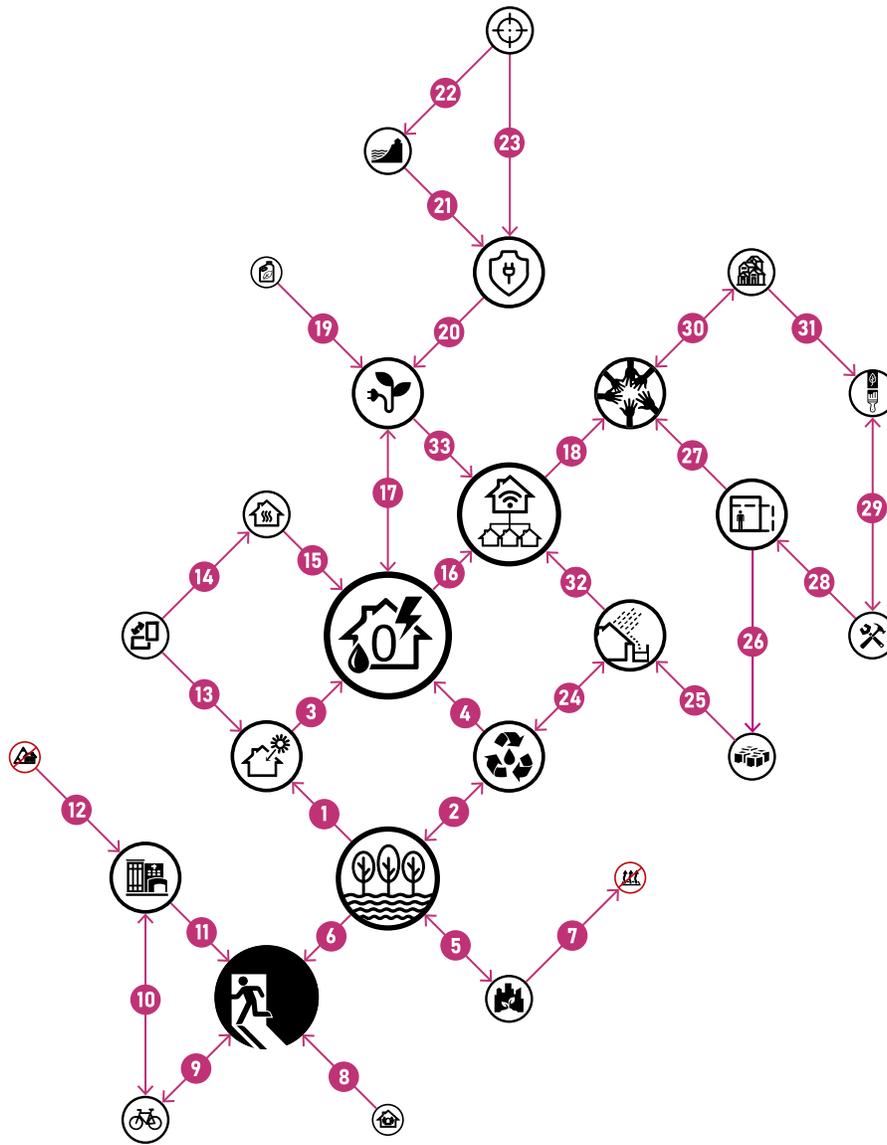


Figura 4.11: Diagrama de correlaciones entre Criterios Específicos (Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar que se han establecido correlaciones unidireccionales donde en que un criterio complementa a otro, y correlaciones bidireccionales donde ambos criterios se complementan entre sí. Los números en las flechas en el diagrama de la Fig. 4.11 indican los aspectos donde se relacionan, que son los siguientes:

- 1 El paisajismo resiliente puede incorporar vegetación que contribuya en la incorporación de estrategias pasivas, como protección solar o barrera de vientos.
- 2 El paisajismo resiliente puede contribuir a la gestión de aguas con la instalación de sistemas de regadío eficiente y vegetación que no necesite demasiado de este recurso; por otro lado, el agua residual se puede tratar para regar las áreas de paisajismo.
- 3 Considerar e incorporar estrategias pasivas contribuirán a alcanzar los estándares cero energía o agua.
- 4 El manejo y recolección de agua contribuirán a alcanzar los estándares cero energía o agua.
- 5 Para la incorporación de paisajismo resiliente se necesitará considerar más áreas verdes en el sitio de emplazamiento; por su parte las áreas verdes deberán ser utilizadas como zonas de defensa y mitigación.
- 6 El paisajismo resiliente considera zonas exclusivas de seguridad para los usuarios, que finalmente es donde llegan las vías de evacuación.
- 7 La incorporación de más áreas verdes disminuirá el efecto isla de calor que pueda provocar el edificio y podrá ser utilizado como zona de mitigación para eventuales ruidos molestos que se puedan producir del o hacia el edificio.
- 8 Las vías de evacuación y los espacios de seguridad están correctamente señalados y cuentan con información respectiva a la emergencia.
- 9 Que las vías de evacuación estén conectadas con los accesos vehiculares del edificio y especialmente a los paraderos de locomoción pública y ciclovías, facilitan el acceso o evacuación del edificio.

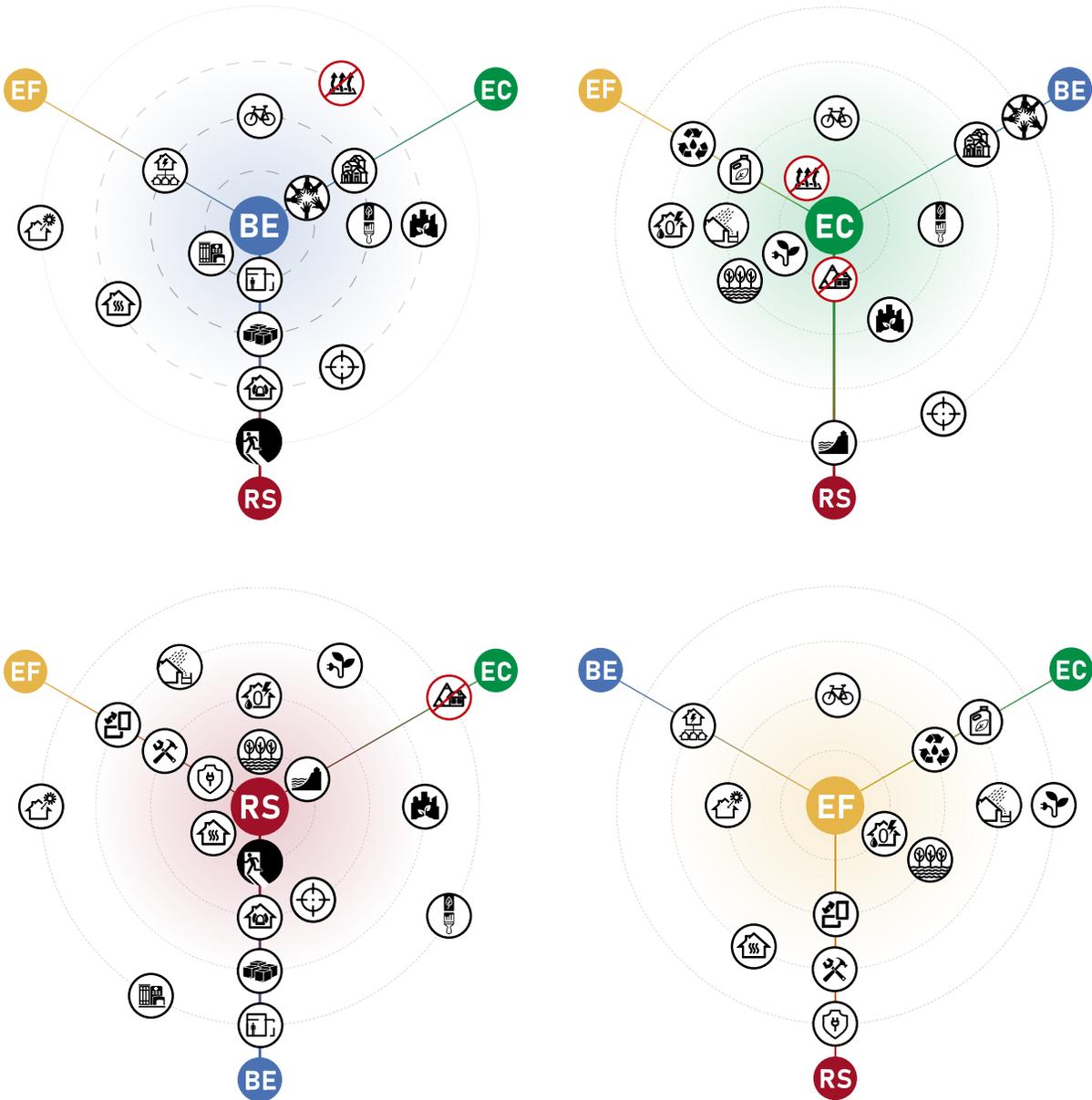
- 10 Preferir lotes urbanos posibilita la rápida conexión de transportes con edificios críticos. A la vez considerar ciclovías y paradas de transporte público aumenta la conectividad urbana.
- 11 Que el edificio este ubicado en zonas urbanas, permite un rápido traslado y/o evacuación de usuarios a edificios y servicios críticos.
- 12 Ubicar a los edificios en los centros urbanos permite alejarse de zonas mayormente expuestas a desastres naturales, de parques o reservas naturales.
- 13 A través de considerar factores como emplazamiento, orientación y factor forma en un contexto geoclimático particular se podrá contribuir a la incorporación de estrategias pasivas y bioclimáticas de diseño.
- 14 A través de considerar factores de forma, sobre todo los relacionados con geometría y volumetría, se contribuirá también a mejorar la mitigación del impacto y a la resistencia estructural del edificio.
- 15 La seguridad térmica del edificio lograda de forma pasiva contribuirá al ahorro energético y alcanzar el estándar de edificio cero energía y agua.
- 16 Alcanzar el estándar plus energía podrá permitir compartir los excedentes de energía con la comunidad en caso de emergencia o en caso de corte del suministro.
- 17 Incorporar ERNC a la matriz energética del edificio contribuirá a la obtención del estándar cero energía o plus energía en términos prácticos. Por otro lado, si el edificio quisiese acreditarse como “ZEB”, todas las certificaciones exigen lograrlo mediante la incorporación de ERNC al edificio.
- 18 Compartir los recursos excedentes del edificio contribuye en gran medida a la inclusión de la comunidad con el proyecto, sobre todo durante contextos de emergencia.
- 19 Contar con combustibles de bajo impacto ambiental como respaldo a la matriz energética de ERNC del edificio puede mantener el edificio en caso de que, por el contexto de emergencia, esta última pueda fallar.
- 20 Proteger las instalaciones eléctricas y los equipos productores de energía permite mitigar los impactos de un evento crítico, prolongando el tiempo de funcionamiento el edificio y sus sistemas.

- 21 Que el edificio, o sus equipamientos críticos, se emplace en zonas seguras o con menor exposición a los desastres naturales permitirá una mayor protección de las instalaciones críticas, aumentando el aumento de funcionamiento del edificio.
- 22 Identificar otros riesgos en el territorio, en el contexto de los desastres naturales y antrópicos, permitirá tomar decisiones para ubicar el edificio en zonas menos expuestas a ellos.
- 23 A la vez, identificar otros riesgos, permite tomar decisiones acerca de otras medidas para proteger los sistemas críticos del edificio.
- 24 La recolección de aguas lluvias es una parte fundamental de los procesos de gestión del agua. A su vez, los sistemas de tratamiento podrán tratar esta agua con el fin de ser apta para consumo humano.
- 25 Contar con espacios de almacenamiento permitirá almacenar cantidades de agua suficientes para mantener operativo el edificio durante emergencias o cortes de suministro de agua.
- 26 Incorporando espacios adaptables, algunos lugares se podrán convertir en bodegas o espacios para acopiar donaciones o la ayuda en especies que normalmente llega en casos de emergencia.
- 27 A su vez, incorporar espacios que se puedan convertir en lugares de reunión o encuentro de la comunidad, contribuye en enorme medida a su integración y a la creación de redes comunitarias que incrementen su capital social.
- 28 Incorporar tecnologías constructivas transformables, adaptables o modulares facilita la flexibilidad de los recintos para poder ser utilizados en diferentes situaciones.
- 29 Si estas tecnologías constructivas están desarrolladas con materiales locales, que puedan ser reutilizados luego del fin del ciclo de vida, se reduce el impacto ambiental del proyecto. Además, materiales conseguidos localmente contribuye en gran medida a la disminución en el tiempo de reparación del edificio.
- 30 Que el proyecto esté en sintonía con el contexto local, territorial y comunitario, en términos estéticos y prácticos, contribuye a la integración de la comunidad en el proyecto, lo que permite que la comunidad se apropie de los espacios y cuiden el edificio.

- 31 Es posible recurrir a la utilización de materiales locales para que el proyecto se encuentre contextualizado a las preexistencias ambientales del territorio y la comunidad pueda identificarlo como una parte integrada al sistema construido ya existente.
- 32 La gestión y recolección de aguas lluvias permitirá abastecer hídricamente a la comunidad con los excedentes en caso de emergencia a través de fuentes confiables de bajo impacto ambiental.
- 33 A su vez, que el edificio posea una matriz eléctrica en base a ERNC y combustibles de bajo impacto permitirá abastecer energéticamente a la comunidad con los excedentes en caso de emergencia a través de fuentes limpias.

La figura 4.11 se ha diagramado de tal manera que sea posible trazar caminos para determinar cómo aún los criterios en un margen se relacionan con los del otro entre ellos de manera indirecta. Es posible observar, igualmente, que el criterio con mayor número de asociaciones corresponde al de “demanda de energía y agua cero o plus”, lo que indica que de alguna manera todos los otros criterios contribuyen a su cumplimiento. Este criterio, que integra aspectos de eficiencia energética, ecología y seguridad, parece ser central en la integración de resiliencia y sustentabilidad, y se constituye como el centro gravitante del sistema de criterios de diseño. Los otros tres criterios con mayor número de asociaciones son “Paisajismo resiliente”, que integra los aspectos de ecología, seguridad y bienestar; “Zonas de seguridad y vías de evacuación” que integra los aspectos de seguridad y bienestar y “Compartir recursos con la comunidad” que integra bienestar y eficiencia energética.

La figura 4.12 muestran como los diferentes criterios específicos abordan e incorporar integradamente los cuatro aspectos de la resiliencia, pudiendo determinar que, en conjunto, los cuatro criterios con mayor número de asociaciones tienen una mayor tendencia hacia el aspecto de la resiliencia de seguridad y resistencia, seguido por el de bienestar y comunidad. En lo conceptual, esto indica que estos son los aspectos hacia donde se orienta el sistema de criterios de diseño de edificaciones, en definitiva, diseñar un edificio que resista el impacto del evento crítico de manera que ayude a la comunidad en la etapa posterior, lo que se ajusta bastante a la definición que se obtuvo de la revisión de literatura y el marco teórico. En lo práctico, el sistema se orientaría a lograr lo anterior mediante alcanzar el estándar cero/plus energía y agua, que permite al edificio mantenerse operativo en términos energéticos e hídricos, y compartir estos recursos.



**Figura 4.12: Diagramas de criterios específicos respecto a los aspectos de la resiliencia. Arriba: Izq: Bienestar y comunidad como centro, Der: Ecología como centro / Abajo: Izq, Resistencia y seguridad como centro, Der: Eficiencia Energética como centro.**

Por otro lado, en la figura 4.13 es posible identificar a qué etapa de la resiliencia contribuye de mejor manera cada uno de los criterios específicos y las asociaciones existentes entre estos y los que se encuentran en otras etapas. Es posible determinar que la mayor cantidad de criterios específicos se concentran en la etapa de preparación, lo que indica que el sistema de criterios aborda la resiliencia mayormente a través de la incorporación de estrategias que preparen a la edificación para recibir



proceso de diseño del edificio se están considerando y gestionando los riesgos a los que se expone el proyecto producto del contexto en el que se encuentra.

A través de los tres diagramas anteriores fue posible analizar las interrelaciones existentes entre los diferentes criterios específicos, utilizando como parámetro de análisis los cuatro aspectos y las tres etapas de los sistemas resilientes, con el fin de determinar si se satisfacía la definición del concepto de resiliencia que se obtuvo a partir de la revisión literaria. En relación con ello, es posible determinar que el sistema de criterios busca **diseñar un edificio preparado para resistir el impacto, de modo que pueda contribuir a la recuperación de la comunidad que habita el territorio donde se emplaza**. Para esto es necesario mantener la operatividad del edificio en el contexto de emergencia, lo que dependerá en gran medida de la planificación y la gestión de los riesgos a los que se expone producto del medio natural y social en el que se inserta; las características físicas con las que cuente el edificio, que permitan resistir el impacto de un evento crítico; y las que permitan contribuir a la regeneración tanto de sí mismo como de la comunidad que lo rodea.

Mediante este análisis fue posible determinar, además, que dentro de los criterios de planificación uno de los más importantes de incorporar al edificio es el de la **independencia energética e hídrica**, a través de la consecución del estándar de cero/plus energía y cero/plus agua. Este criterio parece ser uno de los centros gravitantes del sistema por dos motivos: Aborda las tres etapas del ciclo de la resiliencia: durante el régimen normal de funcionamiento le permite al edificio ser eficiente energéticamente y tener altas prestaciones en términos de calidad del ambiente interior; durante la etapa de absorción le permite al edificio funcionar sin suministro a la red eléctrica a través del uso de energías renovables no convencionales; durante la etapa de recuperación podría compartir los excedentes energéticos e hídricos a parte de la comunidad.

Por otro lado, el criterio incorpora por igual aspectos de seguridad, eficiencia energética y ecología lo que implica que la consecución de la independencia energética e hídrica implica inevitablemente la incorporación de criterios de sustentabilidad al edificio, lugar donde se provoca la integración entre este concepto y el de resiliencia.

#### 4.5 Aplicación de criterios a prototipos de edificios por zona de riesgo.

Con el fin de complementar el sistema de criterios con una unidad visual donde sea posible visualizar su aplicación en un volumen geométrico de edificio genérico, es que se han elaborado prototipos para cada una de las zonas presentes en la zonificación de riesgos. Esta acción busca, por un lado, determinar principios arquitectónicos en elementos que puedan modificarse según el área en que se inserte el prototipo. A través de esta acción, se busca visualizar en primera instancia la forma de un edificio resiliente en cada zona. Se busca, además, sintetizar los criterios con el fin de obtener los menos prototipos posibles.

La elaboración de los prototipos se lleva a cabo determinando ciertos elementos arquitectónicos o características formales a partir de los que se elabora el prototipo, siguiendo la siguiente metodología: (1) Ya que la elaboración de este prototipo tiene como objetivo ser una unidad visual, se desea obtener un volumen que tiene como fin mostrar la forma del edificio, para lo que se han considerado aquellos aspectos de los criterios específicos que pueden determinar la volumetría y aspectos exteriores, los que son:



**CE06 PRIVILEGIAR ÁREAS VERDES**, considerando la utilización de techos verdes y áreas verdes perimetrales en el prototipo.



**CE07 PAISAJISMO RESILIENTE**, incorporando los elementos vegetales que constituyen protección y se encuentran en los bordes inmediatos del prototipo. Se considera una zona de seguridad de radio = 10 m sin vegetación; árboles y arbustos se consideran desde fuera de ese radio.



**CE08 USO MIXTO COMUNITARIO**, incorporando el uso de espacios comunitarios en los bordes inmediatos del proyecto, se considerarán espacios de juegos y huertos urbanos.



**CE09 PREPARADO DESDE LA FORMA**, considerando el uso de (1) formas geométricas simples para la volumetría del proyecto, en este caso un hexaedro; (2) elevación del nivel suelo para el caso de tsunamis e inundaciones y eventos volcánicos; (3) tratamiento de fachadas con vías de evacuación a través de una escalera (4) orientación perpendicular respecto al norte.



**CE11 SEGURIDAD ESTRUCTURAL Y TÉRMICA**, considerando la visualidad de la envolvente por la elección de la materialidad según desastre natural y del sistema constructivo antisísmico.



**CE12 REPARABLE Y ADAPTABLE**, considerando la visualidad que podría tener la utilización de un sistema modular, desensamblable y recuperable.



**CE13 CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES DE BAJO IMPACTO**, considerando la visualidad que podría tener el uso de materiales regionales.



**CE14 ESPACIOS ADAPTABLES Y RESPONSIVOS**, considerando un espacio exterior que puedan ser utilizados como zonas de acopio e integrando los diferentes artefactos exteriores correspondientes a comunicaciones, en este caso una antena.



**CE16 ZONAS DE SEGURIDAD Y VÍAS DE EVACUACIÓN**, identificando e incorporando las zonas exteriores inmediatas al prototipo que puedan ser utilizadas como zonas seguras y todos aquellos elementos visibles que constituyan vías de evacuación como escaleras.



**CE17 INTEGRAR ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO**, integrando todos aquellos elementos que respondan estrategias de diseño pasivo y bioclimático, en términos amplios, según las tres macrozonas del país, norte centro y sur. Se consideran protecciones solares.



**CE20 COSECHA Y GESTIÓN DE AGUAS**, considerando todos aquellos elementos exteriores relacionados a la cosecha, gestión y almacenamiento de agua, principalmente estanques de agua y techos azules.



**CE22 USO DE ERNC**, considerando todos aquellos recintos que alberguen instalaciones críticas en el exterior del edificio si se necesitan.



**CE23 USO DE ERNC**, considerando todos aquellos elementos exteriores relacionados a la producción de energías renovables no convencionales, principalmente paneles fotovoltaicos.



**CE24 SIN COMBUSTIBLES NI SUSTANCIAS CONTAMINANTES**, considerando todos aquellos recintos exteriores que se utilicen para el almacenamiento de energéticos de emergencia como diésel o biomasa, si se necesitan.

Todos los anteriores criterios considerados, constituyen los componentes que se han determinado como necesarios para hacer posible la elaboración de un prototipo sin perjuicio que en algunos de ellos estén presentes y en otros no lo estén.

(2) A partir de estos criterios, se han identificado aquellas estrategias que por sí mismas se puedan utilizar para hacer frente a diferentes eventos críticos a la vez (por ejemplo, para inundación por aluvión y tsunamis, en general, se utilizan las mismas estrategias). Estas estrategias se sintetizan en elementos arquitectónicos o características formales o geométricas a considerar en la elaboración de los prototipos.

(3) Se determina que estos elementos o características se pueden modificar para que el prototipo también se pueda emplazar en otras zonas de riesgo. Con lo anterior se obtiene un prototipo de edificio genérico, compuesto por una serie de elementos arquitectónicos que son posibles de modificar para adaptarse a la zona donde se emplace y a los desastres naturales presentes en ella. A estos elementos arquitectónicos o características volumétricas se le denominó como “principios formales de resiliencia”. El resultado esperado es que un mismo prototipo sea satisfactorio para distintas zonas, por lo tanto, la cantidad de prototipos no será igual a la cantidad de zonas presente en la zonificación de riesgos.

#### 4.5.1 Supuestos utilizados en la elaboración del prototipo.

Para la elaboración de los prototipos se han considerado los siguientes supuestos:

1. El prototipo se elabora en base a dos hexaedros con superficie de base máxima 25 m<sup>2</sup> y una altura de 6 m, que representa el interior habitable de un edificio de dos niveles.
2. El edificio se encuentra orientado perpendicular respecto al norte.
3. La estructura con la que se elabora el prototipo cumple con la normativa de diseño sísmico de edificio para la zona sísmica que le corresponde.
4. El sistema constructivo es modular en base a paneles prefabricados de distintos materiales, el que es posible separar y reutilizar en la etapa de abandono del edificio.
5. La envolvente del edificio es lo suficientemente hermética y cuenta con la suficiente aislación para brindar altas prestaciones técnicas y de confort interior.
6. Los materiales utilizados son obtenidos localmente o a un radio de 600 km según el CE13.

7. El prototipo cumple con el estándar de cero energía y cero agua, y produce excedentes que pueden ser guardados en baterías o pueden ser compartidos con la comunidad
8. La vegetación utilizada en áreas verdes y paisajismo resiliente es vegetación nativa y/o local.
9. El programa del edificio es educacional y se encuentra en contexto rural.
10. Las tecnologías integradas al prototipo se encuentran disponibles en Chile.
11. No se consideran factores económicos para la elaboración del prototipo.

#### 4.5.2 Descripción del prototipo genérico

Considerando los supuestos anteriores e incorporando los criterios que se indicaron, se elabora un prototipo genérico podrá adaptarse al contexto de cualquiera de las zonas de riesgo y sus desastres naturales, a partir de la variación de los atributos de los elementos que lo componen.

En principio, este prototipo genérico de escuela está elaborado para mantener la realización de clases de igual manera durante el régimen normal de funcionamiento y el régimen de emergencia. Para ello el prototipo se ha desarrollado en base a dos volúmenes conectados por un puente. Es posible observar en la Fig. 5.31, que dentro del volumen “A”, el más pequeño, se encuentran los espacios destinados a aulas y salas de clases; en el volumen “B”, el más grande, se encuentran los recintos destinados a oficinas administrativas y servicios, tales como biblioteca, comedor, cocina y primeros auxilios. Esta distribución permite que, dado un evento crítico, ambos bloques puedan funcionar de manera independiente, de modo que el Bloque B se utilice como Centro Comunitario de Emergencias, donde los espacios existentes se transformen en albergues y servicios a la comunidad, y el Bloque A tenga la capacidad de mantener su función como escuela. Además, existe un tercer volumen “C” que se encuentra separado a 10 metros de la escuela y que podrá albergar instalaciones críticas como sistemas de generación de energía, acopio de combustibles y baterías del sistema fotovoltaico.

El prototipo de escuela se ha elaborado incorporando los elementos identificados en la Fig. 4.14, cuyos atributos son los que podrán ser transformados con el fin de adaptar el prototipo al contexto de una de las macrozonas identificadas.



#### 4.5.3 Regímenes de funcionamiento de edificio educacional

En relación a la distribución del prototipo y a los regímenes de funcionamiento, se proponen tres perfiles de operación: el primero, en el marco del régimen de funcionamiento normal, donde los volúmenes A y B sirven a actividades escolares; el segundo, en el marco del régimen de funcionamiento de emergencia, donde A sirve a actividades escolares y B se transforma en un Centro Comunitario de Emergencia; el tercero, también en el marco de la emergencia pero una de mayor envergadura, cuando no sea posible la asistencia a clases y/o se necesite el doble de albergados, el volumen A y B sirven de Centro Comunitario de Emergencia. De esta manera el edificio es adaptable, no sólo a la existencia de eventos críticos, sino que también a la envergadura de estos, medido a partir de la cantidad de albergados.

Como Centro Comunitario de Emergencia (CCE), la escuela debería tener una independencia energética e hídrica de, al menos, 10 días (FEMA, 2018), sin embargo, se ha considerado utilizar un factor de seguridad “x3”, debido a que en Chile los tiempos de recuperación se incrementan en muchos casos debido a la distancia con la capital. Por ello los equipamientos tales como baterías del sistema fotovoltaico, los generadores y las reservas de combustible; las reservas de agua y alimentación deberían estar dimensionados para 30 días.

Para la elaboración de este prototipo no se ha profundizado respecto a las capacidades ni a la distribución interior de la escuela, más allá de definir un volumen para aulas y un volumen para servicios. Sin embargo, el prototipo genérico tiene la flexibilidad de adaptarse a diferentes requerimientos programáticos. Es por esto por lo que cada uno de los elementos enumerados en la Fig. 4.14, constituyen los “principios formales de resiliencia” que se han utilizado para la elaboración del prototipo genérico, cuyos atributos son susceptibles de transformarse para poder adaptarse a distintos contextos, tanto geográficos, climáticos o de requerimiento programático.

#### 4.5.4 Macrozonificación para prototipos.

Para determinar qué tipo de variaciones sufren los atributos de los “principios formales de resiliencia” fue necesario determinar qué estrategia se utiliza para cada desastre natural. Fue posible advertir que, para efectos de la elaboración de este prototipo, es posible utilizar una misma estrategia para diferentes desastres y que, de estas estrategias, existían dos que significaban una variación formal tal en las características del prototipo, que obligaban a la elaboración de dos diferentes. La primera de ellas corresponde al **CE03 PREPARADO DESDE LA FORMA**, donde la

estrategia de elevar el edificio desde el suelo se incorpora en el contexto de riesgo tanto de tsunamis, como de eventos hidrometeorológicos (inundaciones y aluviones) y eventos volcánicos (flujos piroclásticos), no siendo necesaria en áreas donde este riesgo no existe. La segunda estrategia está contenida en el **CE06 PRIVILEGIAR AREAS VERDES**, **CE07 PAISAJISMO RESILIENTE**, y guarda relación con los distanciamientos entre el edificio y los elementos vegetales, y entre el edificio y otras estructuras que podrían suponer un riesgo en contexto de riesgo de incendio forestal, las que no son necesarias en áreas donde este riesgo es bajo.

Considerando lo anterior, y los desastres naturales presentes en cada zona, fue posible agruparlas en seis “macrozonas” en las que es posible la utilización de un mismo prototipo. Como es posible de observar en la Fig. 4.15:

- La **MACROZONA 1**, queda compuesta por la zona de riesgo **1ZS**, donde es posible ubicar el prototipo genérico, ya que solo se encuentra expuestas a terremotos, que constituye el desastre base.
- Es posible agrupar en la **MACROZONA 2** la zonas de riesgo **2ZSV**, **4ZSH** y **6ZSVH**, debido a su exposición a riesgos de eventos hidrometeorológicos y volcánicos donde, como se explicaba, se puede utilizar la misma estrategia, y se diferencia de las otras porque el riesgo de incendio es bajo respecto a las demás áreas.
- En la **MACROZONA 3** se agrupan las zonas **3ZST** y **5ZSTH**, ya que ambas zonas están expuestas a eventos hidrometeorológicos y tsunamis y no a incendios forestales.
- La **MACROZONA 4** se compone de las zonas de riesgo **7SIH** y **9ZSIVH**, ya que están expuestas a eventos hidrometeorológicos y tsunamis, donde se ocupa la misma estrategia, y también a incendios forestales, donde se ocupa una estrategia diferente.
- La **MACROZONA 5** se compone de las zonas de riesgo **8ZSTIH**, **10ZSTIV** y la **11ZSIT**, ya que están expuestas a tsunamis, eventos hidrometeorológicos y tsunamis, donde se ocupa la misma estrategia, y también a incendios forestales, donde se ocupa una estrategia diferente.
- La **MACROZONA 6** está conformada solo por la zona **9ZSI** la que, a diferencia de la **MACROZONA 1**, está expuesta a incendios forestales, donde se ocupa una estrategia diferente.



Figura 4.15: Macro zonificación de riesgos para elaboración de prototipos (Fuente: elaboración propia)

En general los prototipos responden a unidades gráficas donde es posible visualizar grandes rasgos formales de los edificios, por lo que, con respecto a la integración de estrategias pasivas y bioclimáticas en el prototipo de acuerdo con el **CE07 INTEGRAR ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO**, esta macro zonificación podría ser complementada con la zonificación climática contenida en los TDRe, de esta manera, las características y materialidades en distintas ubicaciones de las macrozonas podrían variar considerablemente

#### 4.5.5 Prototipos por macrozona

A partir de variaciones en los atributos de los elementos con los que fue elaborado el prototipo genérico, se logra desarrollar prototipos para cada una de las 6 macrozonas identificadas. Además, se elabora en prototipo diferente para las Macrozonas (MZ) 1 y 3 ubicadas al norte y al sur, obteniendo un total de 8 prototipos distintos, los que se muestran en la Fig. 4.16.

En general, los elementos y atributos que repercuten de mayor medida en la elaboración de los prototipos fueron aquellos relacionados con la altura del edificio respecto al nivel de suelo natural. En el caso de las MZ costeras 3, 3-sur y 5, el edificio se encuentra dos metros sobre el nivel del suelo debido a su exposición a tsunamis, diferenciándose de los prototipos correspondientes a las MZ 2 y 4 que se encuentran a 1,2 metros del terreno natural del suelo, para resistir inundaciones, aluviones o escurrimiento de flujos piroclásticos. Por otro lado, las MZ 1, 6 y 1-sur se encuentran a una altura de 0,5 m respecto al terreno natural, ya que en estas áreas los riesgos anteriores son menores. En los diferentes prototipos, esta altura sobre el suelo se logra mediante la modificación de la longitud de los pilares exteriores, lo que obliga a elaborar los recorridos perimetrales de una manera diferente y, además, a incorporar escaleras y otros elementos que dan accesibilidad al edificio desde el terreno natural. Otro de los atributos que determinó la forma final de los prototipos fue el distanciamiento del bloque A-B respecto al bloque C y respecto de las zonas con vegetación. En el caso de las zonas donde no existe riesgo de incendio forestal, que en general son las que se ubican a los extremos del país, MZ 1, 1-sur, 3 y 3-sur, las distancias de las circulaciones perimetrales y el distanciamiento entre A-B y C se acotan a los anchos mínimos de vías de evacuación (1,5 metros), por lo que los prototipos parecen ser más compactos en su forma. Diferente es lo que sucede con los prototipos que pertenecen a zonas expuestas a incendio forestales, donde se utiliza un perímetro de 3 metros sin elementos vegetales y un distanciamiento de A-B con respecto a C de diez metros, lo que provoca que los prototipos pertenecientes a las MZ centrales, 4, 5 y 6 se perciban con una morfología más disgregada, pudiendo reconocer fácilmente los tres volúmenes que los componen.

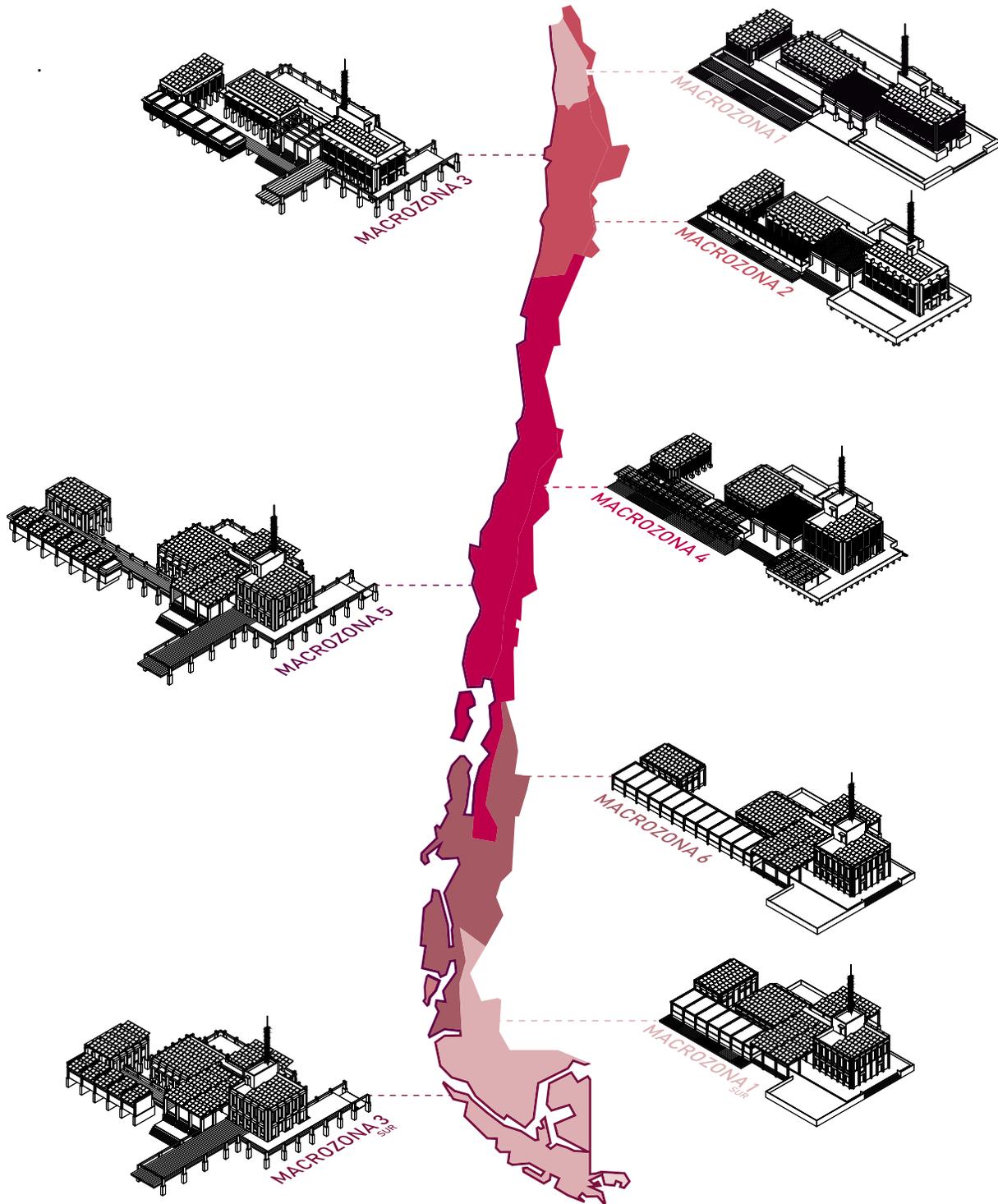


Figura 4.16: Prototipo de edificio educacional por cada macrozona (Fuente: elaboración propia)

Otros elementos que posibilitan la diferenciación de los prototipos son aquellos relacionados con la incorporación de estrategias de diseño pasivo y eficiencia energética. En este sentido, primeramente, se utilizó un factor forma diferente en los bloques de las MZ del norte del país respecto a las del sur y centro-sur, utilizando una relación de aspecto cercana a 1:2 en las MZ 1,2 y 3, y una relación de aspecto de 1:1 en las zonas restantes, incluidos 1-sur y 3-sur. Respecto a los dispositivos de control solar y repisas solares, que son además dispositivos de seguridad en vanos, se diferenciaron dependiendo de la localización geográfica, de modo que los prototipos correspondientes en las MZ australes cuentan con una menor protección solar que los del norte, lo que modifica la apariencia exterior de los prototipos mediante el tratamiento de la fachada. Por otro lado, se incorpora un mayor número de paneles solares en los prototipos de las MZ hacia el sur, ocupando la mayoría de las cubiertas, incluso aquellas de patios y espacios productivos.

El tratamiento de las zonas aledañas, espacios comunes y zonas productivas también establecen diferencias entre los distintos prototipos. Además de los anchos de las zonas perimetrales, es posible observar que en las MZ en el norte del país han incorporado el uso de sombreaderos en base a palillaje, lo que podría reemplazarse por tenso estructuras o elementos vegetales si no existe riesgo de incendio forestal. En relación con los espacios productivos se han pensado en instalaciones que alberguen actividades coherentes con el contexto geoclimático donde se inserte el edificio. De esta forma y muy genéricamente, los prototipos que se ubican en MZ costeras tienen instalaciones relacionadas con la producción de vegetales por medios hidropónicos o acuapónicos; los prototipos correspondientes a MZ del interior se han relacionado con actividades agrícolas y pecuarias, diferenciándose entre ellos en que, en aquellas zonas donde no existe riesgo de inundación, se pueden desarrollar directamente sobre el suelo natural, sin embargo en las MZ donde está presente este riesgo, además, se ha incorporado un volumen para el desarrollo de cultivos hidro o acuapónicos que se encuentran en zonas seguras sobre el nivel del terreno. En las MZ más australes, además de los cultivos y huertos a nivel de suelo, se incorporan invernaderos que, además, actúan como estrategia pasiva de diseño. En general estos espacios productivos podrán ocuparse durante el régimen normal de funcionamiento del edificio, pero se ha redundado de manera que alguno de ellos se encuentre en un lugar seguro de manera que se mantenga operativo durante el régimen de emergencia, contribuyendo como fuente de alimentación independiente al almacenamiento.

Un quinto elemento es que se han incorporado tanto barreras vegetales como estructurales para disminuir el impacto inundaciones y tsunamis, considerando los distanciamientos relacionados a

evitar, además, incendios forestales. En las MZ 4, 5 y 6 se han tomado las distancias respectivas de estas barreras con el edificio, de modo de respetar los 10 metros recomendados por el FEMA. En zonas costeras, además se ha incorporado el uso de barreras naturales que pueden disminuir el impacto, como son bancos de arena, taludes de piedra y la utilización estratégica de roqueríos cercanos. En las MZ interiores, como la MZ 1 y 1-sur, donde no existe un mayor riesgo de inundaciones se han utilizado barreras estructurales por los perímetros del edificio, que podrían resistir eventos puntuales que se desarrollen. Cabe mencionar que, debido a la envergadura menor del prototipo, es difícil resolver de manera local las barreras vegetales de modo que disminuyan eficazmente el impacto de tsunamis y aluviones, por lo que siempre deberían emparejadas con estrategias de mitigación y resiliencia urbana, de una escala mayor.

Por último, y dentro de las posibilidades que la misma elaboración de estos prototipos permite, los prototipos se han caracterizado utilizando elementos de la arquitectura vernácula de los lugares, siguiendo el **CE10 EN SINTONIA CON EL ENTORNO**, lo que permitió, también determinar qué tipo de espacios productivos se incorporarían. Para ello fue necesario ubicar espacialmente los prototipos en zonas de Chile, de esta manera es posible ubicar el que corresponde a la MZ 1 en localidades rurales del altiplano de la Región de Tarapacá como La Huayca o Mamiña; el prototipo de la MZ 2 podría ubicarse en sectores rurales de la Región de Antofagasta, tales como Toconao o Aiquina. El prototipo del MZ 3 se ha elaborado considerando sectores costeros de la región de Arica y Parinacota y de la Región de Tarapacá, como puede ser Caleta Camarones o Pisagua. La MZ 4 es extensa, sin embargo, el prototipo se ha elaborado considerando las actividades y las construcciones del valle central, pudiendo ubicarlo en localidades de la Región Metropolitana como son Alhue o Cholqui. El prototipo de la MZ 5, es posible ubicarlo en zonas rurales costeras de la zona central y centro-sur como podría ser Navidad o Bucalemu. El que corresponde a la MZ 6, hacia el sur, en localidades de la región de Aysén. Por último, las zonas 1-sur y 3-sur en sectores interiores y costeros, respectivamente, de la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

Es posible observar la utilización de estos elementos y los modelos tridimensionales de los prototipos como resultado final del proceso de prototipación en el Anexo D. Se ha determinado desarrollar a profundidad el prototipo de la Macrozona 4, ya que contiene la zona de riesgo 7SIH que se determinó como la más representativa de Chile.

## 4.6 Conclusión

A través de la elaboración del sistema de criterios de diseño “+RESILIENTE +SUSTENTABLE, se concluye que se posible establecer vínculos entre sustentabilidad y resiliencia en el campo de las edificaciones. El objetivo final de estos criterios se ha determinado como **diseñar edificios preparados para resistir el impacto de desastres naturales, de modo que puedan contribuir a la recuperación de la comunidad que habita el territorio donde se emplaza mediante la capacidad de prepararse y mantenerse operativos durante y después del evento, utilizando medios sustentables.**

Siguiendo la anterior definición, se ha considerado que para que el edificio pueda contribuir a la recuperación de la comunidad que habita en el medio donde se inserta es necesario que, primeramente, se mantenga de pie ante el impacto de un determinado desastre natural, por lo que el criterio básico es la resistencia estructural, lograda a través de la utilización de materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental que sean capaces de absorber dicho impacto, aplicados a una morfología de edificio que tiende más bien a la utilización de volúmenes regulares.

Sin embargo, mediante el presente estudio se ha logrado establecer, además, la importancia que posee la etapa posterior al impacto, donde se ha observado que los edificios prestan servicios que contribuyen a la recuperación del medio social, funcionando principalmente como lugares de albergue, centro de acopio e información. Para ello, es imprescindible que el edificio mantenga sus prestaciones en términos de operatividad y habitabilidad, siendo fundamental poseer un grado de independencia en términos hídricos y energéticos, esto es que pueda autoabastecerse de estos recursos durante una cierta cantidad de días, pudiendo afrontar interrupciones y cortes en el suministro de ambos recursos, situación que es muy usual en situaciones de desastre.

En la actualidad, mantener operativos los edificios en contextos de eventos críticos se resuelve, por lo general, mediante la utilización de grupos generadores que queman combustibles fósiles, lo que parece una solución poco adecuada desde el punto de vista de la sustentabilidad. Ya que los criterios de diseño se han elaborado con motivo de establecer vínculos entre esta última y la resiliencia, para lograr la independencia hídrico-energética se determinó adoptar el estándar *Zero Energy y Zero Water Building*, donde la demanda cero se logra mediante la incorporación de criterios de eficiencia energética e hídrica, estrategias de diseño pasivo y bioclimático, gestión de aguas y utilización de fuentes de ERNC. Un análisis posterior de los criterios arrojó que este criterio se

constituye como crítico respecto de los demás, constituyendo un buen ejemplo de convergencia entre sustentabilidad y resiliencia.

A través de este mismo análisis se obtuvo que otros tres criterios se constituyen como buenos casos de vinculación entre resiliencia y sustentabilidad. El primero es el de utilizar el paisajismo de manera resiliente, a través de la creación de defensas vegetales que, por un lado, puede ser utilizadas para mitigar el impacto de flujos en el edificio y, por otro, como estrategia de diseño pasivo y de conservación ecológica. El segundo, relacionado con el primero, es el de que estos espacios verdes puedan constituir, además, áreas exteriores seguras para ser utilizadas como zonas de seguridad, puntos de encuentro y de rescate. Por último, el tercero se orienta a compartir los excedentes energéticos e hídricos producidos por el edificio a través de fuentes de ERNC, con la comunidad.

Si bien, todos los criterios elaborados vinculan en algún grado la sustentabilidad con la resiliencia, los cuatro casos anteriores permiten determinar que es posible, a través de una sola estrategia, abordar simultáneamente aspectos de resistencia y seguridad con eficiencia energética, ecología y bienestar comunitario, dejando en evidencia que ambos conceptos no son excluyentes el uno del otro, si no que es totalmente posible la integración entre ambos conceptos para ser incorporado a las edificaciones.

Respecto a cuál es la correlación entre sustentabilidad y resiliencia, cabe mencionar que el proceso de elaboración de los criterios de diseño se realizó en base a la incorporación de cuatro distintos aspectos de la resiliencia obtenidos desde el marco teórico: Seguridad y Resistencia (RS), Eficiencia Energética (EF), Ecología e Impacto Ambiental (EC) y Bienestar y Comunidad (BE). Considerando que estas tres últimas también constituyen aspectos esenciales de la Sustentabilidad, para este estudio se pueden plantear dos posibles escenarios que expliquen por qué es posible vincular estos dos conceptos:

**1. Sustentabilidad como parte de la resiliencia (SUSTENTABILIDAD  $\in$  RESILIENCIA),** donde, en el campo de la edificación, la sustentabilidad es y constituye una parte importante dentro de un universo mayor que es la resiliencia, lo que se logra determinar debido a que al menos dos aspectos de la sustentabilidad, social y medioambiental, se encuentran dentro de los aspectos de resiliencia. En este escenario, la resiliencia es un universo mayor donde además de encontrarse inscrita la sustentabilidad, existen otros aspectos que no son directamente atribuibles a esta última, como son la seguridad y la resistencia. Para determinar este escenario habría que evaluar, en primer lugar, si

el tercer aspecto de la sustentabilidad, el factor económico, es de preocupación en el desarrollo de edificios resilientes. En primera instancia es posible sospechar que sí constituye un aspecto de preocupación, ya que en muchos casos el interés por construir edificios resilientes no se basa tan sólo en el salvar vidas humanas si no también en las enormes pérdidas económicas en infraestructura que sufren los países al verse afectados por un evento de desastre natural. El PNUD de la ONU indicó en 2013 que por cada 1 dólar invertido en prevención se ahorra 7 dólares en reconstrucción. Una pregunta que se podría plantear para indagar en lo interior es si el enfoque económico de la sustentabilidad es coherente con el enfoque de la resiliencia en cuanto a la relación que podría existir entre el ahorro en reconstrucción de un edificio con su sustentabilidad económica. Al ser la sustentabilidad parte de la resiliencia, lo concluyente en este escenario es que en la medida que un sistema es más sustentable es también más resiliente, no así al revés.

**2. Sustentabilidad comparte aspectos con la resiliencia ( $RESILIENCIA \cap SUSTENTABILIDAD$ ),** es posible que sustentabilidad y resiliencia sean universos distintos que sean tangentes en algunos aspectos como, por ejemplo, los tres que se mencionan, lo que implicaría que a partir de estos temas comunes es posible abordar los dos conceptos, sin embargo, estos universos están compuestos por otros aspectos que no son directamente atribuibles al otro. En el caso de la elaboración criterios se utilizó este enfoque que buscaba aspectos en común entre ambos conceptos, de modo que la incorporación de una estrategias de diseño al edificio contribuía a aumentar sus características de sustentabilidad y de resiliencia a la vez. En este caso ambos conceptos son independientes, por lo que un edificio sustentable podría ser en alguna medida resiliente también y viceversa.

Lo cierto es que la integración de sustentabilidad al enfoque actual de resiliencia en edificaciones en Chile, basado mayormente en el momento del impacto, ha permitido explorar otras áreas y temporalidades de este concepto en el marco del diseño de edificios, pudiendo determinar que podría ser posible diseñar un edificio incorporando criterios de sustentabilidad y resiliencia a la vez. Esta afirmación que es válida en el segundo escenario, ya que en el primero bastaría con indicar que un edificio es resiliente, entendiendo con ello que también es sustentable.

En relación con lo anterior y para concluir, la expresión con la que se denomina este trabajo “integración de resiliencia y sustentabilidad” asume que ambos conceptos son independientes entre sí, por lo tanto, sería válido solo en el segundo escenario. Si el primero lo fuera, se debería considerar una metodología tendiente a reconocer los aspectos sostenibles de la resiliencia.

## **Capítulo 5. ¿Cómo serán las escuelas resilientes a desastres naturales en Chile? Diseño de un prototipo de edificio educacional para la zona central de Chile, integrando criterios de resiliencia y sustentabilidad.**

### **5.1 Metodología de diseño**

Se elaborará un prototipo de escuela para la zona que se ha determinado como más crítica en Chile respecto de su exposición a desastres naturales, que en este caso corresponde a la zona central de Chile, utilizando el sistema de criterios + RESILIENTE + SUSTENTABLE.

En una primera etapa se recolectan datos respecto a las exigencias normativas y recomendaciones de diseño para edificios educacionales en Chile (Agencia Chilena de Eficiencia Energética-ACHEE, 2012; MINEDUC, 2011; MINEDUC UNESCO, 1999; OGUC, 2017), con el fin de determinar los requerimientos programáticos y de superficie en escuelas; se revisa el estándar Passivhaus para determinar criterios de construcción y demanda energética a incorporar en el edificio, con el fin de reducirla y cubrirla con fuentes de Energía Renovables no Convencionales (ERNC) para alcanzar la independencia energética del edificio mediante el modelo Net Zero Energy Building (NZEB).

La segunda etapa consiste en el análisis de los datos obtenidos con el fin de obtener indicadores cuantitativos para ser incorporados al proceso de diseño, como superficies, cantidad de albergados, demanda energética máxima, entre otros. Se determina además la geometría a utilizar y la distribución de los espacios a partir de las recomendaciones de diseño de edificios educacionales, al estudio de algunos casos internacionales y a la incorporación de los criterios de diseño de resiliencia y sustentabilidad.

La tercera etapa consiste en la aplicación de estos indicadores en la elaboración y diseño misma del prototipo, desde donde se obtienen tres productos: un modelo tridimensional, la planimetría e imágenes del prototipo y un *factsheet* con sus características en términos de materialidad y tecnologías contempladas a incorporar.

En la cuarta etapa, el prototipo se somete a un análisis térmico y energético con el fin de obtener resultados cuantitativos respecto de la demanda del edificio, con los que es posible pre dimensionar los equipos necesarios para alcanzar el modelo NZEB. Por último, se realiza una evaluación de la

incorporación de los criterios de diseño de resiliencia y sustentabilidad para determinar cualitativamente qué tan resiliente es el prototipo. A partir de estas dos evaluaciones se obtienen aspectos a mejorar que permiten afinar el prototipo.

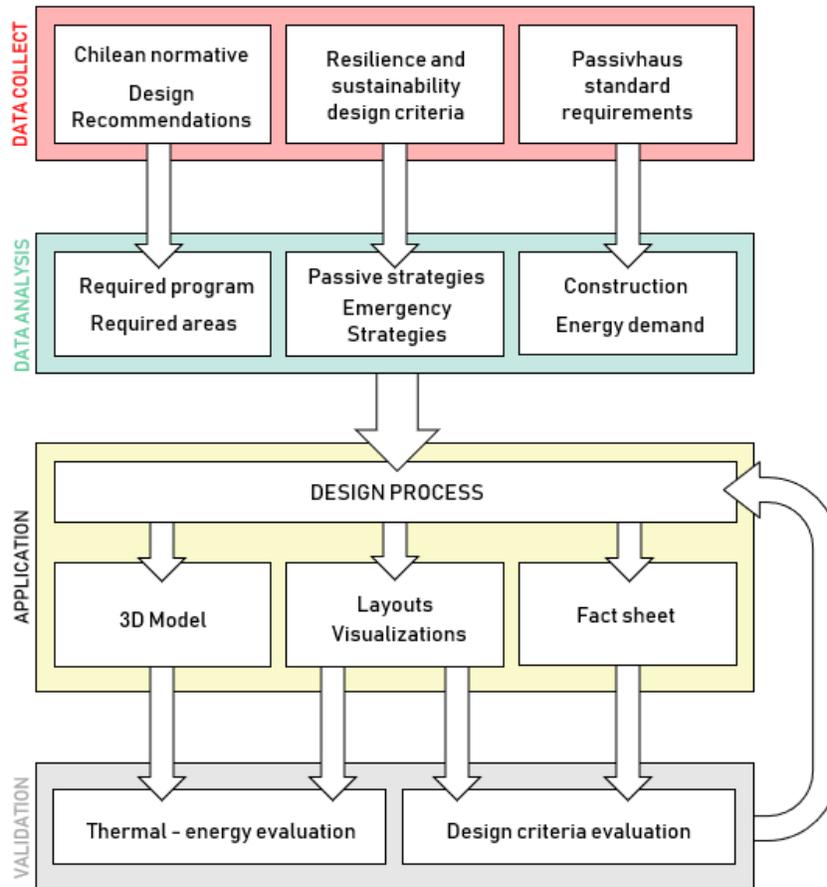


Figura 5.1: Diagrama de metodología utilizada en el diseño del prototipo (Fuente: elaboración propia)

## 5.2 Requerimientos y criterios de diseño considerados

Los parámetros de diseño utilizados en la elaboración del prototipo de edificio educacional se obtuvieron desde tres fuentes; desde la normativa chilena y recomendaciones de diseño vigentes se determinan los requerimientos programáticos y de superficie para edificios educacionales; desde el sistema de criterios de diseño +Resiliente +Sustentable se determinan las recomendaciones en términos de resistencia y seguridad, eficiencia energética y sustentabilidad, bienestar y comunidad, y ecología y medio ambiente a incorporar en la elaboración del prototipo; desde la revisión del estándar Passivhaus se determinan los requerimientos físicos de los materiales a utilizar y los

requerimientos en términos de demanda energética involucrados en el desempeño térmico-energético del prototipo.

#### 5.2.1 Requerimientos programático - arquitectónicos.

Para determinar los requerimientos arquitectónicos de los edificios educacionales en Chile, en primer lugar, se identifican los recintos mínimos con los que debería contar una escuela, para ello se revisan los proyectos ganadores del concurso “Reposición Escuelas Rurales, Región de La Araucanía”, del MINEDUC, (MINEDUC, 2016) los que, debido a su escala, poseen un programa arquitectónico acotado. En general se determinó que las escuelas rurales contaban con los recintos que se muestran en la Tabla 6.2., los que fueron clasificados en cuatro diferentes grupos: educativo, docente/administrativo, servicios y patio. Con esta información fue posible determinar los requerimientos de superficie y volumen para cada uno de estos recintos, de acuerdo con lo contenido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC, 2017), del manual de “Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos” (MINEDUC, 2011) y algunos de los requerimientos del concurso anteriormente mencionado (MINEDUC 2016). Los requerimientos se muestran en el 8.5.3 del Anexo E.

Así mismo, en el Anexo E se muestran los criterios de diseño orientados al confort y la calidad ambiental interior (CAI) de los edificios educacionales, respecto de la Iluminancia mínima interior, confort térmico, ventilación y aislación acústica, los que fueron recopilados desde la Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educacionales de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE 2012), TDRE para la edificación pública en Chile (MOP, 2012) y los requisitos acústicos contenidos en el sistema chileno de Certificación de Edificios Sustentables (CES, 2014).

#### 5.2.2 Criterios de diseño resiliente y sustentable

Con el fin de incorporar al prototipo características orientadas a la resiliencia y la sustentabilidad en edificaciones, se utiliza el sistema de criterios de diseño +Resiliente +Sustentable (PUC, 2019) desde donde se han extraído los requerimientos de la tabla 6.3, que se han determinado como aplicables al diseño de un edificio educacional. +Resiliente +Sustentable es una lista sistematizada de criterios a considerar en el diseño de edificios, elaborada a través de la revisión de recomendaciones y normativas internacionales en materias de gestión de riesgos en edificaciones, con el fin de ser aplicadas al contexto de desastres naturales en Chile.

Con razón de satisfacer estos requerimientos se ha considerado también la incorporación de los siguientes recintos a los identificados en la tabla 6.1: bodega de almacenamiento de provisiones de emergencia; sala de comunicaciones y antena; sala de baterías de paneles fotovoltaicos (PFV), sala de sistema de generación energética de respaldo, que en este caso considerará un grupo electrógeno dimensionado para la mayor demanda de la escuela; sala de almacenamiento de combustible. Además, se considera aumentar la superficie de la sala de primeros auxilios para satisfacer el requerimiento de la tabla 6.3.

Respecto a los espacios compartidos con la comunidad, se han incorporado a la lista programática tres recintos que debido a su programa pueden servir también como equipamiento comunitario: una biblioteca, un auditorio y un espacio deportivo techado; sobre todo en aquellas comunidades que no cuenten con acceso a ellos. También, los espacios productivos y áreas de encuentro en exteriores pueden ser utilizados como espacios comunitarios.

En relación con la operatividad del edificio en régimen de emergencia, es necesario que el edificio sea independiente en términos de energía y agua pudiendo mantenerse funcional en caso del corte del suministro de estos dos recursos fundamentales como producto del impacto del desastre natural. Esta característica se logrará mediante la adopción de los estándares en demanda energética e hídrica *Net Zero* o *Plus Energy Building*, y *Net Zero* o *Plus Water Building*, respectivamente, los que vienen dados según la ecuación:

**Zero Energy Building** (DOE, 2015):

$$\text{Energía recibida red} - \text{Energía producida en el sitio} \leq 0$$

**Zero Water Building** (DOE, 2018):

$$\text{Fuentes alternativas agua} + \text{Agua recuperada} = \text{Agua consumida}$$

Los espacios de albergue deberían funcionar adecuando los recintos existentes en la escuela, dependiendo de la cantidad de personas que lo requieran, lo que está en directa relación con la magnitud del desastre o evento crítico. El número de albergados, en general, deberá ser el doble del número de usuarios normales de la edificación, cantidad que se calculará utilizando el parámetro de la Tabla 6.3 respecto de las superficies de los recintos que se determinen como espacios a utilizar de albergue. Por última, la superficie necesaria para el almacenamiento de provisiones de

emergencia se calcula a partir de la cantidad máxima de albergados, para una duración máxima de 10 días. Si dicho período se quisiera extender, se debería aumentar la superficie requerida.

### 5.2.3 Requerimientos térmico – energéticos.

Para lograr que el edificio posea el desempeño energético NZEB es necesario dotarlo de una envolvente con altas prestaciones en términos de comportamiento térmico y de hermeticidad, razón por lo que se ha indagado en la incorporación de los parámetros del estándar de construcción Passivhaus. Los valores que se presentan en la Tabla 6.4, que han sido obtenidos a partir de este estándar y por ser menores que los exigidos en el TDRé, reemplazarán a los requerimientos de la normativa chilena de la Tabla 6.3 en términos de transmitancia térmica de los elementos constructivos.

El requerimiento de Passivhaus para el confort térmico interior del edificio se considerará sólo para el régimen de funcionamiento normal de la escuela. Para el régimen de operación en emergencia se utilizarán los parámetros de confort de “Seguridad Térmica” contenido en la Tabla 6.3.

### 5.2.4 Supuestos considerados.

Para el diseño del prototipo se han considerado los siguientes supuestos:

1. Se ha considerado el calendario escolar típico de funcionamiento de una escuela en Chile, que está regulado por D.S. 289 del 2010 que fija el año escolar entre el 1 marzo y el 31 de diciembre. El horario de clases se estableció según la Ley 19.532 que regula la jornada escolar completa (JEC) en un promedio de 40 horas semanales, lo que significa 8 horas diarias repartidas entre lunes y viernes. En situación de emergencia, ocupada como albergue, se ha considerado una ocupación 24/7.
2. En régimen de operación normal, la escuela actúa como edificio *Near Zero Energy Building* (nZEB), y se encontrará conectado a la red de suministro eléctrico. Sin embargo, durante el régimen de operación de emergencia, el edificio deberá ser capaz de operar mediante la generación de energía en el sitio.
3. No se consideran factores económicos en la elaboración del prototipo.

### 5.3 Presentación del prototipo

#### 5.3.1 Descripción del prototipo y operación

Considerando los requerimientos programáticos y parámetros de diseño recopilados para edificios educacionales, se ha elaborado un prototipo de escuela conformado por dos bloques orientados al norte, uno (Bloque A) albergará todos los recintos relacionados con el área educativa de la Tabla 6.1 y en el otro (Bloque B) se encontrarán los recintos correspondientes a docencia/administración y servicios. Ambos bloques se encuentran conectados por un espacio central que se imputará como patio techado, y por un puente que conecta el segundo nivel del bloque de servicios con la azotea del bloque escolar. Lo que se persigue con la incorporación de esta estrategia inicial de morfología es que en caso de emergencia ambos bloques puedan funcionar de manera independiente: el Bloque A mantiene su funcionamiento como escuela mientras que el Bloque B servirá como albergue y centro de operaciones e informaciones. Esto posibilita que ante una emergencia no siempre sea necesario detener las actividades escolares para utilizar el edificio como albergue. El prototipo cuenta además con un volumen C, separado del resto de la escuela, que alberga el sistema de generación de energía de respaldo y los energéticos necesarios para su funcionamiento.

A partir de esta distribución y considerando la gravedad de la emergencia desde el punto de vista de número de albergados, se determinó que la escuela podrá funcionar bajo tres perfiles de operación. El primero de ellos es el régimen normal de funcionamiento donde Bloque A y B tienen funciones escolares. El segundo y tercer perfil obedecen al régimen de emergencia: en el segundo el perfil es responsivo a eventos críticos leves y medianos, donde el Bloque A seguirá como escuela y el Bloque B se utilizará, como se ha denominado, de Centro Comunitario de Emergencias (CCE). El tercer perfil de operación es responsivo a eventos mayores, donde se presume que no existirán las condiciones adecuadas para que los alumnos asistan a la escuela, por lo que tanto el Bloque A como el Bloque B servirán de CCE, aumentando la capacidad de albergados.

El Bloque A cuenta con cuatro salas, servicios higiénicos y dos bodegas. El Bloque B, en su primer nivel cuenta con una oficina, sala de profesores, sala de primeros auxilios, servicios higiénicos, una biblioteca y un auditorium que son dos de los equipamientos compartidos con la comunidad. En el segundo nivel cuenta con los servicios de alimentación, comedor, un espacio deportivo cubierto, vestidores y duchas, y una bodega. En el tercer piso cuenta con la sala de comunicaciones y antena. Ambos bloques comparten un nivel semi enterrado en común, donde se encuentra la bodega de

provisiones de emergencia y las salas de UPS. En la tabla 6.5 es posible de identificar que espacios son los que se convierten en albergues y sus respectivas capacidades.

**Tabla 5.1: Programa arquitectónico de prototipo de escuela**

Uso de recintos			m2	cant	Capacidad Usuarios	
Perfil operación 1	Perfil operación 2	Perfil operación 3			Regular	Albergue
<b>BLOQUE A</b>						
Aula	Aula / Sala profesores	Albergue	44	4	117	63
Baños alumnos	Baños alumnos	Baños hombres	17	1	-	-
Baños alumnas	Baños alumnas	Baños mujeres	17	1	-	-
Bodegas	Bodegas	Bodegas	14	2	-	-
Hall	Espacio común	Espacio común	93	1	-	-
<b>BLOQUE B (Nivel 1)</b>						
Sala Profesores	Albergue		47	1	5	17
Oficina	Oficina		16	1	2	-
Primeros Auxilios	Primeros Auxilios		24	1	-	-
Baños hombres	Baños hombres		19	1	-	-
Baños mujeres	Baños mujeres		19	1	-	-
Biblioteca	Albergue		86	1	-	31
Auditorio	Albergue		86	1	-	31
<b>BLOQUE B (Nivel 2)</b>						
Área manipulador			16	1	2	-
Cocina			31	1	-	-
Despensa diaria			15	1	-	-
Vestidor Hombres	Duchas hombres		23	1	-	-
Vestidor Mujeres	Duchas mujeres		23	1	-	-
Bodega			15	1	-	-
Comedor	Albergue		81	1	-	29
Gimnasio	Albergue		134	1	-	48
<b>SUBTERRANEO</b>						
Bodega emergencia			84	1	-	-
UPS			54	2	-	-
<b>Total máxima de usuarios</b>					<b>126</b>	<b>218</b>

Como es posible de observar en la Figura 5.5, con el fin de responder al evento crítico los recintos de la escuela están diseñados para poder adaptarse a los diferentes requerimientos que puedan surgir ante él. Dentro el perfil de operación 2, y de ser necesario, es posible unir el comedor con el gimnasio techado en un solo gran espacio que sirva de albergue. Por otro lado, en este mismo perfil de operación una de las aulas podrá ser ocupada por el equipo docente como sala de profesores redistribuyendo a los alumnos en distintas salas, o bien habilitar una de las bodegas con los mismos

finés. En el perfil de operación 3, y de ser necesario, las aulas también se podrán unir para crear un espacio unitario para los albergados, y también los mobiliarios de las aulas podrán ser guardados en las bodegas contiguas a ellas. Si bien durante el régimen de funcionamiento normal se utilizarán los accesos principales de cada bloque que se encuentran enfrentados, en régimen de emergencia este acceso al bloque B se inhabilitará, funcionando como entrada principal a este, el acceso a la biblioteca y auditorio. Ambos accesos cuentan con espacios de búfer que permiten, por un lado, un ingreso controlado a los recintos principales y, por otro, evitar pérdidas calóricas desmedidas por la apertura de puertas en caso de que el evento crítico ocurra en invierno.

En general, se ha elaborado un prototipo de escuela responsivo a la emergencia de un evento crítico, a través de la adaptabilidad y la transformación de los recintos interiores respecto de su funcionamiento ante distintos escenarios de emergencia. Es posible revisar plantas cortes y elevaciones del prototipo en el Anexo E.

## **5.4 Desempeño térmico-energético del prototipo**

### **5.4.1 Zonificación**

Se realiza una zonificación de los recintos del edificio de acuerdo con su requerimiento de uso de sistemas activos de HVAC, identificando tres tipos; aquellos recintos con mayor carga de ocupación que necesitan HVAC completo, como salas de clases y oficinas; aquellos que no lo necesitan como bodegas y circulaciones, y aquellos recintos correspondientes a servicios que solo necesitan ventilación mecánica como baños y cocina. Como es posible de ver en la Figura 5.6, esta zonificación se modifica para cada uno de los tres perfiles de operación mencionados utilizando dos variables: los requerimientos específicos de cada uno de ellos y la temporada del año en que eventualmente se deba recurrir a su utilización. En el diagrama de la Figura 5.3 y 5.4 es posible observar que se han identificado las principales cargas de demanda energética involucradas en el funcionamiento del edificio y fueron asociadas a distintos recintos según su régimen de operación, utilizando un criterio de prioridades. Si bien en el régimen de operación normal, las prioridades están orientadas al funcionamiento de los sistemas tributantes al confort término y CAI, en los dos perfiles de operación de régimen de emergencia la prioridad se traslada desde el confort hacia la seguridad, la que tiene asociadas cargas de equipamientos e iluminación, manteniendo solo sistemas de ventilación para los espacios con mayor carga ocupacional en términos de CAI.

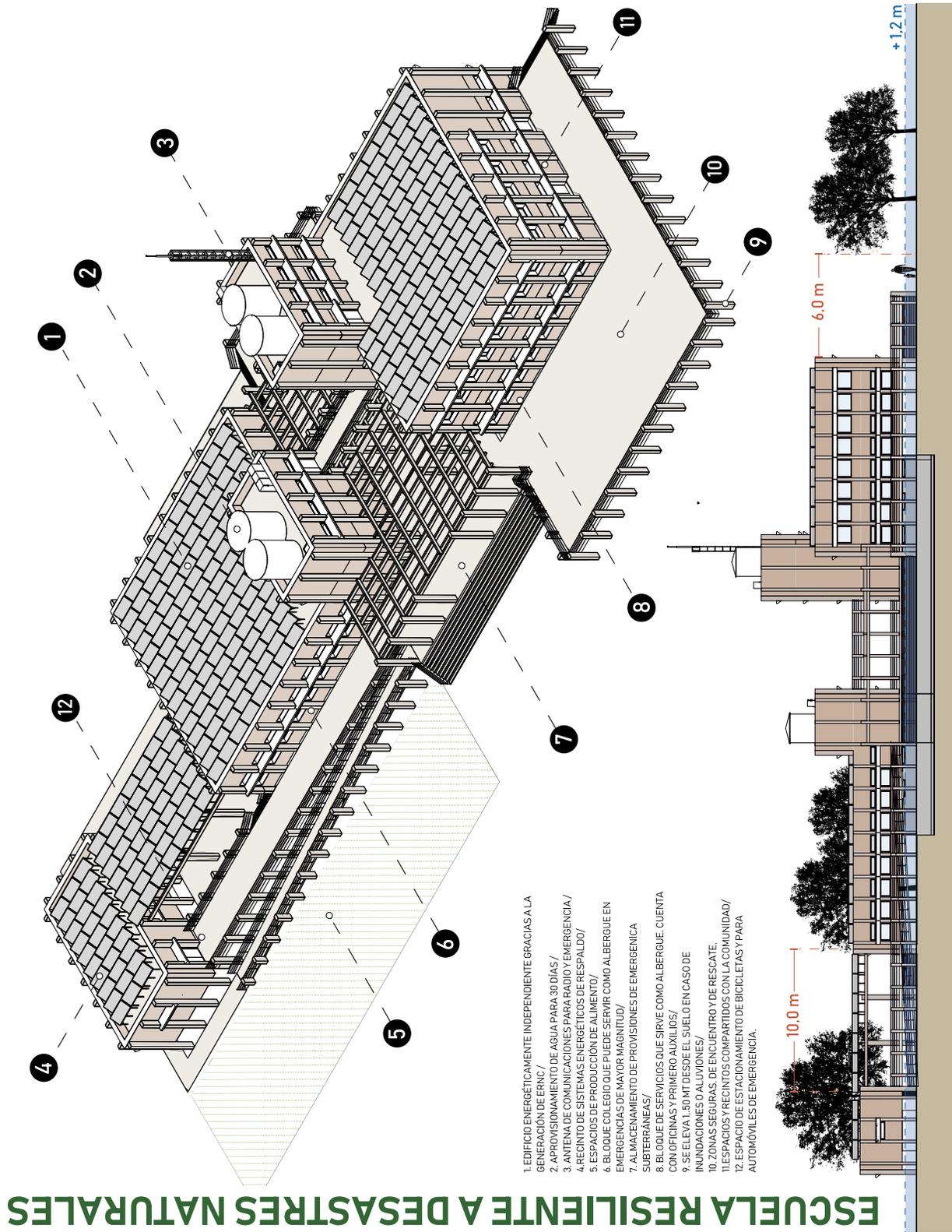
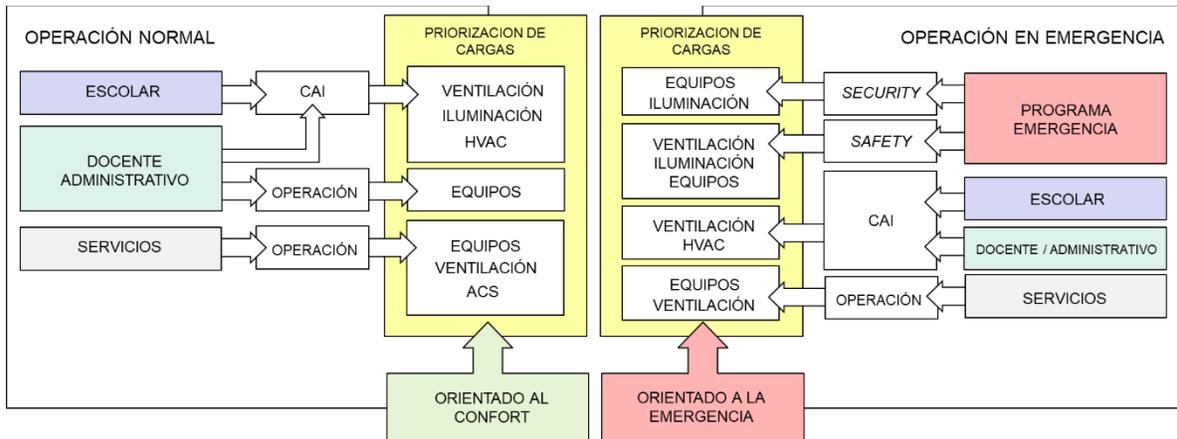
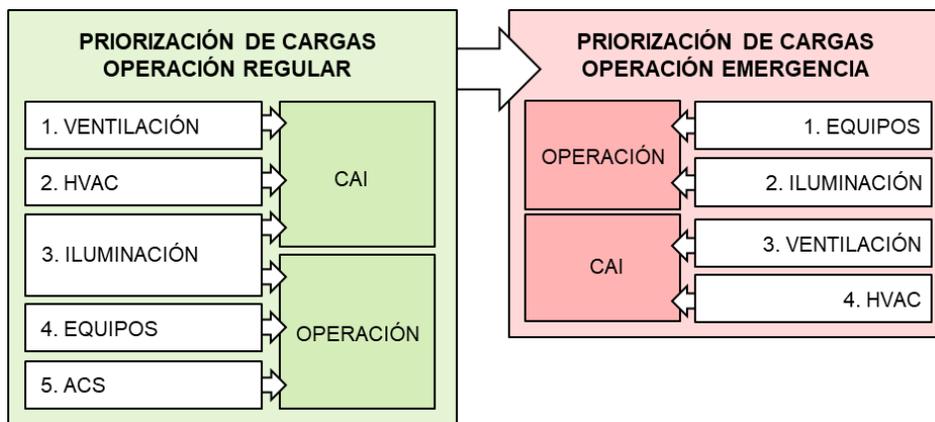


Figura 5.2: Lámina presentación prototipo (Fuente: elaboración propia)

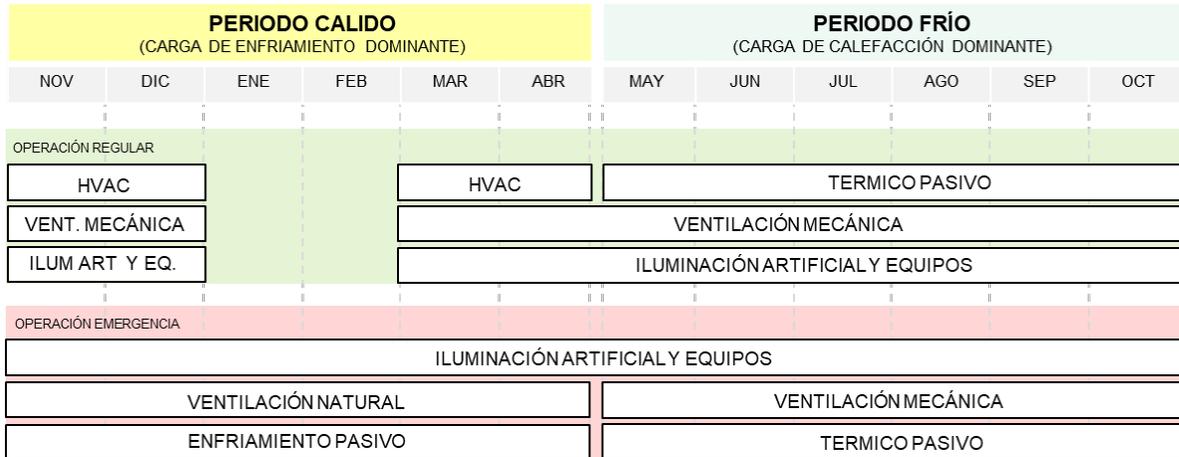


**Figura 5.3: Diagrama análisis de cargas según perfil de operación**  
(Fuente: elaboración propia)



**Figura 5.4: Diagrama priorización de cargas según perfil de operación**  
(Fuente: elaboración propia)

Estos tres perfiles de operación y las prioridades de cargas de demanda energética asociadas a ellos son analizados a partir de su utilización en dos períodos del año, una época cálida y una época fría, con el fin determinar cuándo y cómo estas cargas se hacen efectivas. Se establecen cuatro escenarios probables en los que el edificio podría funcionar durante el año en relación con la ocurrencia de un evento crítico, con lo que fue posible, además, determinar los parámetros con los que ha sido realizada la simulación En el diagrama de la Fig. 5.5 es posible observar que en operación normal, el edificio funcionará con HVAC apoyado con ventilación natural, así, durante el periodo frío, funcionará de manera pasiva en lo térmico, gracias a la incorporación del estándar Passivhaus, y con ventilación mecánica.



**Figura 5.5: Diagrama utilización de cargas según perfil y período del año (Fuente: elaboración propia)**

Durante la operación de emergencia, mientras el edificio funcione sin suministro a la red, la generación de energía eléctrica se utilizará prioritariamente en mantener el funcionamiento de la comunicación, los equipos y la iluminación. En el período frío del año el edificio se ocupará con ventilación mecánica y pasivo térmicamente, mientras que en el período cálido, se utilizará ventilación natural. En la Fig. 5.6 se ha aplicado esta programación al layout del prototipo, con el fin de visualizar como la zonificación de cargas asociadas a cada perfil de operación varía según el período del año en el que funciona, obteniendo como resultado cuatro distintos posibles escenarios de funcionamiento del edificio: el primero es el edificio funcionando en régimen normal en período cálido del año; el segundo consiste en el edificio funcionando en período cálido según el perfil de operación 2,; el tercero es el funcionamiento en período cálido según el perfil operación 3; y un cuarto escenario corresponde al funcionamiento del edificio durante el período frío para los tres perfiles de operación, ya que las cargas involucradas son las mismas. Con los perfiles de operación aplicados a las distintas épocas del año y los parámetros de diseño recopilados, fue posible realizar las simulaciones energéticas correspondientes para identificar las demandas en cada escenario

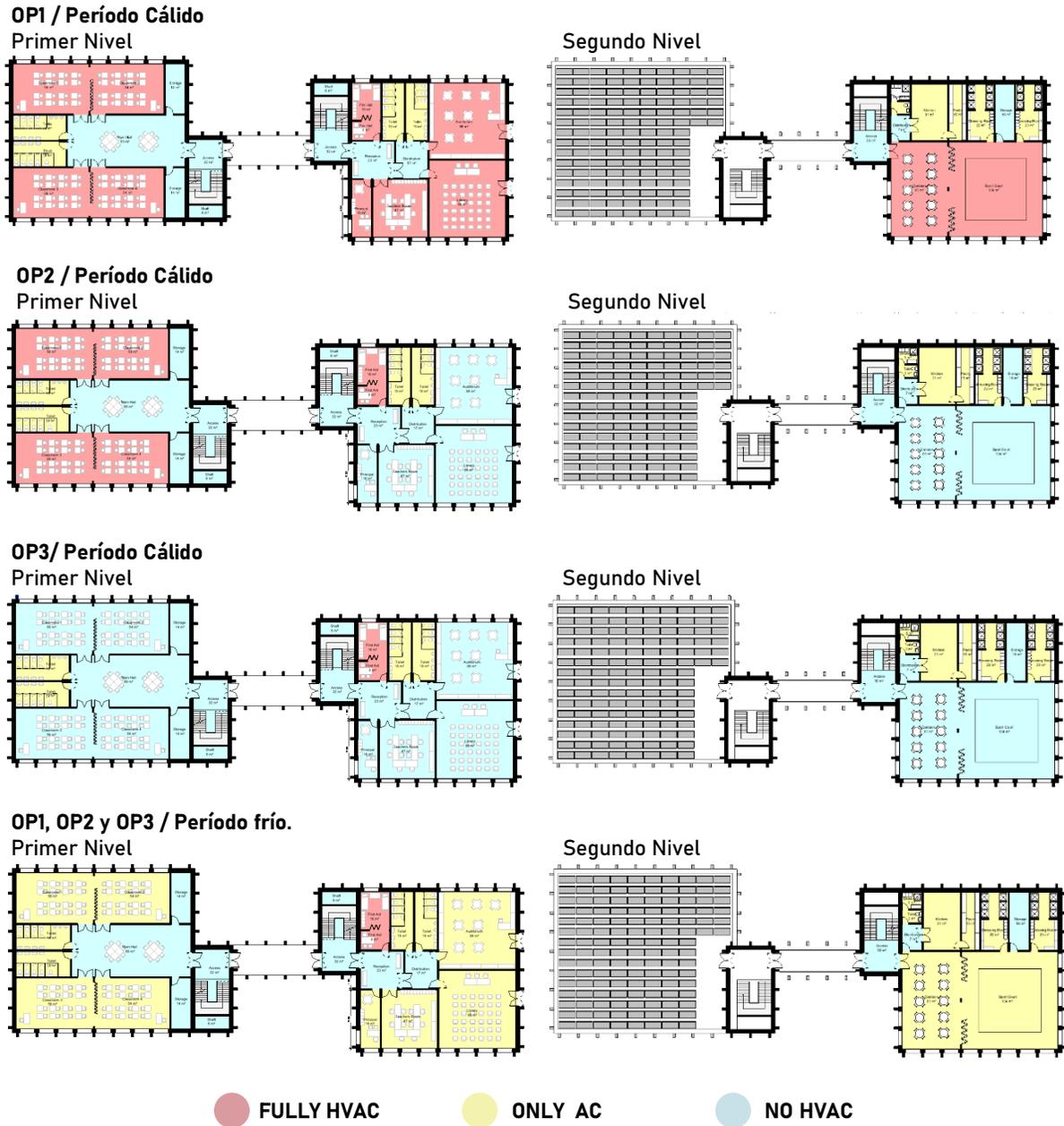


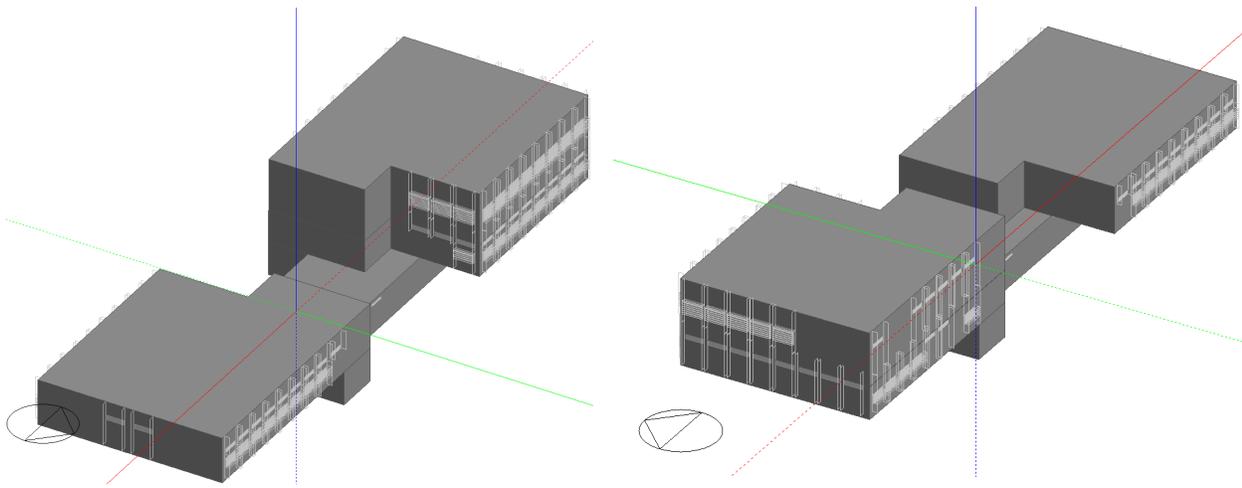
Figura 5.6: Perfiles de operación para el funcionamiento del edificio (Fuente: elaboración propia)

#### 5.4.2 Parámetros de simulación

Para realizar la simulación térmico-energética se ha utilizado el software Design Builder (DB), incorporando tanto los parámetros de diseño recopilados, como los perfiles de operación y programación anual elaborados. Ya que el prototipo responde al escenario de riesgos más crítico,

correspondiente a la zona del valle central, se utiliza la data climática de la ciudad de Santiago, obtenida desde la página de Energyplus.

El objetivo de la simulación es determinar en qué escenario, se produciría la mayor demanda energética. Lo anterior con el fin de dimensionar los equipos relacionados a la generación de energía de manera de que el prototipo cumpla con el estándar NZEB. En la Fig. 5.7 es posible visualizar el modelo tridimensional confeccionado en DB para efectos de realizar la simulación.



**Figura 5.7: Modelo tridimensional elaborado en Design Builder para simulación (Fuente: elaboración propia)**

#### 5.4.2.1 Parámetros de simulación por tipologías de recintos.

Dependiendo de los distintos parámetros que se ingresan a DB para realizar la simulación en relación a los tres perfiles de operación (PO) del edificio, se han clasificado los distintos recintos interiores en 6 tipologías que se muestran en la Tabla 5.2: Tipo 1, correspondiente a las aulas; Tipo 2, constituida por la biblioteca, el auditorio, comedor, gimnasio y salas de profesores; Tipo 3, donde se encuentran las oficinas y la sala de primeros auxilios; Tipo 4, donde se encuentran los servicios tales como cocina, baños y camarines; Tipo 5, donde se encuentran las bodegas; y Tipo 6, que corresponde a las circulaciones.

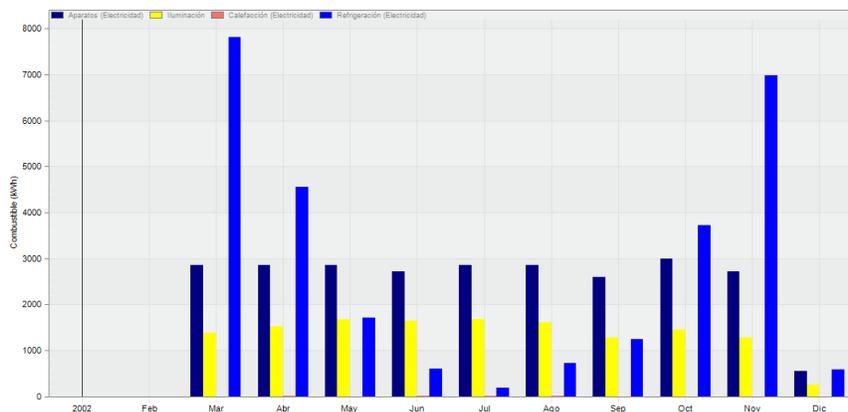
En general, estas zonas se diferencian por los parámetros a utilizar en los distintos PO establecidos. Como se puede ver en el Anexo E, las zonas difieren entre ellas principalmente en la densidad ocupacional, la programación de calendario, la utilización de equipamiento y el régimen de HVAC y de ventilación de cada perfil de operación.



Figura 5.8: Tipologías de recintos para simulación energética (Fuente: elaboración propia)

Para la Zona 1, donde se encuentran las aulas, los datos ingresados para el PO 1 y 2, son los mismos y están relacionados con una programación y carga escolar correspondiente a recintos educacionales, ya que la escuela continúa su funcionamiento en caso de una emergencia menor, sin embargo en el PO3 las aulas se utilizan como albergue, por lo tanto los parámetros para la simulación cambian a los descritos en los criterios de diseño de resiliencia y sustentabilidad. En el caso de las Zonas 2 y 3 que se encuentran en bloque de servicios, el PO1 sigue la programación de edificio educacional, pero los PO2 y PO3 se utilizan los parámetros relacionados con la emergencia debido a que este bloque se utiliza ante una emergencia menor y mayor. En las demás zonas se han mantenido las cargas de ocupación sin embargo la programación cambia cuando el bloque a las que pertenecen entra en régimen de operación de emergencia.

Respecto a los regímenes de utilización de HVAC, como indica la Fig. N° 5.9, a través de una simulación previa, se ha determinado necesaria solo la carga de enfriamiento. Según la programación en la Fig. 5.5 la utilización de HVAC para los recintos climatizados siguen el horario escolar durante PO1 y PO2, en la zonas tipo 1 (Aulas de clases) y solo durante PO1 en las zonas del tipo 2 y 3 que, por encontrarse en el bloque de servicios, se convierten en albergue en el PO2. Los regímenes de ventilación durante el PO1 cambian según el PO y el periodo del año. Para el PO1, en general, los recintos utilizan la ventilación mecánica como sistema principal durante todo el año. Sin embargo para el régimen de emergencia, en los PO2 y PO3, durante invierno se ocupa ventilación mecánica y durante el verano ventilación natural que se aprovecha, además, para el enfriamiento pasivo. Este mismo régimen se utiliza para la iluminación, donde sólo varía la programación entre el régimen de funcionamiento normal y los de emergencia. Es posible observar en el 8.5.3 del Anexo E, que esta variación en el uso de los sistemas se logra a través de la utilización de dos programaciones distintas, una para ventilación mecánica y otra para la ventilación natural.



**Figura 5.9: Simulación previa con HVAC completo, no demanda calefacción (Fuente: elaboración propia)**

Es posible determinar que las mayores variaciones en la operación del prototipo elaborado se dan en los aspectos de las cargas ocupacionales de los recintos que se utilizan como albergues y los regímenes de utilización de sistemas activos de CAI, que varían ya que en régimen de emergencia se prioriza la utilización de generación de energía en seguridad antes que el confort térmico. Las variaciones de los parámetros ingresados para la simulación se sintetizan en el Anexo E, al igual que los calendarios de ocupación.

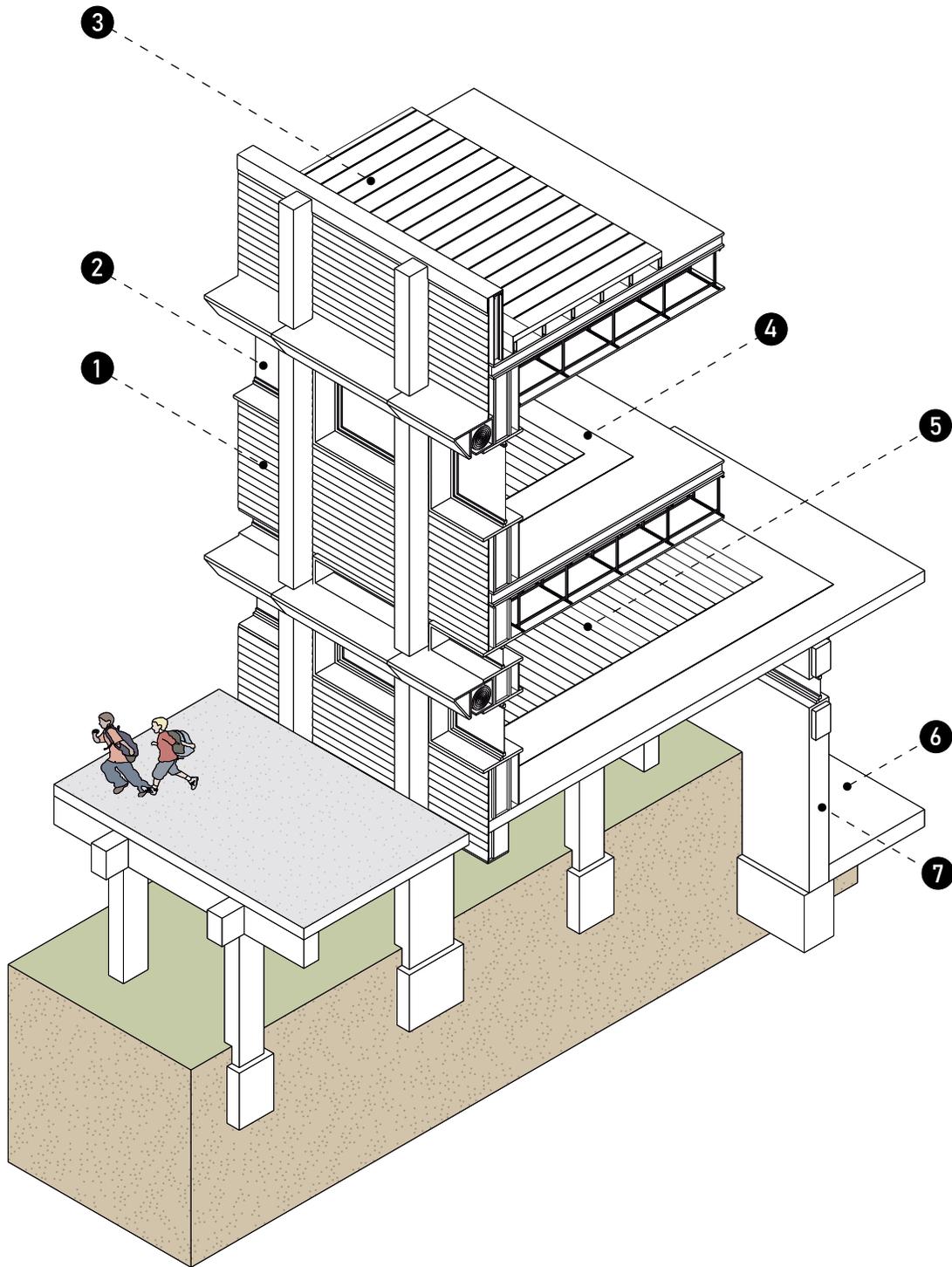
#### 5.4.2.2 Parámetros de construcción para simulación.

La elección del sistema constructivo y materialidad utilizados en la elaboración del prototipo consideró los requerimientos del estándar Passivhaus. Se determina que es posible alcanzarlo a través de la utilización del sistema constructivo modular SIP (Structural Insulated Panel), que está constituido por una placa de material aislante entre dos placas de OSB (Oriented Strand Board). El material aislante puede ser, desde poliestireno expandido y lana de vidrio, hasta materiales orgánicos como aglomerados de cáñamo o monedas de arcilla, en caso de que se quiera aumentar la masa térmica de los muros.

Como es posible visualizar en el escantillón del prototipo de la figura 5.10, para la elaboración del prototipo se considera la utilización de paneles SIP en muros exteriores, techo y pisos intermedios de los niveles primero y segundo de ambos bloques, mientras que el nivel semi hundido se considera construido en concreto armado, al igual que los pilares y fundaciones. Como es posible observar en la Tabla del Anexo E, para alcanzar el valor-U requerido por Passivhaus en muros y techos de  $0,15 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ , se consideró un núcleo aislante de celulosa de 37 cm, lo que junto al espesor de 15 mm ambos paneles de OSB logra un muro de un espesor total de 40 cm.

Con respecto a las ventanas, el estándar Passivhaus exige un valor-U de  $0,85 \text{ Wm}^2\text{-}^\circ\text{C}$ , por lo que se hace necesaria considerar la utilización de ventanas de triple vidriado hermético. En este caso se elige una ventana de estas características, sin embargo con un valor-U de 1,75, lo que es más eficiente en términos energéticos, lo que se pudo determinar mediante una evaluación comparativa de dos simulaciones del prototipo, donde fue posible determinar que con la utilización de ventanas con este valor-U se obtiene una demanda de enfriamiento menor que con el requerido por Passivhaus, sin arrojar cargas por calefacción.

Respecto a la hermeticidad del aire, la simulación se realiza utilizando el valor requerido por Passivhaus de  $n_{50}= 0,6$ , sin embargo se reconoce que este valor es demasiado exigente en relación con los obtenidos en el parque de edificios chilenos (CITEC UBB, 2012), por lo que en la práctica podría ser difícil de obtener. Los valores y detalles de las características de los materiales de la Fig 5.10 se pueden encontrar en el Anexo E.



1. Muro exterior: panel SIP con núcleo de celulosa / 2. Ventana triple vidriado hermético / 3. Techumbre: panel SIP con núcleo de celulosa / 4. Piso interior: Panel SIP con núcleo de celulosa / 5. Piso Nivel +1: Concreto armado aislado en zona ventilada / 6. Piso Subterráneo: Concreto armado / 7. Muro subterráneo: Concreto armado.

**Figura 5.10: Escantillón prototipo. (Fuente: elaboración propia)**

### 5.4.3 Resultados de simulación.

#### 6.5.3.1. Evaluación energética

A partir de las simulaciones realizadas con los parámetros expuestos, es posible determinar que el escenario que posee una mayor demanda de energía para el funcionamiento del edificio es durante el régimen de operación normal (OP1) en el período cálido del año. Sin embargo, considerando que, en operación regular el edificio funciona como nZEB, conectado al suministro público de electricidad, se debió determinar en qué escenario del periodo de emergencia se produce la máxima demanda, resultando que es en el PO2 durante el período cálido, precisamente en el mes de noviembre, donde esta se produce. Es posible determinar a través de los resultados en 8.5.4 del Anexo E que esta demanda se produce debido a un aumento en la carga de equipamientos en el bloque de servicios, ya que está funcionando como albergue y adicionalmente el bloque de escuela tiene operativo en esta época los sistemas de enfriamiento. Por otro lado, noviembre es el más que promedia la más alta demanda entre los tres perfiles de operación.

**Tabla 5.2: Demandas totales del prototipo según perfil de operación**

Mes	Magnitud	PO1	PO2	PO3	Promedio mes
ENE	kWh	0,00	2773,48	4756,00	<b>2509,83</b>
FEB	kWh	0,00	2504,11	4298,43	<b>2267,52</b>
MAR	kWh	<u>9713,22</u>	5431,47	4852,20	<b>6665,63</b>
ABR	kWh	7132,36	4782,90	4722,09	<b>5545,78</b>
MAY	kWh	4544,53	4634,22	4879,98	<b>4686,24</b>
JUN	kWh	4366,85	4479,72	4722,62	<b>4523,06</b>
JUL	kWh	4555,51	4645,78	4880,38	<b>4693,89</b>
AGO	kWh	4482,52	4612,02	4879,36	<b>4657,97</b>
SEP	kWh	3896,94	4294,73	4716,96	<b>4302,88</b>
OCT	kWh	4497,86	4608,89	4859,00	<b>4655,25</b>
NOV	kWh	8798,21	<b>5082,97</b>	4659,74	<b><u>6180,31</u></b>
DIC	kWh	1066,20	3104,29	4768,54	<b>2979,67</b>
<b>Total año</b>	<b>kWh</b>	<b>53054,19</b>	<b>50954,58</b>	<b>56995,29</b>	

Si bien es importante determinar esta demanda máxima en régimen de emergencia, ya que es la que se utilizará para el cálculo de los sistemas de generación de ERNC, para verificar el cumplimiento del estándar Passivhaus se toma la carga anual de enfriamiento máximo, que en este caso pertenece al PO1 y corresponde a 13.144 kWh-año. Considerando los 1853 m2 de construcción del prototipo, la demanda anual de enfriamiento por m2 de superficie construida es de 7,09 kWh/m2 año, lo que es suficiente para satisfacer el requisito del estándar.

### 6.5.3.2. Evaluación de confort térmico.

Para el análisis de confort térmico se ha utilizado el modelo de Szokolay (TDR, 2016). Passivhaus exige un número de horas en disconfort igual o inferior al 10% del horas de ocupación del edificio. Es posible determinar que en el PO1, se cumple fácilmente este requerimiento debido a que el sistema de enfriamiento se encuentra funcionando. Sin embargo, en los otros perfiles de operación no se han incluido sistemas activos de clima para los albergados ya que, por priorización, la energía generada se ocupará en el funcionamiento de los equipos de comunicación, seguridad e iluminación. En caso de emergencia, se debería usar el estándar fijado por RELI, que determina como T° inferior máxima 15°C y como T° Superior nunca una mayor que la exterior. Estos dos requerimientos puede que no sean complementarios.

**Tabla 5.3: Resultados análisis confort térmico**

<b>Análisis Confort térmico - Régimen funcionamiento normal</b>			
	<b>Aulas Norte</b>	<b>Biblioteca, Auditorio</b>	<b>Comedor, gimnasio</b>
Perfil Operación	OP1 - OP2	OP1	OP1
Horas Totales*	3060	3060	3060
Disconfort frío	70	1	1
Disconfort calor	40	518	483
<b>% Horas en disconfort</b>	<b>3,69</b>	<b>17,1</b>	<b>15,8</b>

\*Horario de Ocupación: Marzo-Diciembre, entre 8h y 17h.

<b>Análisis Confort térmico - Régimen de funcionamiento de emergencia</b>			
	<b>Aulas Norte</b>	<b>Biblioteca, Auditorio</b>	<b>Comedor, gimnasio</b>
Perfil Operación	OP3	OP2 - OP3	OP2 - OP3
Horas Totales*	8760	8760	8760
Disconfort frío	28	29	523
Disconfort calor	8601	8861	8154
<b>% Horas en disconfort</b>	<b>98,5</b>	<b>99,2</b>	<b>99,1</b>

\*Horario de Ocupación: Enero-Diciembre, 24/7

Como es posible ver en la Tabla 6.2, los resultados del análisis de confort térmico indican que en operación normal, las aulas cumplen con el estándar de Passivhaus al estar sólo un 3% de horas anuales de ocupación en disconfort. Sin embargo respecto a los demás espacios acondicionados como auditorio, biblioteca, comedor y gimnasio, se obtiene un % de horas de disconfort en promedio cercano al 16%, la mayoría de ellas por sobrecalentamiento. Esto posiblemente se debe, además de por la alta aislación de los muros que exige Passivhaus y la alta hermeticidad de la construcción, a que en estos espacios se utilizó una densidad de potencia por equipamientos mayor que en los espacios de aulas y que el sistema de enfriamiento no está en funcionamiento durante los meses del período frío, que es donde se producen estas horas de disconfort.

El problema de sobrecalentamiento de espacios es evidente en el régimen de emergencia donde no hay sistemas activos de enfriamiento. Es posible ver en la tabla de resultados que para los tres recintos analizados, las horas de discomfort son alrededor del 99% del tiempo de ocupación, o sea casi la totalidad del tiempo. Las que, en su mayoría, son por sobrecalentamiento de los espacios.

En síntesis, en operación normal el riesgo de discomfort es mayor por sobrecalentamiento, durante los meses de invierno, donde no se encuentra operativo el sistema de enfriamiento. En operación de emergencia el riesgo de sobrecalentamiento es evidente y ocurre durante todo el año. Esto se podría solucionar a través de (1) utilizar medios de ventilación y enfriamiento pasivo, (2) recurrir a medios de enfriamiento alternativo como son ventiladores de techo o (3) activar los sistemas de enfriamiento para este período, considerando el aumento de la demanda energética. Lo anterior posibilita cuestionar la aplicación del estándar Passivhaus en este contexto climático, para edificios donde no se encuentren operativos o deban funcionar, por algún motivo, sin los sistemas de climatización.

La pregunta que se plantea a partir de este escenario es que si es posible certificar bajo el estándar Passivhaus edificios que cambiarán de programa en caso de algún tipo de evento crítico, suponiendo que en muchos casos, los indicadores de confort térmico y demanda energética de la edificación varían entre la operación normal y la operación de emergencia. En este caso en particular, se propone que el edificio debiese certificarse según el uso principal que tiene, que es de escuela, utilizando los resultados de confort térmico y demanda energética provenientes del régimen de operación normal. Esto, indicaría que el uso de la escuela como Centro de Emergencia Comunitario sería reconocido como un uso alternativo de la edificación.

## **5.5 Consideraciones respecto de los sistemas del prototipo.**

### **5.5.1 Sistema activos y de generación de ERNC.**

Considerando los resultados de la evaluación energético-térmica, respecto a los sistemas de climatización no se han considerado cargas de calefacción. Se ha determinado apropiados de utilizar sistemas de climatización VRV con intercambiador de calor (1), el que se ocupará para el agua caliente sanitaria. El sistema de enfriamiento podrá estar conectado al sistema de ventilación mecánica. Las unidades exteriores serán montadas en el techo de la escuela, mientras que las interiores podrán ser unidades compactas (2) y podrán ser montadas en los cielos de cada recinto

acondicionado. Considerando el programa educacional, los sistemas de acondicionamiento podrán funcionar de manera centralizada (3), en base a un sistema de control inteligente con sensores de temperatura y de CO2 (4).



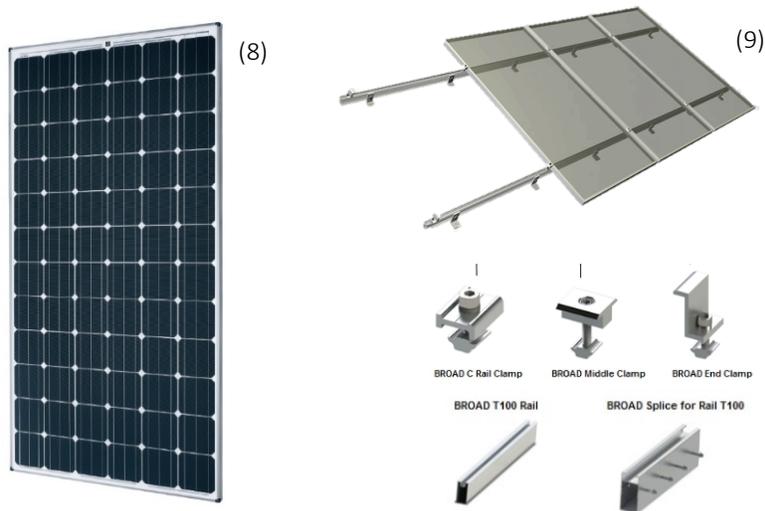
**Figura 5.11: Equipos de climatización considerados (Imágenes obtenidas desde internet)**

Respecto a los equipos de iluminación, y considerando los datos de carga de densidad normalizada introducidos para la simulación, se han considerado equipos altamente eficientes. Se podrían incorporar iluminarias del tipo *troffers* con tecnología LED (5) montados al cielo de las aulas y espacios con programa lectivo. Para otros recintos se consideran focos embudidos también montados en el cielo, con ampolletas de tecnología LED (6). Se considera un sistema de control de iluminancias interiores con sensor lumínico y detector de ocupación de los espacios (7), en recintos con mayor necesidad de confort lumínico como aulas, oficinas y biblioteca., que se conecte a un sistema centralizado de control de iluminación.



**Figura 5.12: Equipos de iluminación considerados (Imágenes obtenidas desde internet)**

Para los sistemas de generación de ERNC se han considerado en base a paneles fotovoltaicos (PFV) con baterías. Se predimensionaron utilizando la máxima demanda identificada de 5082,97 kWh/m<sup>2</sup>-mes durante noviembre en el PO2, lo que considerando una operación de 12 horas diarias, 30 días al mes, significa una potencia de 21179,04 W. A partir de estos datos se realiza un predimensionamiento de los sistemas FV, donde se determinó que es necesaria una cantidad de 313 PFV monocristalinos, de una potencia de 350 W y un voltaje de 48 V (8). En el mercado chileno existen paneles de estas características, los que tienen una superficie promedio de 2 m<sup>2</sup> cada uno, Considerando la cantidad de PFV requeridos, se necesita una superficie total de 616 m<sup>2</sup>. Para la instalación de los PFV se ha determinado ocupar los techos de la escuela que tienen disponible, aproximadamente, 730 m<sup>2</sup>, por lo que es posible instalarlos en este lugar. Se considera la montura de los paneles sobre rieles de aluminio (9), según recomendaciones antisísmicas (FEMA, 2018)



**Figura 5.13: Panel fotovoltaico y sistemas de montaje considerado (Imágenes obtenidas desde internet)**

Respecto a los sistemas de independencia energética, se ha considerado un período de autonomía de 10 días (RELi, 2016) con un factor de seguridad de x3, lo que fija una cantidad de 30 días en total. Para ello, se ha estimado preliminarmente una cantidad aproximada de 270 baterías de 3000 Ah (10) para ser utilizado como sistema UPS (Uninterruptible power supply) de los paneles fotovoltaicos. Considerando que cada batería ocupa 0,12 m<sup>2</sup> de superficie, se considera necesario contar con una superficie total de al menos 32 m<sup>2</sup> para su instalación. Si el sistema de almacenamiento de energía fotovoltaica llegase a fallar o a verse afectado por el evento crítico, se podría considerar como sistema de respaldo un generador estacionario para una potencia mínima requerida de 18 KVA (10)

con cápsula de insonorización (11). Los modelos disponibles en mercado chileno tienen un consumo de diésel aproximado de 5 lt/hr al 75% de rendimiento, lo que para un periodo de autonomía de 30 días, da un total de 1200 lt. de combustible que pudiera encontrarse almacenado en un estanque de combustible, con dosificador, con capacidad de 1500 lts (12).



**Figura 5.14: Sistemas de respaldo de energía considerados (Imágenes obtenidas desde internet)**

### 5.5.2 Provisiones de emergencia.

Respecto de las provisiones de emergencia, se deberán considerar al menos almacenamiento de agua, comida, materiales de higiene y suministros médicos tanto de primeros auxilios como de medicamentos básicos.

Respecto del almacenamiento del agua, se considera la ocupación total de albergados respecto del funcionamiento de la escuela bajo el PO3, que es de aproximadamente 220 personas. Para un período de autonomía de 30 días, y considerando un consumo de 20 lts/día-pers en contexto de catástrofe (OMS, 2013) se necesita una cantidad total de 132.000 lts de agua almacenada. En el mercado chileno, se pueden encontrar estanques de 40.000 de capacidad (13), por lo que sería necesario contar con cuatro de estos estanques para almacenar el agua estimada como necesaria. Considerando que cada estanque tiene un área de base de 9,2 m<sup>2</sup>, se necesitaría una superficie de aproximadamente 37 m<sup>2</sup> para su instalación. Se deberá considerar, además una bomba para asegurar la presurización del suministro, en caso de que los estanques se encuentren bajo el nivel del artefacto sanitario de salida. Los estanques podrán estar divididos en aguas para consumo y

agua para operaciones; estos últimos podrán estar conectados al sistema de recolección de aguas lluvias de la techumbre.



**Figura 5.15: Izq: Tanques de almacenamiento de agua considerado (Imagen obtenidas desde internet)  
Der: Provisiones alimentarias recomendadas en situaciones de catástrofe (FEMA, 2018)**

El almacenamiento de comida se realizará en base a la lista de alimentos establecida por el FEMA (2018) en contextos de catástrofes (11). En general se deberá considerar calcular provisiones para la cantidad máxima de albergados por el período de autonomía establecido, en base a alimentos enlatados y no enlatados, estos últimos deberán ser almacenados en contenedores plásticos (12). También se recomienda almacenar comida liofilizada (13), en caso de que el contexto impida preparar comida. El aporte nutricional en términos calóricos que deberían satisfacer estos alimentos es de 1400-1800 kcal para niños y 1800-2200 kcal para adultos (INTA, 2006). En este caso, como el edificio es un establecimiento educacional donde se preparan alimentos para los estudiantes, se podría considerar un sistema de rotación para la utilización de alimentos perecibles, con el fin de reducir la merma. Alimentos en mal estado podrían ser utilizados para la producción de compostaje y/o humus.



**Figura 5.16: Implementos y suministros de emergencia considerados para almacenamiento (Imágenes obtenidas desde internet)**

Respecto de los suministros de limpieza y primeros auxilios, se recomienda la adquisición de kits de supervivencia para contextos de catástrofes, los que ya vienen preparados y contienen la mayoría de los implementos necesarios para una cantidad determinada de horas. En Chile, los kits de supervivencia existentes en el mercado contienen lo necesario para un máximo de 72 horas, lo que significaría que para un período de autonomía de 30 días se necesitarían 10 kits, requiriéndose en este caso, un total de 2180 kits para la totalidad de los albergados.

### 5.5.3 Sistemas y equipamiento de Seguridad y Protección (SYP)

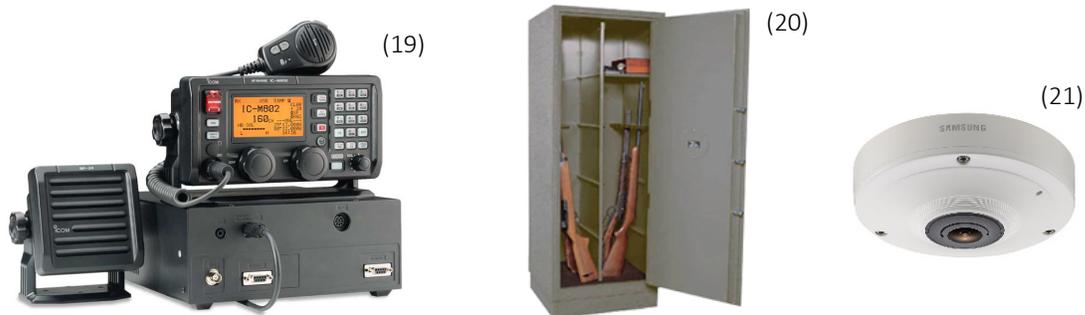
Para la seguridad de los usuarios regulares y/o albergados en el establecimiento se debería considerar inicialmente el set completo de señalización de vías de evacuación, zonas seguras, extintores, con información en español, en inglés y en un idioma ancestral; además debe considerar exponer información en braille (RELi,2018) (15). En segundo lugar, se debiese contemplar un sistema de alarmas completo en el edificio, con sensores de tacto en puertas y ventanas operables (16) y sensores de movimiento en los espacios (17), principalmente en aquellos que no son aptos para el público en general como sala del generador, sala de UPS y bodegas de provisiones de emergencia. Se debería considerar además, sistemas de alarmas sonoras (18). para incendios o catástrofes accionadas tanto manualmente, como conectadas a un sistema de alerta público.

Si el edificio contara con Redes contra incendio (RCI) se deberán considerar sprinklers accionados por detectores de humos. En general, el prototipo fue diseñado utilizando estrategias de protección pasiva a los incendios, a través de la compartimentación de los espacios y de los niveles



**Figura 5.17: Implementos de seguridad considerados en el edificio (Imágenes obtenidas desde internet)**

Respecto a los sistemas de protección, se ha considerado en el prototipo una sala de comunicaciones de emergencia con antena, por lo que primeramente se deberían incorporar todos los sistemas de radiocomunicaciones y de comunicación portátiles en frecuencia VHF (19). Se podría considerar también, que en la sala de radio exista un estante armero de seguridad (22) empotrado al suelo y al muro donde se mantenga al menos un arma con sus municiones, a las que solo puedan tener acceso las FF.OO.PP. o FF.AA. y se utilicen en contextos extremos, donde los albergados necesiten de mayor protección. Por último, se considera un circuito de televisión cerrado (CCTV) con pantallas dentro de la sala del guardia para la observancia de los interiores de los recintos a través de cámaras domo o *fish eye* (21), instaladas principalmente en los halls y espacios como comedores y gimnasios del edificio.



**Figura 5.18: Implementos de protección considerados en el proyecto (Imágenes obtenidas desde internet)**

Por último, se han incorporado a todas las ventanas y puertas del edificio, excluidas las ventanas vinculadas a las repisas solares, cortinas metálicas operadas automáticamente y que se cierran por la noche, o en casos críticos donde los usuarios y/o albergados en el establecimiento necesiten hermeticidad máxima. A través del uso de estas cortinas, además, se podrá regular el ingreso del exterior a los diferentes bloques según el régimen de operación bajo el que esté funcionando. La ubicación de estos equipamientos en el edificio es posible de observar en la Figura 5.19.



## 5.6 Evaluación incorporación de criterios en proceso de diseño

Para la elaboración de este prototipo se han considerado 16 de los 26 criterios totales. No se han considerado los criterios relacionados al sitio de emplazamiento y contexto urbano, ya que, el prototipo no considera un sitio de emplazamiento específico. A continuación se evalúa de manera cualitativa la incorporación de estos criterios en el proceso de diseño del prototipo, analizando de qué manera fueron aplicados y qué resultados fue posible obtener a partir de ello.



**APLICACIÓN:** La seguridad estructural es posible de lograr mediante el cumplimiento de la norma chilena de diseño sísmico, sin embargo la seguridad térmica resultó más compleja. En el caso del prototipo se determinó utilizar el estándar Passivhaus, lo que si bien permitió prescindir de las cargas de calefacción, por consecuente reducir la demanda energética, no resultó tan bien para el edificio cuando debía operar en emergencia sin HVAC, presentando el 99% de las horas de ocupación fuera del requerimiento de RELi. En conclusión el estándar Passivhaus resultó bien en términos térmicos para el uso principal de escuela pero no para el uso alternativo como CCE.

**RESULTADO:** De aplicarse este estándar en edificios con uso alternativas de CCE se deberán considerar equipamientos alternativos de enfriamiento, como ventiladores o de frentón utilizar el sistema de enfriamiento, al menos para las horas de ocupación. Como conclusión el prototipo no cumplió en términos de seguridad térmica, lo que ocurrió porque se determinó utilizar este estándar pensando más en su operación como colegio que como CEE, donde debe funcionar de manera pasiva.



**APLICACIÓN:** La utilización de los materiales y sistemas constructivos en la elaboración del prototipo respondió mayormente al desempeño en términos térmicos que a la dimensión de impacto ambiental. Se decidió por una construcción mixta en base a concreto armado y a un sistema modular de paneles SIP para la mayoría de los recintos habitables, donde se decidió incorporarle un alma de celulosa que es material aislante común en Chile. Este último sistema satisface el requerimiento de flexibilidad y reparabilidad y el concreto por durabilidad, sin embargo no se sabe con certeza los indicadores de impacto ambiental de estos dos en Chile. Los materiales del prototipo, además, obedecieron en gran medida a alcanzar los requerimientos de Passivhaus.

**RESULTADO:** Es difícil encontrar materiales que reúnan condiciones de bajo impacto ambiental y resistencia, sin embargo es posible que el bambú, como tecnología constructiva, cumpla en gran medida ambos requerimientos. Es posible intentar reducir también, el impacto ambiental de los sistemas constructivos a partir de uno de sus componentes, en el caso del sistema SIP, integrando núcleos aislantes de materiales ecológicos.



**APLICACIÓN:** En general, se utilizaron las formas recomendadas en los criterios de diseño en relación con formas regulares y orientadas al norte, levantadas del suelo en al menos 1,0 m. La estrategia de forma con mayor importancia fue la de separar el edificio en dos bloques, ya que repercutió directamente con el funcionamiento del edificio. Respecto al interior, se incorporó la posibilidad de ampliar algunos espacios en caso de requerirse en contexto de emergencia, y bodegas para guardar los implementos escolares. Otro aspecto que se integró fue cortinas de seguridad en todas las aperturas del prototipo. Se indagó también, en la respuesta que puede dar el edificio a contextos críticos a través de sus equipos y sistemas que tributan al confort interior ambiental. En este sentido se desarrollaron diferentes calendarios y perfiles de operación que regían el funcionamiento en condiciones normales y eventos críticos.

**RESULTADO:** Fue posible determinar que la adaptabilidad del edificio no sólo está vinculada a las variaciones morfológicas que pueda tener, sino también a la capacidad de adaptar y dar respuesta a través de los sistemas y equipamientos que determinan su operatividad. Respecto de la transformación física se determinó que, en general necesitan en general dispositivos con mecanismos que permitan variar los espacios, aperturas o la misma volumetría del edificio.



**APLICACIÓN:** No se consideró de gran manera la utilización de vegetación y áreas verdes en el prototipo final, sin embargo si se incorporó en la elaboración del prototipo conceptual, donde se incorporaron barreras vegetales para detener impactos de flujos aluvionales o inundaciones, respetando el distanciamiento para evitar la propagación de un incendio forestal hacia el edificio. Además, se incorporaron espacios para la producción de comida que podrían funcionar comunitariamente y servir como la barrera más cercana al edificio.

**RESULTADO:** En contextos geo-climáticos como el del valle central de Chile, donde existe riesgo de inundaciones e incendios forestales por igual, para la utilización de vegetación es indispensable conciliar su utilización como barrera natural versus su riesgo ante el fuego. Por otro lado, la producción de comida en este caso se realizó en espacios a ras de suelo, considerando el contexto agropecuario de la zona, sin embargo, se podrían utilizar sistemas de cultivo hidropónicos que no queden inutilizables si llegase a existir una inundación.



**APLICACIÓN:** Pensando en que la escuela estará en un contexto rural donde podrían no existir equipamientos de este tipo, se ha incluido en el programa de la escuela una biblioteca, un auditorio y un gimnasio techado, con un tamaño mayor al requerido considerando que pueda ser utilizado también por la comunidad. De igual manera se han integrado lugares que se proponen como espacios públicos, los que se han ligado con la seguridad, ya que se podrían utilizar también como sitios seguros, puntos de encuentro y de rescate en caso de emergencia. Si el espacio público proyectado en estos sitios es de calidad, será un punto de referencia para la comunidad, por lo que será fácilmente reconocible también para ser utilizada como zona segura.

**RESULTADO:** Es posible diseñar los espacios circundantes del edificio como espacio público que pueda ser utilizado tanto por los usuarios del edificio como por la comunidad. Si se considera, además que estos lugares se encuentran protegidos por barreras vegetales, están en altura, o se encuentran dentro del anillo de protección de incendios forestales, se podrían utilizar como zonas seguras, que sirvan de lugares de encuentro y/o de rescate, lo que se posibilita más considerando que, en contextos rurales edificios de equipamientos como la escuela o la iglesia son sumamente significativos para la comunidad y constituyen un punto de referencia dentro del territorio.



**APLICACIÓN:** Este fue quizás uno de los aspectos que recibió mayor atención dentro del proceso de diseño. Si bien es cierto no se consideraron otras estrategias pasivas de diseño más que protección solar, considerando el contexto climático del valle central, se puso énfasis en la obtención del estándar NZEB, para lo que se utilizó el estándar Passivhaus en términos de construcción. En este sentido fue posible lograr la demanda energética el número de horas en confort requeridos, la que fue posible de cubrir con la utilización de

paneles fotovoltaicos, hecho no exento de cuestionamiento ya que se necesitaron más de 300 paneles solares y baterías. Sin embargo, este cumplimiento puede ser engañoso en términos de demanda total. En el caso particular del prototipo, la demanda por enfriamiento constituía menos del 30% de la demanda total del edificio, siendo mayormente ocupada por cargas relacionadas a los equipos. En este sentido, Passivhaus considera solo cargas de calefacción/enfriamiento sobre m<sup>2</sup>, y, considerando que en el prototipo diseñado solo algunas áreas se encontraban acondicionadas, funcionaban bajo una programación estricta HVAC y el prototipo tenía sobre 1000 m<sup>2</sup> de superficie construida, no era tan complejo de lograr.

**RESULTADO:** En este caso, lograr el estándar passivhaus sólo implicó el ahorro de la demanda por calefacción, sin embargo dispara la de enfriamiento, sobre todo en el contexto climático donde se simuló el edificio. El edificio es enormemente más demandador en términos de energía en contexto de emergencia debido a un periodo de funcionamiento de los equipos más prolongado, ya que se consideraron operativos al 100% por 12 horas al día, versus las 8 del edificio educacional, lo mismo con la iluminación. Otras características, incluso se consideraron como 24/7 en la programación. Para que el edificio sea energéticamente independiente mediante la generación de ERNCs es necesario que cuenten con grandes superficies donde instalar paneles fotovoltaicos, con una orientación adecuada. Considerando la cantidad de equipos y elementos se obtuvieron como resultado del predimensionamiento, es posible determinar que una autonomía de 30 días quizás sea demasiado, por lo que se podría revisar cuanto tiempo en promedio pasa una persona albergada en Chile. Posiblemente el estándar de FEMA de 10 días es suficiente.



**APLICACIÓN:** El sistema de respaldo energético tiene tal importancia que llevó a determinar la utilización de un tercer bloque solo para su instalación y el acopio de gasolina. Si bien, la quema de combustible para obtener electricidad no es muy adecuada en el contexto de la sustentabilidad, se utilizaría solo como última opción, en caso de que el sistema fotovoltaico falle. El equipo generador y el estanque almacenador de combustible se predimensionaron para 30 días de autonomía y se instaló según las recomendaciones de distanciamiento de FEMA por explosión en caso de incendio forestal.

**RESULTADO:** Contar con un *backup* de energía es fundamental si el fin del edificio es mantener la funcionalidad con el fin de contribuir a la recuperación de la comunidad. Sin embargo, si se considera que el edificio también tenga características de sostenibilidad, la utilización de este medio debería ser como última opción. Es necesario que la instalación del motor y del estanque tengan acceso vehicular para la carga.



**APLICACIÓN:** Respecto de los sistemas de gestión de aguas, se consideró que el edificio es muy pequeño para tener una planta de tratamiento, sin embargo se puede considerar la incorporación de artefactos con recuperación y reutilización de aguas grises. Se consideró el acopió de agua para 30 días de autonomía, los que se instalaron sobre el edificio de modo que, si llegase a fallar la bomba impulsora, pueda funcionar por gravedad. Esto determinó cambiar la materialidad de la caja de escaleras de paneles SIP a concreto. Es posible además que uno de los estanques funcione para acumular agua de lluvia u almacenamiento de aguas grises, y el otro con agua potable. Se determinó un consumo de 20 lt. por persona, que es lo recomendado por la OMS en contexto de emergencia, siendo 3 de ellos exclusivos para bebida. Si el agua se encuentra en lo más alto del prototipo, la comida y los implementos de higiene y primeros auxilios se encuentran en el subterráneo. Se consideraron kits preparados y comida enlatada para también 30 días de autonomía. En relación con la disposición de estos recursos bajo el nivel del suelo, FEMA recomienda la no utilización de subterráneos en caso de tsunami, por lo que en esta zona se podría utilizar. Esto es una de las variables que cambia en los prototipos entre distintas zonas. Si bien las ventanas están a 1,30 m respecto del piso, se debería considerar un sistema de hermetización en caso de que la inundación alcance niveles superiores, esto se podría lograr mediante el uso de las mismas cortinas metálicas que se han instalado como protección.

**RESULTADOS:** En el prototipo fue imprescindible la incorporación de bodegas y almacenes que se utilizan no sólo para las provisiones de emergencia, sino también para guardar el mobiliario de la escuela cuando se utilice como albergue. Esto es importantísimo para cuidar los bienes materiales del edificio educacional. El poner los estanques a tanta altura permite su funcionamiento por gravedad pero dificulta el llenado. De todas maneras el estanque debería estar conectado directo a la red pública,

de manera de ir utilizando el agua que se acopia y no mantenerla almacenada durante periodos largos de tiempo.



**APLICACIÓN:** Aparte del espacio de shafts que se ha considerado con ductos de basura que deberían estar separados por tipo de residuo, no se consideró un sistema mayor de gestión de estos. Sin embargo, siempre se podría considerar generar sistemas de compostaje o elaboración de humus con los residuos orgánicos provenientes de la cocina, con el fin de obtener abono para los huertos comunitarios. Respecto de los residuos como papeles y cartones, sería necesario que la escuela conviniera con una empresa su retiro.

**RESULTADOS:** En términos de políticas de las instituciones operadores de los edificios, como por ejemplo, políticas de gestión de residuos, es posible afirmar que el diseño solo puede abordarlo proveyendo de espacios aptos para su implementación, en esta caso, ductos de residuos diferenciados y salas de acopio de basura.

## 5.7 Conclusión

En general se puede concluir que la sustentabilidad y la resiliencia pueden ser sumamente similares y vinculables en la teoría, sin embargo en esta experiencia de diseño, se pudo determinar a través la existencia de una serie de momentos en donde se debió priorizar una sobre la otra, que sustentabilidad y resiliencia no están inherentemente integradas en el contexto de las edificaciones y es a lo que se refieren los autores cuando indican que se deben realizar esfuerzos para hacer convergentes ambos conceptos, ya que en muchos aspectos parecen seguir objetivos completamente diferentes.

En términos de aplicación de los criterios elaborados, resultaron ser sumamente posibles de incorporar al diseño de edificios, sin embargo la evaluación que se realizó de este proceso logró detectar que existen aspectos donde no es posible abordar sustentabilidad y resiliencia simultáneamente, al menos con los medios con los que se cuenta aquí en Chile. Un ejemplo de esto es la materialidad, ya que los sistemas constructivos más resistentes, por lo general utilizan, materiales con baja certeza de indicadores de impacto ambiental. Un camino para disminuir esto sería incorporar al menos un componente que tuviera buenos indicadores en términos de impacto. En este caso, se utilizó celulosa para el alma de los paneles SIP por su disponibilidad en nuestro país, sin embargo podría bien haberse utilizado cáñamo, paja, arcilla u otro material con indicadores de

impacto ambiental menores. Por otro lado, existen aspectos que se integran de buena manera. La utilización del estándar NZEB integra aspectos de resiliencia y sustentabilidad aplicable a los edificios. Por un lado un edificio NZEB, es energéticamente independiente, posible de operar en caso de corte en el suministro de energía producto de un evento crítico; por otro la demanda cero se debe lograr a través de la incorporación de generación de ERNC y estrategias pasivas y bioclimáticas.

En el proceso de elaborar un prototipo de edificio que alcanzara el estándar NZEB, se pudo determinar que un aspecto fundamental, además de la capacidad del edificio de resistir y absorber los impactos de los eventos críticos, es también la capacidad de respuesta y adaptación al contexto crítico. En el campo de las edificaciones se ha podido observar que el primero de estos aspectos está ligado con la resistencia estructural y material de los edificios y el segundo se podría entender también desde de la dimensión física, a través de variaciones morfológicas tanto en el cuerpo del edificio como en los recintos interiores. Sin embargo, a través del presente estudio fue posible establecer un vínculo entre respuesta-adaptación al evento crítico y la operatividad de las edificaciones, en términos de la ocupación de los espacios y los sistemas activos. Con ello fue posible determinar que la capacidad de respuesta y adaptación del edificio no solo está relacionado con sus características físicas, sino también con sus regímenes funcionamiento y operación, lo que permite ampliar el enfoque actual de resiliencia en edificios, ya que posibilita explorar la incorporación de este concepto respecto de las condiciones de habitabilidad al interior de las edificaciones; condiciones de habitabilidad que, por cierto, están orientada a la recuperación de la comunidad que es usuaria del edificio.

La incorporación de los requerimientos de construcción procedentes del estándar Passivhaus tenía como fin reducir las cargas de HVAC de modo de alcanzar el estándar NZEB. Si bien se logró un desempeño energético y térmico dentro de lo requerido dentro del período de operación normal del edificio, esto no se repitió durante la operación en período de emergencia, donde se obtuvieron horas de discomfort en un 99% de las horas de ocupación. Esto se debió a que en la priorización de utilización de energía en escenarios de emergencia se prefirió que la producida por fuentes de ERNC se utilizara para funcionamiento de sistemas de seguridad e iluminación, por lo que no existen sistemas de HVAC operativos. Debido a la falta de sistemas de enfriamiento, la mayoría de las horas de discomfort se deben a sobrecalentamiento de los espacios interiores, lo que quiere decir que el edificio no es confortable de manera pasiva. En términos prácticos esta situación se podría

solucionar mediante la utilización de ventilación natural y otros implementos como ventiladores de pared o de techo, sin embargo, el estándar Passivhaus por sí solo no fue satisfactorio en términos térmicos pasivos durante el régimen de emergencia.

Considerando que gran parte de la demanda energética que se obtuvo como resultado de la simulación responde a equipos y que, durante la etapa de emergencia, su funcionamiento es sumamente necesario respecto de comunicaciones, iluminación, información, se deberían considerar adquirir equipos eficientes en los edificios que presten un uso alternativo ante catástrofes. Este puede ser otro aspecto no explorado, que la sustentabilidad y resiliencia. En el contexto del cambio climático y el aumento de los desastres naturales, fijar parámetros como cuáles son los equipos que debiesen funcionar en situación de emergencia, cuánta energía deberían consumir y cuáles son las prestaciones mínimas que se esperan de ellos, o incluso cuántas kcal debería consumir un humano en situación de albergado, es sumamente necesario para comenzar no sólo a diseñar edificios más responsivos sino también a construir comunidades más preparadas.

## Capítulo 6. Conclusión

### 6.1 De la hipótesis y los objetivos

A partir del cumplimiento del objetivo general, los objetivos objetivos establecidos y de la metodología propuesta, el presente trabajo arrojó dos *outputs* que pueden ser utilizados como herramientas de diseño para cualquier tipo de edificación.

Del primer objetivo se obtuvo una zonificación de riesgos de Chile con 12 diferentes zonas, según los distintos desastres naturales a los que se exponen, siendo la más crítica de ellas la zona correspondiente al valle central chileno que además, es donde se encuentra la mayor cantidad de personas y las ciudades más importantes ya que concentran los centros gubernamentales y económicos del país. Por otro lado, hacia los extremos sur y norte, las ciudades en Chile se encuentran expuestas a un menor número de desastres. De lo anterior es posible concluir que la incorporación de criterios de resiliencia en lo particular de las edificaciones pertenecientes a las zonas centrales de Chile resulta indispensable considerando el grado de exposición que posee y la importancia que reviste para el resto de país al constituir al encontrarse la capital política y económica nacional. En este sentido, y considerando que en eventos de catástrofes las decisiones que determinan la ayuda que se envía a las zonas afectadas son tomadas en estos centros urbanos, contribuir a aumentar la resiliencia de las ciudades que constituyen centros neurálgicos en Chile favorece en alguna medida, al aumento de la resiliencia del país completo, agilizando la toma de decisiones, el envío de asistencia a zonas afectadas, entre otros. Sin embargo, es necesario no sólo concentrarse en el desarrollo de los grandes centros urbanos; aumentar la resiliencia en ciudades más pequeñas o en localidades expuestas a desastres naturales es indispensable para reducir las pérdidas materiales y humanos que se puedan generar en ellos.

Del segundo objetivo específico fue posible obtener un segundo *output* consistente en el sistema de criterios de diseño +RESILIENTE +SUSTENTABLE el que se utilizó en el diseño del prototipo de edificio educacional. La revisión y elaboración de este sistema permitió comprobar la hipótesis y el objetivo general que se establecieron en el trabajo, pudiendo explorar e identificar diferentes lugares de encuentro que poseen resiliencia y sustentabilidad en el campo del diseño de las edificaciones. Considerando que de la revisión literaria se identificaron 4 aspectos en las

edificaciones donde era posible establecer una relación entre sustentabilidad y resiliencia y que el sistema de criterios de diseño quedó constituido por 26, es posible concluir que, al menos desde un punto de vista teórico, ambos conceptos son muy posibles de compatibilizar en el contexto de las edificaciones y que sí es posible determinar criterios de diseño donde ambos conceptos se integre, comprobando la primera mitad de la hipótesis.

Si bien el tercer y cuarto objetivo específico no estaban dirigidos a obtener una herramienta que apoyara el diseño de edificios, permitió la utilización de las dos anteriores con el fin de evaluar su capacidad de aplicación. En términos generales, fue posible determinar que ambas herramientas son perfectamente aplicables al proceso de diseño funcionando como directrices estrictas a seguir o como recomendaciones a considerar, concluyendo que esta herramienta podría utilizarse en edificios no sólo educacionales si no de otros ámbitos, incluso habitacionales, para ello sería necesario definir cuáles criterios son aplicables a cada tipología. Respecto a la arquitectura del prototipo, la separación del edificio en dos bloques resolvería el problema programático que significa mezclar un albergue con el colegio, sin embargo es necesario contar con la logística necesaria que permita adecuar los espacios interiores a estos diferentes usos. Es posible concluir entonces que la resiliencia en edificaciones no sólo depende de la infraestructura, sino también de las políticas respecto de la gestión de los espacios interiores del edificio, donde ambas dimensiones deben apoyarse mutuamente. En este sentido, edificios resilientes deberían contar con las condiciones de infraestructura que posibiliten la implementación de una gestión de los espacios al interior del edificio que permitan transformarlo con rapidez en caso de eventos críticos; por ejemplo, contar con suficientes bodegas para almacenar mobiliario escolar con el fin de disminuir su daño mientras la escuela se utilice como albergue; las mismas bodegas deberían que almacenar el mobiliario necesario para este régimen de funcionamiento.

En lo particular del cuarto objetivo específico, la evaluación arrojó que es posible obtener un edificio que funcione energéticamente en base a la generación de ERNC en caso de emergencia, con lo que se pudo comprobar la segunda mitad de la hipótesis. sin embargo, al considerar la cantidad de equipos involucrados en esta iniciativa y sus costos plantea la pregunta de qué tan conveniente en términos financieros es la implementación de este principio de funcionamiento en los edificios. Lo anterior trae consigo la misma pregunta que se planteó en la conclusión del capítulo anterior acerca de si la economía es parte de la resiliencia. En términos generales, en el ámbito de los desastres naturales se establece el tópico del ahorro en reconstrucción que implicaría construir edificios

resilientes, sin embargo la inversión en construcción y operación de estos edificios es alto, sobre todo considerando incluir las mantenciones a equipos que no se tiene certeza cómo y cuándo se utilizarán, es decir que no están dando utilidad inmediata. Considerando lo anterior ¿es conveniente económicamente para el país tener un parque de edificaciones de estas características? Es posible que desde un punto de vista puramente financiero no, sin embargo, es preciso agregar a esta ecuación el factor del interés social que puede tener el estado respecto de estos edificios.

## 6.2 De la integración de resiliencia y sustentabilidad en edificaciones

### Aproximación teórica versus práctica

A partir de la revisión de literatura se obtuvo que sustentabilidad y resiliencia son dos conceptos posibles de incorporar de manera integrada a las edificaciones. Sin embargo, a través de la experiencia que significó el proceso de prototipación, fue posible determinar que la integración de ambos conceptos en el diseño de un edificio, en términos prácticos, constituye un desafío debido a que en algunos aspectos y etapas del diseño, sustentabilidad y resiliencia parecieran seguir objetivos totalmente distintos, lo que dificulta integrarlos, haciéndose necesario tener que priorizar una por sobre la otra. En este sentido la elaboración de criterios de diseño resulta menos compleja que la aplicación de esos criterios al diseño de un edificio.

En este caso en particular, algunos aspectos relevantes donde la integración de ambos conceptos resultó de mayor complejidad fueron:

- La materialidad del edificio ya que, en general, los sistemas constructivos más robustos, como son hormigón armado y acero, tienen un mayor impacto ambiental que construcciones livianas de madera. Últimamente se ha valorado la utilización de la madera de bambú en construcciones de carácter antisísmico, lo que, considerando su menor impacto ambiental, podría constituir una posibilidad de integración entre sustentabilidad y resiliencia en el campo de los materiales.
- Combustibles a ocupar para equipos de respaldo energético del edificio. Los criterios de resiliencia requieren la existencia de un equipo de generación eléctrica en caso de que el sistema primario, en base a ERNC, falle. Se incorporó al prototipo el que se utiliza más recurrentemente en Chile para estos efectos, que consiste en grupos electrógenos a base de diésel. En general, estos equipos además de utilizar energéticos de alto impacto ambiental contaminan no sólo la atmósfera si no también acústicamente, por lo que no cumplirían el ámbito de la sostenibilidad.

- Desempeño térmico durante la emergencia. Si bien, la adopción del estándar *passivhaus* permitió la obtención del resultado requerido por el estándar en términos de horas de confort, esto ocurrió sólo en durante el régimen de funcionamiento normal. Funcionando en emergencia, no fue posible alcanzar el requerimiento que establecían los criterios de diseño, presentando sobrecalentamiento durante la mayoría de las horas de ocupación, esto debido a la constitución material de la envolvente y una mayor densidad ocupacional.

Por otro lado, en la incorporación de otros criterios, como el de paisajismo resiliente o el de independencia energética mediante ERNC, fue posible integrar ambos conceptos con menor dificultad. Esto posiblemente se deba a que a través de una misma solución o elemento, se pudieron cubrir los requerimientos de ambos conceptos. En este sentido, se puede determinar que la integración de sustentabilidad y resiliencia en el proceso de diseño consiste en la proposición – o elaboración - de soluciones que satisfagan los requerimientos de ambos conceptos.

A partir de lo anterior, se pudo corroborar lo obtenido a partir del marco teórico, donde el vínculo entre sustentabilidad y resiliencia no es inherente y depende del contexto en el que se desarrolle. Sin embargo, a pesar de no estar vinculados de esta manera, son conceptos complementarios; es decir, que es posible ponerlos a dialogar. Muy probablemente cuando los autores indican que es necesario *realizar esfuerzos* para hacer convergentes ambos conceptos, es posible que se refieran no sólo a realizar vinculaciones en términos teóricos, sino también en términos prácticos relacionados con el desarrollo de soluciones concretas donde se incorpore esta convergencia. En este sentido, la integración de sustentabilidad con resiliencia en el campo de las edificaciones plantaría la pregunta acerca de en cuáles aspectos de las edificaciones es posible, hoy en día, vincular concretamente ambos conceptos, a través del desarrollo de soluciones constructivas, de equipamientos u otras áreas ligadas a los edificios.

#### Del enfoque físico al enfoque operativo

A través del proceso de elaboración de criterios y prototipación, fue posible determinar que una característica importante a incorporar en las edificaciones para hacerlas más resilientes y sustentables es que sean susceptibles a modificaciones. A esta cualidad se le denominó *flexibilidad* y está relacionada con la capacidad que deberían poseer los elementos que constituyen el edificio, para responder y adaptarse a diferentes contextos, entre ellos los eventos críticos. En este sentido, la adaptación y respuesta a eventos críticos no estaría enfocada sólo en la transformación

morfológica de las edificaciones si no también en su funcionamiento a través del diseño de espacios habitables susceptibles a transformar y la incorporación de sistemas y equipamientos que puedan ser programados con el fin de ser utilizados en diferentes situaciones.

A partir de lo anterior, es posible ampliar el enfoque actual de resiliencia en las edificaciones, que corresponde a un enfoque físico donde se consideran aspectos más bien relacionados con la resistencia y durabilidad de los elementos, a un enfoque *operativo* donde se incorporan los conceptos de responsividad y adaptabilidad en términos arquitectónicos, en sistemas y equipamientos, y en todos aquellos aspectos ligados a la operación del edificio. En lo particular de esta tesis, el funcionamiento del edificio en contexto de crisis se relacionó con la independencia energética a través del estándar NZEB, por lo que la flexibilidad fue analizada desde el punto de vista de la operatividad de los sistemas activos y el desempeño energético del edificio asociado a ellos, siendo necesario plantear perfiles y escenarios de funcionamiento. Con lo anterior se pudo concluir que es posible incorporar la condición de flexibilidad de los edificios a través de la priorización en el uso de sistemas activos y la adaptación de sus espacios interiores para responder a los requerimientos programáticos y de condiciones de habitabilidad que se suscitan en contexto de emergencia. A través de lo anterior es posible reconocer que en este campo, la resiliencia no constituye solo un fenómeno físico estructural, sino que también es necesario abordarlo a través de consideraciones respecto a las condiciones de habitabilidad al interior de los edificios.

En este sentido, la integración de resiliencia y sustentabilidad en las edificaciones está sumamente ligada al concepto de **flexibilidad**, entendido como la condición que le permite a algo adaptarse siendo susceptible a cambios o variaciones según las circunstancias o necesidades. A partir de la experiencia de diseño del prototipo es posible determinar que la flexibilidad se puede integrar a los edificios a partir de:

- Mecanismos que activan prestaciones que permitan funcionar al edificio o a sus elementos en un contexto diferente al regular, por ejemplo, en este caso se utilizó el accionamiento de rollos de cortinas de acero en aperturas, biombos que permiten ampliar los recintos, entre otros.
- Objetos y elementos involucrados en el funcionamiento del edificio que sean posibles de mover sacar, guardar y volver a poner con el fin de adaptarse al nuevo contexto, en este caso lo contrario a flexibilidad son elementos fijos.

- La elección de equipos y dispositivos posibles de manipular y que puedan ofrecer diversas funciones para elegir, por ejemplo equipos de HVAC con posibilidad de programarse para ciertos horarios, equipos con diferentes prestaciones, entre otros. En general todos los mecanismos que permitan pasar al edificio de un estado de funcionamiento a otro.

En el marco del cambio climático y el aumento de desastres naturales, dotar a los edificios con características de flexibilidad ayudaría a aumentar su capacidad de respuesta ante eventos críticos y a adaptarse a este contexto, con el fin de contribuir al proceso de recuperación de las comunidades que los rodean.

#### Eficiencia energética en funcionamiento de edificios en contextos de emergencia

A partir de la priorización de los requerimientos energéticos del edificio para funcionar en régimen de emergencia se pudo establecer que la energía generada por los sistemas fotovoltaicos debería ser utilizada, primeramente, para la operatividad de equipamientos de emergencia e iluminación, razón por la que el análisis energético realizado al edificio arrojó que la mayor demanda energética estaba asociada a cargas de esta naturaleza. En este sentido, y siguiendo el concepto de flexibilidad, un aspecto importante para lograr que los edificios sean energéticamente eficientes, aún utilizando ERNC, es la consideración de equipamientos e iluminación con bajo consumo de energía. Sin embargo, en este caso, dentro de los equipamientos priorizados para la operación en emergencia, no se consideraron equipos de climatización, por lo que los equipamientos a los que se hace mención son aquellos de emergencia como alarmas, equipos de comunicación, como radios, señales de televisión e internet, almacenamiento de datos y equipos de monitoreo como son cámaras de vigilancia y CCTV.

En general, se considera importante que en la incorporación de este tipo de equipamiento se consideren aquellos que sea posibles programarlos, o cuenten con diferentes prestaciones, para que se adapten a diferentes contextos. En este caso, a modo de ejemplo, sería deseable que estos equipamientos, al momento de la emergencia, pudieran prescindir de algunas prestaciones utilizadas en el régimen de funcionamiento normal del edificio, para mantener solo algunas básicas necesarias para sobrellevar el contexto, con el fin de reducir la demanda energética, contribuyendo a requerir menos equipamientos de ERNC, ocupar la energía producida por las ERNC en otras áreas de menor prioridad como son los equipos de HVAC o, en último caso, obtener una mayor cantidad de excedentes para ser compartida con la comunidad.

Con el fin de absorber la demanda energética de la totalidad de las prestaciones de los equipamientos, el edificio podría funcionar en régimen normal de operación como nZEB, conectado a la red pública de energía para cubrir la demanda que no sea capaz de satisfacer con los sistemas de ERNC. En caso de emergencia y de un corte en el suministro de energía el edificio funciona como NZEB, alimentado por las fuentes de ERNC. Por último de llegar a fallar todo lo demás, el edificio cuenta con el sistema de respaldo compuesto por grupos electrógenos en base a combustibles diésel. En este sentido, esta mecánica de funcionamiento energético se puede considerar como flexible, ya que el edificio, en su totalidad, podría adaptar su matriz energética dependiendo del contexto en el que funcione.

### **6.3 Valor de la investigación**

Si bien la investigación concluye confirmando la información obtenida de la revisión literaria para la elaboración del marco teórico respecto a la dialéctica entre sustentabilidad y resiliencia, tiene valor por cuanto constituye una experiencia práctica de intentar integrar ambos conceptos en el ámbito de las edificaciones. Además, plantea que el concepto de flexibilidad no está en las edificaciones por sí mismas, sino en los componentes con la constituyen, lo que posibilita que el edificio pueda adaptarse y responder a las diferentes situaciones que se le exija.

Por otro lado, este estudio arroja dos outputs importantes que pueden ser utilizados en otros contextos: por un lado la zonificación de riesgos, que si bien debiese ser más rigurosa en cuanto a la localización espacio geográfica y debería utilizarse sistemas de localización GIS, se puede utilizar como herramienta inicial en el proceso de diseño de edificios para identificar los riesgos a los que expongan según la zona.

Respecto a la zonificación, durante el verano de 2019 ocurrieron fenómenos hidrometeorológicos en zonas que no estaban contempladas en la zonificación con ese tipo de riesgo, precisamente en el extremo norte de nuestro país, en la Región de Arica y Parinacota. Habrá que analizar si el evento ocurrido constituye un hecho aislado o tiene una persistencia que lo constituye como un riesgo real para la zona, con lo que se le deberían realizar algunos cambios a esta herramienta.

El segundo output es el sistema de recomendaciones de diseño, que puede utilizarse de manera consultiva, ya que constituye una revisión exhaustiva de criterios y recomendaciones de diseño para edificios en contexto de catástrofes.

Por último, la presente tesis posee un buen compendio de los requerimientos y recomendaciones de diseño para edificios educacionales en los anexos del Capítulo 6., que se realizó con motivo de la elaboración del prototipo.

## **6.4 Investigaciones futuras**

### **6.4.1 Zonificación de Riesgos**

Investigaciones futuras respecto de la elaboración de la zonificación de riesgos podrían considerar:

- Definición más precisa de las zonas expuestas a desastres naturales a través de la utilización de sistemas de geolocalización y data histórica de eventos críticos.
- Identificación e incorporación de otros desastres naturales a la zonificación de riesgos tales como sequías, heladas, fuertes vientos, remociones en masa, entre otros.
- Determinar las variaciones espacio geográficas de estas zonas respecto del cambio climático, para un número de años específicos a futuro.

### **6.4.2 Criterios de diseño +RESILIENTE +SUSTENTABLE**

Investigaciones futuras respecto al sistema de criterios de diseño para edificaciones podrían considerar:

- Definición cuantitativa de los requerimientos de aquellos criterios que componen el sistema de criterios de diseño que no lo poseen o que no se extraen desde sistemas de certificación. Debido a que los criterios abarcan múltiples áreas, es necesario establecer grupos de trabajo interdisciplinario para determinarlos.
- Elaborar e incorporar criterios relacionados con la resiliencia de edificaciones al cambio climático. En general criterios que permitan a los edificios absorber los efectos derivados de la exposición a temperaturas extremas, aumento del nivel del mar en zonas costeras, entre otros.
- Contextualizar los criterios, además de según cada desastre natural, por zona de riesgo, lo que permitiría especificar criterios como actividades productivas de alimento a incorporar en el proyecto; fuentes de ERNC más ventajosas en cada caso; especies a utilizar en barreras vegetales, entre otras.

- De la mano con lo anterior, especificar los valores térmicos de los materiales a utilizar necesarios para cada zona, con el fin de satisfacer requerimientos de confort térmicos en funcionamiento normal y de emergencia.
- Determinar criterios para el diseño, elaboración e incorporación de mobiliario, interior y urbano, en las edificaciones, que cumpla con la integración de criterios de resiliencia y sustentabilidad.

#### 6.4.3 Prototipo de Edificio Educativo

Investigaciones futuras respecto al diseño del prototipo de edificio educativo podrían considerar:

- Determinar o desarrollar materiales resistentes y de bajo impacto ambiental para ser incorporados al edificio. También se podría considerar revisar sistemas constructivos antisísmicos existentes con el fin de determinar que materiales en ellos se pueden reemplazar por otros con similares características pero con menor impacto. En este caso particular, considerar cambiar el alma de los paneles por materiales orgánicos como paja, lana, cáñamo o medallones de arcilla, lo que podría estar determinado de acuerdo con los materiales disponibles y los requerimientos térmicos de la zona en que se ubique el prototipo.
- Revisar estándares de construcción diferentes a *passivhaus*, que puedan satisfacer de mejor manera los requerimientos de confort térmico del edificio durante su operación en emergencia.
- Revisar e incorporar con mayor precisión estrategias pasivas que permitan satisfacer los requerimientos de confort térmico en regímenes de funcionamiento normal y de emergencia. Evaluar la incorporación de ventilación y enfriamiento pasivo, y/o la incorporación de elementos tales como ventiladores de techo o muro, determinando con ello las cargas asociadas al funcionamiento de estos equipos.
- Mayor integración de criterios de diseño relacionados a la accesibilidad universal al edificio, particularmente al segundo nivel. Considerar la utilización de ascensores u otros sistemas de circulación vertical.
- Revisar más exhaustivamente e incorporar de manera más específica al prototipo las características arquitectónicas correspondientes a la zona donde se emplace el edificio respecto de la morfología, materiales utilizados y elementos constructivos típicos.

## Capítulo 7. Bibliografía

- (DOE) US Department of Energy. (2015). A Common Definition for Zero Energy Buildings, (September), 22. Retrieved from [http://energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/bto\\_common\\_definition\\_zero\\_energy\\_buildings\\_093015.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/bto_common_definition_zero_energy_buildings_093015.pdf)
- 19979, L. (2004). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - [www.leychile.cl](http://www.leychile.cl) - documento generado el 08-Nov-2012.
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética-AChEE. (2012). Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos. *Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE)*, 356.
- Alarcón, John E., Franco, G. (2010). 2010 Chile Earthquake: Science and insurance also evolving.
- Aldunce, P., & Gonzáles, M. (2009). *Desastres Asociados al Clima en la Agricultura y Medio Rural en Chile*.
- Alexander, D. (2015). *Disaster and Emergency Planning for Preparedness, Response, and Recovery*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.12>
- Alliance Development Works. (2012). World Risk Report 2012. *Report. Alliance Development Works.*, 1–68. Retrieved from <https://www.ehs.unu.edu/file/get/10487.pdf>
- Attia, S. (2018). Introduction to NZEB and Market Accelerators. In *Net Zero Energy Buildings (NZEB)* (pp. 1–20). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812461-1.00001-0>
- Ayyub, B. M. (2014). Systems resilience for multihazard environments: Definition, metrics, and valuation for decision making. *Risk Analysis*, 34(2), 340–355. <https://doi.org/10.1111/risa.12093>
- Bárcena, A., Prado, A., López, L., & Samaniego, J. (2010). Terremoto en Chile Una Primera Mirada al 10 de Marzo de 2010. *Naciones Unidas, CEPAL*, 1–61.
- Berardi, U., Manca, M., Casaldaliga, P., & Pich-Aguilera, F. (2017). From high-energy demands to nZEB: The retrofit of a school in Catalonia, Spain. *Energy Procedia*, 140, 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.130>
- Berroeta, H., & Rodríguez, M. (2012). Intervención sociourbana desde la psicología ambiental comunitaria.
- Bocchini, P., Frangopol, D. M., Ummenhofer, T., & Zinke, T. (2014). Resilience and Sustainability of Civil Infrastructure: Toward a Unified Approach. *Journal of Infrastructure Systems*, 20(2), 04014004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000177](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000177)
- Brown, C., & Frichtl, A. (2013). A building that teaches. *High Performance Buildings*, 2(Winter 2013), 24–46.
- Brown, P., Daigneault, A. J., Tjernström, E., & Zou, W. (2018). Natural disasters, social protection, and risk perceptions. *World Development*, 104, 310–325. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.12.002>
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., ... Von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733–752. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- Burroughs, S. (2017). Development of a Tool for Assessing Commercial Building Resilience. *Procedia Engineering*, 180, 1034–1043. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.263>
- Cerè, G., Rezgui, Y., & Zhao, W. (2017). Critical review of existing built environment resilience frameworks: Directions for future research. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 25(May), 173–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.018>
- CITEC UBB. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Manual de*

- diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos*. Retrieved from [http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos\\_Parte1.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte1.pdf)
- Cole, R. J. (1998). Emerging trends in building environmental assessment methods. *Building Research & Information*, 26(1), 3–16. <https://doi.org/10.1080/096132198370065>
- Cole, R. J. (2005). Building Environmental Assessment Methods: Redefining Intentions. *Lca*, 2005(September), 1934–1939.
- Contreras, Y., & Arriagada, C. (2016). Reconstrucción exclusionaria . Lo comunitario y las políticas públicas en ciudades menores e intermedias chilenas afectadas por el terremoto y tsunami del Los casos de Constitución y Dichato 1. *Revista de Geografía Norte Grande*, 64: 83-107, 83–107. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000200007>
- Correa, S. (2009). Identidad y Globalización. *Revista Atenea, Universidad de Concepción*, 11–32.
- CREDEN. (2016). Hacia un Chile resiliente frente a desastres: una oportunidad. *Comisión De, Nacional Para La Resiliencia Frente a Desastres Origen Natural*, 182. Retrieved from <http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2016/12/INFORME-DESASTRES-NATURALES.pdf>
- Deng, S., Wang, R. Z., & Dai, Y. J. (2014). How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research. *Energy*, 71(2014), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.007>
- Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction-The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>
- Eid, M. S., & El-adaway, I. H. (2017). Sustainable Disaster Recovery: Multiagent-Based Model for Integrating Environmental Vulnerability into Decision-Making Processes of the Associated Stakeholders. *Journal of Urban Planning and Development*, 143(1), 04016022. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000349](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000349)
- EIRD ONU. (2004). *Vivir con riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*.
- EIRD, ONU, & UNICEF. (2016). La reducción de desastres empieza en la escuela.
- Francis, R., & Bekera, B. (2014). A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 121, 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.07.004>
- Franco, G., & Siembieda, W. (2010). Chile's 2010 M8.8 earthquake and tsunami: Initial observations on resilience. *Journal of Disaster Research*, 5(5), 577–590.
- Gaitani, N., Cases, L., Mastrapostoli, E., & Eliopoulou, E. (2015). Paving the way to nearly zero energy schools in Mediterranean region-ZEMedS project. *Energy Procedia*, 78, 3348–3353. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.749>
- Geis, D. E. (2000). By design: The disaster resistant and quality-of-life community, (AUGUST), 151–160.
- Geisse, G. (1977). Origen y evolución del sistema urbano nacional. *EURE: Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 5(14), 37–46.
- Gobierno de Chile. (2010). Plan De Reconstrucción Terremoto Y Maremoto Del 27 De Febrero De 2010, 1–47.
- Godschalk, D. R. (2003). Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136–143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136))
- Guha-sapir, D., Hoyois, P., & Below, R. (2017). Annual Disaster Statistical Review 2010: The numbers and trends. *Review Literature And Arts Of The Americas*, 1–50. <https://doi.org/10.1093/rof/rfs003>
- Hellmuth, D., Smith, K., Singer, D., & Ford, M. (2010). Nature 's Way. *High Performance Builgins*, (Fall 2010), 70–79.
- Henríquez, C., Aspee, N., & Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos

- en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 27-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000100003>
- Holling, C. S. (1973). Resilience of ecological systems. *Source: Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1973), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Hosseini, S., Barker, K., & Ramirez-Marquez, J. E. (2016). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering and System Safety*, 145, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.08.006>
- Imperiale, A. J., & Vanclay, F. (2016). Experiencing local community resilience in action: Learning from post-disaster communities. *Journal of Rural Studies*, 47, 204–219. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.08.002>
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>
- Klein, R. J. T., Nicholls, R. J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Environmental Hazards*, 5(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>
- Labaka, L., Hernantes, J., & Sarriegi, J. M. (2016). A holistic framework for building critical infrastructure resilience. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.005>
- Lou, S., Tsang, E. K. W., Li, D. H. W., Lee, E. W. M., & Lam, J. C. (2017). Towards Zero Energy School Building Designs in Hong Kong. *Energy Procedia*, 105, 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.299>
- Manyena, S. B. (2006). The concept of resilience revisited: The Concept of Resilience Revisited. *Disasters*, 30(4), 434–450. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>
- Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M. E., Morgan, H., Clark, S. S., & Linkov, I. (2018). Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications. *Science of the Total Environment*, 613–614, 1275–1283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.086>
- Marjaba, G. E., & Chidiac, S. E. (2016). Sustainability and resiliency metrics for buildings - Critical review. *Building and Environment*, 101, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.002>
- Mcallister, T. (2013). Developing Guidelines and Standards for Disaster Resilience of the Built Environment: A Research Needs Assessment, 1–142. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1795>
- MDS. (2018). Informe de estimaciones comunales de pobreza, con datos de Casen 2015, (Imc), 1–22. Retrieved from [http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/documentos/INFORME\\_estimaciones\\_pobreza\\_comunal\\_2015.pdf](http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/documentos/INFORME_estimaciones_pobreza_comunal_2015.pdf)
- Meacham, B. J. (2016). Sustainability and Resilience Issues and Objectives in performance Building Regulations, 44, 474–489. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1142330>
- Mendonça, D., Amorim, I., & Kagohara, M. (2018). An historical perspective on community resilience: The case of the 1755 Lisbon Earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (September), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.12.006>
- MINEDUC. (2011). Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos.
- MINEDUC. (2013). *Reporte Nacional de Chile: Revisión OCDE para mejorar la efectividad del uso de recursos en las escuelas*.
- MINEDUC UNESCO. (1999). Guía de diseño de espacios educativos, *OREALC/200*, 239. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001231/123168s.pdf%0Ahttp://unesdoc.unesco.org/images/>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2013). Plan de reconstrucción. Región de Tarapaca, 64.

- <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2016). Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 1–63.
- Mizón, L. (2001). *Claudio Gay y la formación de la identidad cultural chilena*. Editorial Universitaria. Retrieved from <https://books.google.cl/books?id=sIWOeMrUSGkC>
- Montenegro, E. (2016). BUENA ARQUITECTURA, MEJOR EDUCACIÓN.
- Moreno, J. (2018). The role of communities in coping with natural disasters: Lessons from the 2010 Chile Earthquake and Tsunami. *Procedia Engineering*, 212, 1040–1045. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.134>
- Mrema, G., Gumbe, L., Chepete, H., & Agullo, J. (2011). *Rural structures in the tropics: design and development*.
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J., & Han, Z. (2013). The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.02.002>
- Mutch, C. (2015). The role of schools in disaster settings: Learning from the 2010–2011 New Zealand earthquakes. *International Journal of Educational Development*, 41, 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2014.06.008>
- Nan, C., & Sansavini, G. (2017). A quantitative method for assessing resilience of interdependent infrastructures. *Reliability Engineering and System Safety*, 157, 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.08.013>
- Naser, M. Z., & Kodur, V. K. R. (2018). Cognitive infrastructure - a modern concept for resilient performance under extreme events. *Automation in Construction*, 90(March), 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.004>
- New Buildings Institute. (2016). List of Zero Net Energy Buildings. Retrieved from [http://newbuildings.org/wp-content/uploads/2016/10/GTZ\\_2016\\_List.pdf](http://newbuildings.org/wp-content/uploads/2016/10/GTZ_2016_List.pdf)
- OGUC. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (2017). Chile.
- Oktari, R. S., Shiwaku, K., Munadi, K., Syamsidik, X., & Shaw, R. (2017). Enhancing community resilience towards disaster: The contributing factors of school-community collaborative network in the tsunami affected area in Aceh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 29(April 2017), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.07.009>
- ONU. (2005). Marco de Acción de Hyogo para 2005–2015. *Conferencia Mundial Sobre La Reducción de Los Desastres*, 25. Retrieved from [www.unisdr.org](http://www.unisdr.org)
- Pearse, C. (2017). Why Schools Are Embracing Net-Zero Energy. *The BuildingGreen Report*, 26(5).
- Pereda, C. (2003). Escuela y comunidad. Observaciones desde la teoría de los sistemas sociales complejos. *Revista Electrónica Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educación*, 1(1), 1–24.
- Phillips, R., Troup, L., Fannon, D., & Eckelman, M. J. (2017). Do resilient and sustainable design strategies conflict in commercial buildings? A critical analysis of existing resilient building frameworks and their sustainability implications. *Energy and Buildings*, 146, 295–311. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.009>
- Pitrénaitė-Žilėnienė, B., & Torresi, F. (2014). Integrated Approach to a Resilient City: Associating Social, Environmental and Infrastructure Resilience in its Whole. *European Journal of Interdisciplinary Studies*, 6(2), 1–13. Retrieved from [http://unc.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwnV3LTsMwEFzxFRCvN8P7QcQaOoQN1xQU6WighOqgFvI2AZVilxo0wN\\_zzpOQgTqhXMkx5ZX44kzOwPAOIdt7xcmMB6oboeIMiKKIALpRyotqi1SYVsWoQrPMXt84EkjMqmfnt4Ha7AskCudVU2kvzaz\\_kzObDh8Hdx6dnY6Ts79YyU2MV1n3rbEIFzI\\_jPzh](http://unc.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwnV3LTsMwEFzxFRCvN8P7QcQaOoQN1xQU6WighOqgFvI2AZVilxo0wN_zzpOQgTqhXMkx5ZX44kzOwPAOIdt7xcmMB6oboeIMiKKIALpRyotqi1SYVsWoQrPMXt84EkjMqmfnt4Ha7AskCudVU2kvzaz_kzObDh8Hdx6dnY6Ts79YyU2MV1n3rbEIFzI_jPzh)
- Prasad, A. S., & Francescutti, L. H. (2017). Natural Disasters A2 - Quah, Stella R. BT - International

- Encyclopedia of Public Health (Second Edition) (pp. 215–222). Oxford: Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00519-1>
- PUC. (2019). *Intersecciones 2019 proceedings*.
- Quesada Molina, F. (2014). Métodos de evaluación sostenible de la vivienda. *Revista Habitat Sustentable*, 4(1), 56–67.
- Redman, C. L. (2014). Should sustainability and resilience be combined or remain distinct pursuits? *Ecology and Society*, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06390-190237>
- Redón Pantoja, S. (2010). La escuela como espacio de ciudadanía. *Estudios Pedagógicos*, 36(2), 213–239. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052010000200013>
- Rizo, M. (2006). Conceptos para pensar lo urbano: el abordaje de la ciudad desde la identidad, el habitus y las representaciones sociales. *Bifurcaciones: Revista de Estudios Culturales Urbanos*, (6), 1-. <https://doi.org/10.2307/29741546>
- Romero-Lankao, P., Gnatz, D. M., Wilhelmi, O., & Hayden, M. (2016). Urban sustainability and resilience: From theory to practice. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su8121224>
- Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A., & Cabeza-Lainez, J. M. (2015). Adaptation strategies and resilience to climate change of historic dwellings. *Sustainability (Switzerland)*, 7(4), 3695–3713. <https://doi.org/10.3390/su7043695>
- Saunders, W. S. A., & Becker, J. S. (2015). A discussion of resilience and sustainability: Land use planning recovery from the Canterbury earthquake sequence, New Zealand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.01.013>
- Sawada, Y., & Takasaki, Y. (2017). Natural Disaster, Poverty, and Development: An Introduction. *World Development*, 94, 2–15. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.035>
- SEGEPRES. (2011). Balance de Reconstrucción A un año del 27-F.
- Serra, A. (2011). The Energy Lab at Hawaii Preparatory Academy: Kamuela, HI. *High Performance Builgins*, (Spring 2011), 26–36.
- Shimpo, N., Wesener, A., & McWilliam, W. (2019). How community gardens may contribute to community resilience following an earthquake. *Urban Forestry and Urban Greening*, 38(April 2018), 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.12.002>
- Thornley, L., Ball, J., Signal, L., Lawson-Te Aho, K., & Rawson, E. (2015). Building community resilience: learning from the Canterbury earthquakes. *Kotuitui*, 10(1), 23–35. <https://doi.org/10.1080/1177083X.2014.934846>
- Tien, I., Kapuscinski, A. R., Locke, K. A., & Hoffman, A. J. (2018). Resilient by design: the case for increasing resilience of buildings and their linked food-energy-water systems. *Elem Sci Anth*, 6. <https://doi.org/10.1525/elementa.142>
- Tobin, G. A. (1999). Sustainability and community resilience: the holy grail of hazards planning? *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 1(1), 13–25. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1464-2867\(99\)00002-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1464-2867(99)00002-9)
- Trebilcock, M., Soto-Muñoz, J., Yañez, M., & Figueroa-San Martin, R. (2017). The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. *Building and Environment*, 114, 455–469. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.036>
- Twigg, J. (2009). Characteristics of a Disaster-Resilient Community, 1(November), 84.
- UNFCC. (2014). *Adapting The Role Cities for Climate of the Green Change : Infrastructure. Built Environment* (Vol. 33). <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- UNICEF. (2016). Educación en situaciones de emergencia y desastres: Guía de preparativos para el sector educación. *Emergencia, Desastres, Educacion, Preparativos, Guia*. Retrieved from <https://www.unicef.org/panama/spanish/herramienta1.pdf>
- UNICEF, & EIRD. (2011). Albergues en escuelas, ¿Cuándo?, ¿Cómo?, ¿Por qué?

- Wang, Z., Nistor, M. S., & Pickl, S. W. (2017). Analysis of the Definitions of Resilience. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 10649–10657. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1756>
- Xiang, M., Zhao, W., & Chen, J. (2018). A Comparison of Different Reconstruction Modes and Adaptive Evaluation Systems for Community Recovery Following the Wenchuan Earthquake. *Sustainability*, 10(11), 4115. <https://doi.org/10.3390/su10114115>
- Yasuhara, K., Komine, H., Yokoki, H., Suzuki, T., Mimura, N., Tamura, M., & Chen, G. (2011). Effects of climate change on coastal disasters: New methodologies and recent results. *Sustainability Science*, 6(2), 219–232. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0127-3>
- Zaldívar, C. S., & Ochagavía, F. R. (2013). *La reconstrucción en Educación*.
- Zeiler, W., & Boxem, G. (2013). Net-zero energy building schools. *Renewable Energy*, 49, 282–286. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.013>
- Zhang, J., Huo, M., Li, M., Li, T., Li, N., Zhou, J., & Jiang, J. (2018). Shape memory and self-healing materials from supramolecular block polymers. *Polymer (United Kingdom)*, 134, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.11.043>
- Zhao, L., Li, H., Sun, Y., Huang, R., Hu, Q., Wang, J., & Gao, F. (2017). Planning emergency shelters for urban disaster resilience: An integrated location-allocation modeling approach. *Sustainability (Switzerland)*, 9(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su9112098>

## Capítulo 8. Anexos

### 8.1 ANEXO A – Casos de estudio: Edificios Educativos NZEB

#### 8.1 HOOD RIVER MIDDLE SCHOOL MUSIC AND SCIENCE BUILDING (Oregon, EE.UU.)

La escuela Hood River Middle School es una escuela de enseñanza de nivel medio que se encuentra al este de Portland, en el estado de Oregon, EE. UU. Cuenta con una superficie construida de aproximadamente 640 m<sup>2</sup> construidos y un número de 72 usuarios incluidos los estudiantes. Inicialmente el edificio funcionaba en una antigua construcción de 1940 que se modificó interiormente para habilitar salas de clase. Este edificio fue demolido, sin embargo, el 8% de la construcción fue salvado y utilizado directamente en la nueva construcción; otro 22% del edificio se construyó con materiales reciclados. Además, se recicló un 96% de los residuos obtenidos. El edificio cuenta con certificación LEED Platinum para escuelas y se encuentra reconocido por NBI como Edificio Cero Energía en la lista ZNE de 2016.

Algunos principios de sostenibilidad integrados al edificio fueron la recolección y conservación de aguas lluvias en una cisterna subterránea de 53.000 litros que alimenta los artefactos de baños, lo que se apoya con sistemas de ahorro de agua en todos ellos.



**Figura 8.1: Escuela Hood River Middle School, Oregon, EE. UU (Fuente: High Performance Buildings, 2011)**

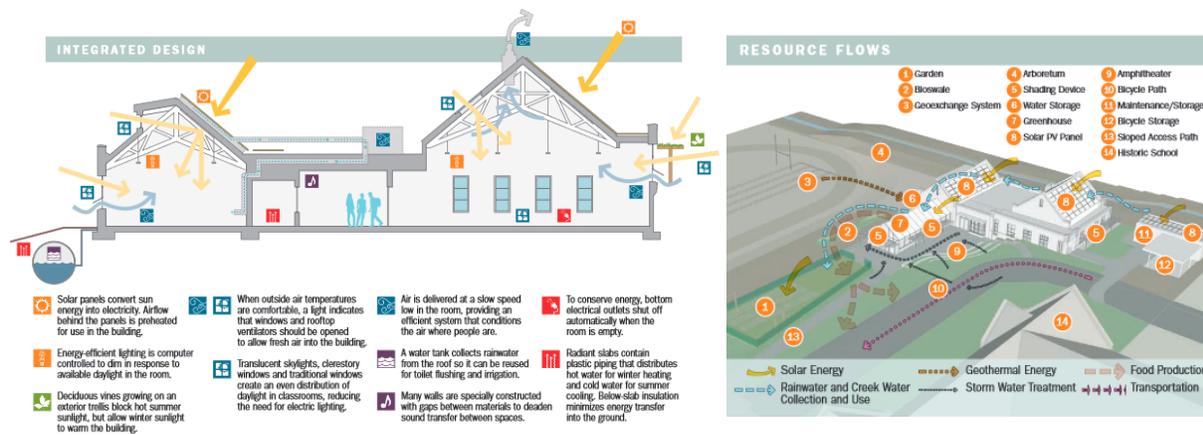
Utilización de sensores de luz día y ocupación permiten atenuar continuamente artefactos de iluminación hasta una potencia de salida mínima del 5% en función de la cantidad de luz del día en

el espacio. Para fomentar medios de transporte alternativos se declaró la zona perimetral de la escuela como libre de automóviles, utilizando estos espacios para el uso de bicicleta y patineta. Se habilitó una zona de compostaje dentro del invernadero, donde se utilizan los residuos de alimento de la comida de la cafetería (C. Brown & Frichtl, 2013)

Las estrategias pasivas utilizadas en el proyecto incluyen la utilización de ventilación natural combinando claristorios con extractores de aire, con el fin de provocar efecto stack y ventilación cruzada. La envolvente vertical está construida en concreto armado con sistema de aislación ICF, lo que además de proporcionarle un Valor-R de 25 (Valor-U 0,04), la dota de una baja tasa de infiltraciones y de una alta masa térmica que evita los cambios de temperatura provocados por su cercanía con río. La techumbre se construyó de madera con paneles rígidos aislantes, y posee un Valor-R de 40 (Valor-U 0,025). Los suelos acondicionados como losas radiantes tienen una aislación exterior continua que alcanza un Valor-R 15 (Valor-U 0,06). Las ventanas son de marco de aluminio con triple vidriado hermético con un Valor-U de 0,3. Los cristales tienen un coeficiente de ganancia solar de 0,3 y un transmitancia visual de 0,38. El % de acristalamiento en envolventes verticales es de un 29%. La iluminación natural se logra a través del uso de claraboyas, claristorios y ventanas comunes que han sido combinadas con el uso de parrones caducos que regulan las ganancias directas durante el verano. Al interior, paneles acústicos reflejan buena parte de la luz proveniente de las ventanas lo que ilumina naturalmente los espacios interiores.

El sistema de calefacción contempla losas de hormigón radiantes alimentadas por dos bombas de calor agua-agua, donde la masa térmica del concreto ayuda a controlar la pérdida calórica de estos elementos. Los sistemas de HVAC que se ubican en el techo contemplan un intercambiador de calor que toma el calor del aire exhausto que se libera para elevar la temperatura del aire tomado desde el exterior que se inyecta en los espacios interiores. Sensores de CO<sub>2</sub> regulan el funcionamiento de los ventiladores de modo que se controla la pérdida calórica por ventilación. Los artefactos de iluminación cuentan con sensores de ocupación, lo que, apoyado por una buena iluminación natural, garantiza que los sistemas artificiales se utilicen sólo cuando es necesario.

La escuela produce energía a partir de 165 módulos de paneles fotovoltaicos de 35 kW que se ubican en las caras de las techumbres orientadas hacia el sur. Además, un TSC (Transpired Solar Collector) de 2000 cfm funciona en un plenum revestido con paneles negros perforados construido en el techo, precalienta el aire que se inyecta al interior (ILF, 2011).



**Figura 8.2: Izq: Diagrama de estrategias utilizadas en el diseño integrado. Der: Recursos del emplazamiento utilizados en el edificio. (Fuente: <http://www.nesea.org/>)**

En términos energéticos el edificio redujo en un 61% la línea base indicada en ASHRAE 90.1 - 2007, y produce un 101% de energías renovables respecto a la energía que utiliza el edificio en su funcionamiento. Durante 2011 se midió un uso anual de 41,811 kWh solventado por una generación de energía renovable de 42.368 kWh, ambas mediciones fueron mayores que los resultados obtenidos en simulación. El consumo de HVAC se midió en 27.653,5 kWh-año, y el consumo de equipamientos e iluminación artificial en 14.157 kWh-año. (ILF, 2011).

## 2. LAB AT HAWAII PREPARATORY ACADEMY (Kamuela, Hawaii)

Consiste en el laboratorio de ciencias de la preparatoria de la Academia Preparatoria de Hawaii, donde se pueden estudiar en vivo los sistemas de renovación de energía y medirlos. Es un edificio de 550 m2 aproximadamente, construido intencionalmente en una condición de barlovento respecto a los vientos predominantes, en un terreno que previamente se utilizaba como área de descarga de bio desechos y otros materiales. Fue puesto en marcha en enero de 2010 para ser ocupado por 25 usuarios entre estudiantes y alumnos, además de recibir aproximadamente 10 visitantes al día (ILF, 2018). El edificio fue certificado como LEED Platino, además de ser certificado como “Living Building” por el Living Building Challenge, y apareció en la lista de ZNE del NBI de 2016 (Serra, 2011).

En el diseño del edificio puso especial énfasis en el manejo responsable del agua, pensando en la seguridad hídrica en el marco del diseño de edificios resilientes. La primera estrategia en la gestión de agua fue la recolección de aguas lluvias, aprovechando las tasas de precipitaciones anuales de la zona geográfica, y la condensación, la que se recolecta a través de canaletas que llevan el agua

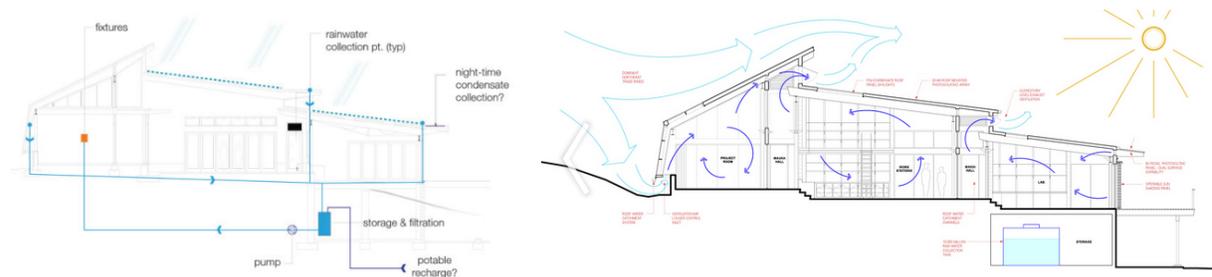
directamente a una cisterna subterránea de 37.000 litros, la que se filtra y puede proporcionar agua durante un año para sus estudiantes y se puede utilizar en caso de que el suministro de agua principal falle. Se utiliza, además, un sistema de reutilización de las aguas grises y tratamiento de aguas negras a través de la utilización de cámaras de filtros y la biota propia del suelo, que ayuda a la infiltración natural de estas aguas. (ILF, 2016). Además, la demanda de agua se regula a través del uso de artefactos de baño de ahorro.



**Figura 8.3: Energy Lab of Hawaii Preparatory Academy, Kamuela, Hawaii. (Fuente: High Performance Buildings, ILF)**

Entre las estrategias pasivas que apoyan la eficiencia energética del edificio destacan el emplazamiento del edificio con el fin de aprovechar, por un lado, el viento predominante y la orientación para optimizar la generación de energía a través de los paneles fotovoltaicos. El edificio cuenta con un sistema de celosías, aleros y puertas correderas que evitan ganancias directas desmedidas, pero a la vez lo hacen permeable a la luz natural y a los vientos. La utilización de ventanas articuladas a espacios interiores altos, facilitan la ventilación natural a través de la estratificación de calor y de aire exhausto, la que se apoya con medios de ventilación mecánicos que ayudan a la correcta distribución y enfriamiento, sin embargo, el clima templado permite que el consumo para efectos de enfriamiento sea marginal. Las estrategias de iluminación natural permiten que todos los espacios cuenten con luz disminuyendo las ganancias solares directas, lo que ha generado un consumo de tan solo 114 kWh-año en 2010, manteniendo una iluminación promedio de 75 *footcandles* (807 lux) dentro del edificio. El porcentaje de acristalamiento del edificio es de 20% hacia el norte, 35% hacia el sur, Hacia el este y el oeste 21% y 30% respectivamente y acristalamiento en el techo solo de 3,8%.

La envolvente vertical del edificio está construida en madera utilizando aislante de fibra de vidrio, con revestimientos de fibrocemento, lo que la dota de un Valor-R de 19 (Valor-U 0,05). La techumbre está construida de madera, aislada con paneles rígidos de espuma y revestimiento exterior con paneles de chapa de acero cubiertos con una aleación de aluminio y zinc, lo que le otorga un Valor-R-23 (Valor-U 0,04). Las ventanas son de doble vidrio hermético con un Valor U- de 0,29, un coeficiente de ganancia solar de 0,38 y una transmitancia visual de 0,70 (Serra, 2011).



**Figura 8.4:** Izq: Estrategias de recolección de aguas lluvias y almacenamiento (fuente: ILF, 2016) Der: Estrategias de ventilación natural (fuente: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com))

El sistema de generación de energía es *grid-tied* y consiste en paneles fotovoltaicos que durante el primer año de uso fue capaz de generar, según mediciones post-ocupacionales, el doble del consumo de energía del edificio, por lo que fue posible compartir la energía generada con otras áreas del campus de la academia (Serra, 2011). Durante 2010 energía generada fue medida en 38,994 kWh-año, mientras que el consumo fue de 19,090 kWh, consistente principalmente en iluminación artificial (3130 kWh) y carga asociada a equipos (15,960 kWh); los sistemas de HVAC no produjeron consumo. Las cargas asociadas a iluminación artificial fueron menores a las proyectadas en simulación, lo que se logró a través de la incorporación de buenas estrategias de iluminación natural.

En términos de confort térmico, la simulación estimó temperaturas operativas dentro del rango de los 20°C sin embargo durante la evaluación post ocupacional se midieron temperaturas superiores a los 22°C y una H.R. del rango del 60% cercana a la medida en simulación, situación que fue similar en la mayoría de los recintos. Esto se pudo deber a la operabilidad de las ventanas por parte de los usuarios y a que las condiciones del tiempo durante ese año fueron particularmente favorables (ILF).

### 8.3. LIVING LEARNING CENTER AT TYSON RESEARCH CENTER (Missouri, EE.UU.)

El Tyson's Living Learning Center de la Universidad de Washington, al norte de la ciudad de Eureka en Missouri, es un edificio de investigación y educación de aproximadamente 275 m<sup>2</sup>, que incluye laboratorios, salas de computación, salas de clases y oficinas administrativas, pudiendo albergar una cantidad de 50 usuarios diarios. El edificio comenzó a ocuparse en junio de 2009, integrando principios de sostenibilidad como la recuperación del suelo y la reforestación de la flora nativa. Inicialmente el lugar de emplazamiento consistía en una carpeta de asfalto para estacionamientos, la que se retiró y se reemplazó por caminos de hormigón permeables y jardines con especies vegetales originarias. También se utilizó madera nativa, de producción local, proveniente de bosques con manejo ecológico dentro de un radio de 2 millas. Además, se incorporaron al diseño del edificio criterios de Edificios Cero Energía y manejo responsable del agua, con lo que pudo certificarse como Living Building por el International Living Future Institute (Hellmuth et al. 2010)

Para alcanzar el estándar de Net Zero Energy, el diseño se enfocó en dos resolver dos aspectos fundamentales del edificio: primero, reducir la demanda de energía del edificio y segundo, producir energía renovable en el sitio en una cantidad capaz de solventar esta demanda. Las estrategias pasivas se basaron principalmente en dotar al edificio de una envolvente térmica eficiente; la envolvente vertical está construida en madera con un Valor-U de 0,03, mismo valor que se encuentra en la techumbre construida también en madera, con una membrana de termoplástica de poliolefina (TPO) y cubierta de acero embaldosado. Las ventanas tienen un Valor-U de 0,48 y un coeficiente de ganancia solar de 0,065 (Hellmuth, Smith, Singer, & Ford, 2010)

Otras estrategias pasivas incorporadas fueron la utilización de sombras y aleros, que junto con la orientación del edificio respecto al sol logran limitar las ganancias solares. Para la ventilación se utilizaron ventanas operables en todos los recintos que apoyan los sistemas de aire acondicionado que inyectan una cantidad variable de aire exterior dependiendo de las necesidades de los ocupantes.

Todos los recintos cuentan con iluminación natural y vistas al exterior, lo que apoyado con el uso de lámparas fluorescentes de alta eficiencia y células fotosensibles se pudo regular el consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación artificial. Se consideraron equipos de HVAC de alta

eficiencia, con los que se estimó una reducción de aproximadamente el 40% en comparación con los equipos Split estándar de la misma capacidad. (ILF, 2018)



**Figura 8.5: Living Learning Center At Tyson Research Center, en Missouri, EE.UU. (fuente: ILF, 2016)**

Para la generación de energía renovable se consideraron diferentes opciones, como la eólica o la geotérmica, sin embargo, por motivos de viabilidad, se optó por la solar. Se instalaron 96 módulos fotovoltaicos de 195 Watt lo que no solo alimenta el edificio si no que también posibilita la venta de energía a lugares aledaños, razón por la que el edificio se certificó como Net Positive Energy. El edificio es capaz de generar alrededor de 22.985 kWh-año versus su consumo que se midió en 21.291 kWh-año (ILF, 2018). La gestión de aguas se basa en canaletas que recogen el agua lluvia, derivándola a una cisterna de 11.000 lts, la que es tratada con luz ultravioleta antes de ser utilizada. Las aguas grises se reutilizan en el riego de los jardines para propiciar su infiltración. Para cumplir la certificación de Net Zero Water, además, se tuvieron que incorporar baños de compostaje, los que al ocupar muy poca agua facilita el cumplimiento del requerimiento del sistema de certificación.

#### 8.4. BERTSCHI LIVING BUILDING SCIENCE WING (Seattle, EE.UU.)

El proyecto corresponde a una ampliación de la escuela primaria Bertshci en la ciudad de Seattle, Washington, EE.UU. que es utilizada como laboratorio de ciencias, orientado a la educación ambiental y sustentable. Es el primer edificio en certificarse por el Living Building Challenge del ILF como Living Building en Washington y en la costa este de EE.UU. en 2013. Es una construcción de 115 m<sup>2</sup> que fue terminada en febrero de 2011 y consiste en una sala de clases unida a un invernadero y un jardín como espacio al exterior. Seattle es una ciudad que se caracteriza por su

alta tasa de precipitaciones anuales lo que favoreció la recolección de aguas lluvias que se utiliza en el funcionamiento del edificio. Por otro lado, el clima de la ciudad es apropiado para enfriar los espacios interiores de manera natural, con excepción de verano, por lo que estrategias de ventilación natural fueron incorporadas para reducir costos de energía. (ILF, 2018)

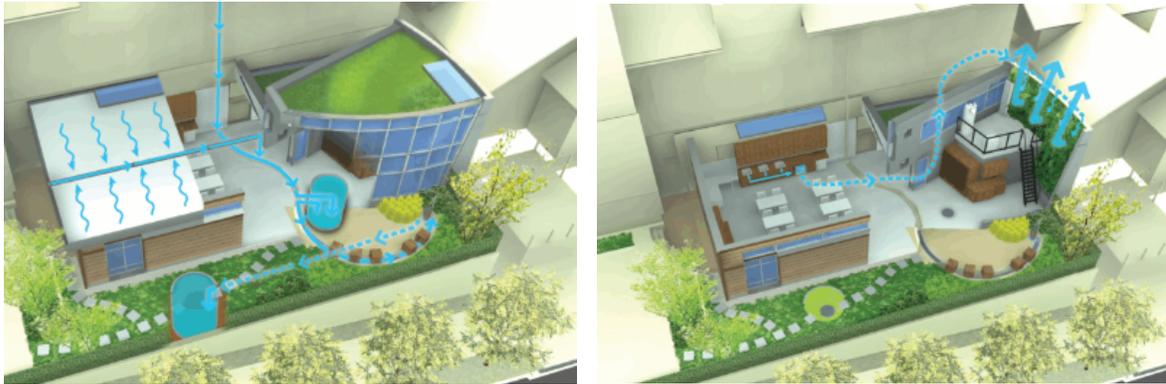
Esta construcción fue certificada por el ILF como Net Zero Water y Net Zero Energy, lo que se logró incorporando las siguientes criterios al diseño: Se capta y conduce el agua lluvia a través de canaletas en la techumbre que se filtran y se acumulan en una cisterna de 8000 litros la que al rebasarse riega el jardín al exterior; aguas grises se acumulan en un tanque y se utilizan en regar los jardines y los muros verdes del proyecto. El manejo del agua se hace más eficiente al utilizar baños de compostaje que reducen críticamente el uso de este recurso.



**Figura 8.6: Bretsch Living Building Science Wing, Seattle, EE.UU. (fuente: ILF, 2016)**

Los sistemas de ventilación se basan en extractores que sacan el aire exhausto y aprovechan su calor a través de recuperadores de energía, los que a su vez precalientan el aire fresco antes de inyectarse al interior. El aire exhausto se inyecta directamente al invernadero, con el fin de alimentar a las plantas con el CO<sub>2</sub>. Todas los recintos tienen generosas proporciones de ventanas operables que además de aportar gran cantidad de luz natural y vistas al exterior, aportan a la ventilación natural de los espacios interiores. La construcción de la envolvente se realiza a partir de tabiques estructurales de madera, altamente aislados con celulosa proyectada con lo que se alcanza un Valor-R de 52 (Valor-U 0,019) y un alto aislamiento acústico. Las maderas y celulosa utilizadas provienen de bosques con certificación FSC. La techumbre consiste en un techo verde extensivo con especies

vegetales nativas del lugar. Se utilizan losas radiantes de concreto donde, además aprovechar la masa térmica del hormigón, se hace circular agua que se calienta a través de un sistema híbrido eléctrico-solar ([www.bertschi.org](http://www.bertschi.org)).



**Figura 8.7: Sistema de captación de aguas lluvias y tratamiento de aguas grises.**  
(fuente: [www.bertschi.org](http://www.bertschi.org))

La generación de energía renovables se realiza a partir de 90 módulos fotovoltaicos de 225 W instalados en la techumbre de un edificio aledaño al laboratorio, que suman una potencia de alrededor de 20 kW. El sistema está conectado a la red eléctrica pública de la ciudad, por lo que es posible vender la energía que no se utiliza en el funcionamiento del laboratorio. Durante 2011, la producción de energía del laboratorio fue de 20.115 kWh, versus el consumo que fue de 20.074 kWh (DOE, 2012).

#### 8.5. THE FRIENDS SCHOOLS OF PORTLAND (Oregon, EE.UU.)

Consiste en una escuela de aproximadamente 1400 m<sup>2</sup> emplazada en contexto rural, en un sitio boscoso al norte Maine, Portland. Fue inaugurada en agosto 2015, con 90 alumnos entre kínder y octavo grado. La escuela funciona completamente con energía eléctrica y fue diseñada para utilizar un 90% menos de energía que una escuela convencional.

El edificio cuenta con certificación Passivhaus y cómo es posible de observar en otros edificios con este estándar, esta escuela cuenta con una envolvente altamente aislada: los muros están contruidos con paneles SIP de OSB, con celulosa de alta densidad en su interior, a lo que se le agregó un panel rígido de espuma de poliisocianurato de 4 pulgadas de espesor por la cara exterior, con lo que logran alcanzar un valor-U de 0,021. Respecto al techo, el edificio cuenta con dos tipos;

un techo ventilado con 26 pulgadas de celulosa suelta y otro con aislamiento de celulosa densa y paneles rígidos de poliisocianurato de 5 pulgadas por el exterior. La losa de fundación cuenta con una aislación de 8 pulgadas de EPS por el exterior y 2 pulgadas por el interior. Las ventanas son de marco de PVC de triple vidriado hermético, con cristales que tienen un factor de ganancia solar (SHGC) de 0,62 y un valor-U de 0,106.



Figura 8.8: Escuela The Friends Schools of Portland, Oregon, EE.UU (Fuente: <http://www.nesea.org/>)

Para alcanzar el estándar Passivhaus, el edificio debió cumplir el requerimiento de una hermeticidad de 0,5 ach50. Enfriamiento y calefacción se a través de mini splits con bombas de calor de fuente de aire, montados a la pared y otros conductos. El edificio produce energía a partir de paneles fotovoltaicos de 36kW (DOE, 2015)

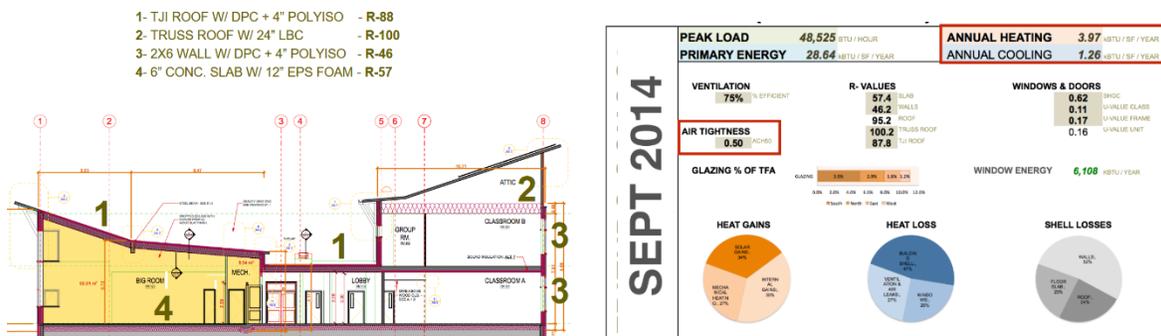


Figura 8.9: Izq: Estrategias de aislación térmica en envoltente. Der: Simulación final con herramienta PHPP de Passivhaus (Fuente: <http://www.nesea.org/>)

En términos energéticos los datos indican que, entre agosto de 2015 y febrero de 2016, los paneles fotovoltaicos de la escuela produjeron 12.566 kWh, lo que fue consistente con las proyecciones de 39.000 kWh anuales. El consumo eléctrico durante ese periodo fue de 25.700 kWh, lo que se excedió de la proyección obtenida a través de la herramienta de cálculo energético PHPP de Passivehaus, que proyectó 41.527 kWh año (DOE, 2015). La lista del New Buildings Institute de 2016 lo catalogó como un edificio Net Zero Energy emergente, lo que quiere decir que el edificio tiene como objetivo llegar al estándar cero energía, sin embargo, el logro de este objetivo no ha sido medido, han funcionado por menos de un año o aún no alcanzan el estándar exigido. (New Buildings Institute, 2016)

A través de esta breve revisión y del análisis e identificación de las estrategias utilizadas en los casos de estudio es posible determinar que un mejoramiento crítico del desempeño energético del edificio para alcanzar características Net Zero Energy, se logra mediante una baja demanda energética producto de la incorporación de estrategias pasivas y sistemas eficientes que se satisface a través de la generación de ERNCs, principalmente módulos fotovoltaicos instalados en la techumbre. Además, fue común encontrar estrategias de manejo de aguas lluvias, recuperación de aguas grises y tratamiento de aguas negras. Estas estrategias se integraban virtuosamente a la arquitectura de los recintos, haciéndolo parte del espacio educativo y objeto pedagógico.

8.2 ANEXO B – Zonificación de Riesgos de Chile según desastres naturales.

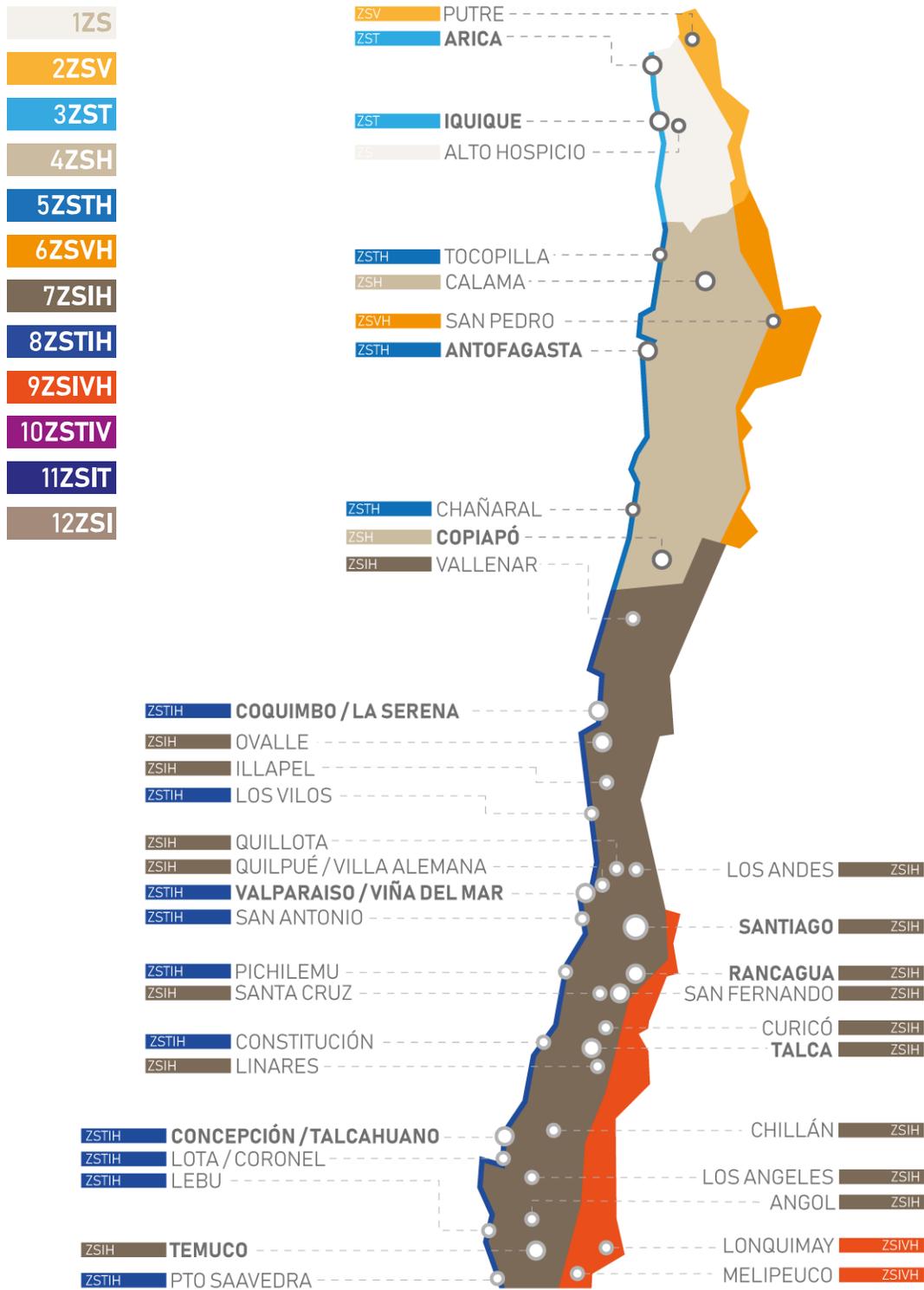


Figura 8.10: Principales entidades urbanas identificadas en la zonificación de riesgos. (Fuente: elaboración propia)

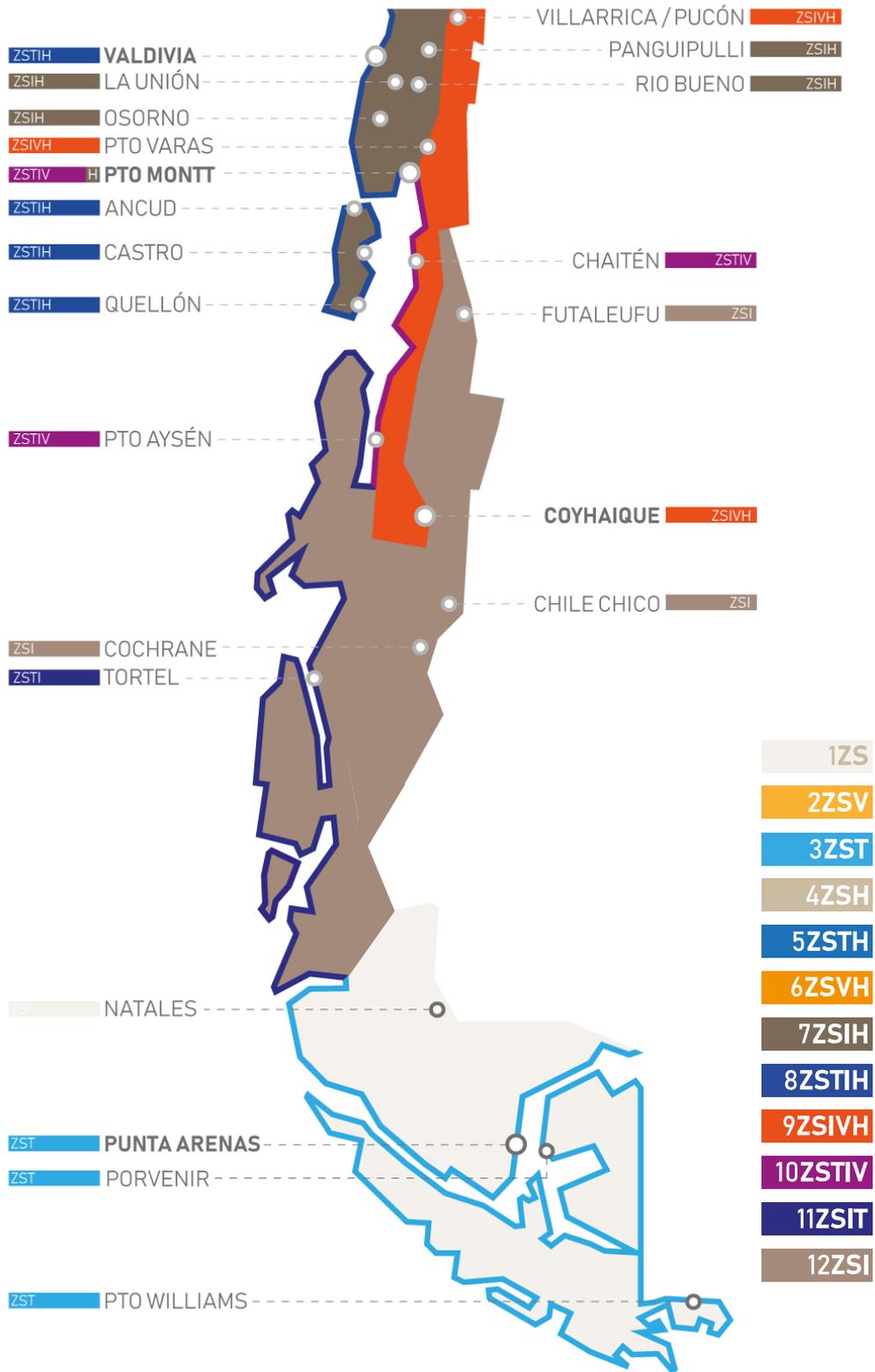


Figura 8.11: Principales entidades urbanas ubicadas en zonificación de riesgos. (Fuente: elaboración propia)

8.2.1 Descripción de las Zonas de Riesgos.



1ZS



**RESEÑA**

La Zona 1 denominada ZS o Zona Sísmica se ubica en la franja intermedia de los extremos austral y septentrional de Chile, abarcando las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y el sur de la de Magallanes. Se diferencia principalmente del resto de las zonas del país al no encontrarse expuesta a incendios forestales, debido al bajo % de probabilidad de ignición y los altos niveles de humedad durante el año (CONAF, 2018), ni a eventos hidrometeorológicos, donde se han registrado dos eventos de este tipo, según registro histórico recabado por Henríquez et al. (2016), relacionados mayormente a nevazones y heladas poco significativas, sin presencia de aluviones ni inundaciones.

**ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS**

**XV Región:** Azapa, Poconchile, El tambo, Est. San Martín, Zapahuira; Est. Pampa Ossa, Timar, Codpa, Pintatane, Esquiña, Camarones, Esquiña, Pachica.

**I Región** Tana, Tiliviche, Zapiga, Huara, Baquedano, Alto Hospicio, Pozo Almonte, La Tirana, La Guaica, Pica, Pintados, Of. Victoria, Est. Cerro Gordo, Est. Ramaditas, Est. Hilaricos, Est. Central, Est. Gallinazos.

**XII Región** Estancia Las Chinas, Puerto Natales, San José, Villa Tehuelches, Rocallosa, San Sebastián, Río Grande, Estancia Vicuña

**HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)**

Tramo Norte:

**1943 Pica / 1976 Pica / 1987 Tarapacá / 2005 Tarapacá.**

Tramo Sur:

**1949:** Tierra del Fuego (CSN, 2018)





## 2ZSV

### RESEÑA

La Zona 2 denominada ZSV o Zona Sísmica con riesgo de evento Volcánico se sitúa en la franja cordillerana de la Región de Arica y Parinacota y de la Región de Tarapacá. Se constituye por la exposición generada por la alta actividad de los volcanes Tacora, Tarapacá, Parinacota y Guallatiri y Arintica en la XIV Región, y los volcanes Isluga, Irruputuncu y Olca Paruma en la I Región.

El riesgo a la actividad volcánica en esta zona es de igual manera para flujo de lavas, lahares y piroclastos y de dispersión y caída de material piroclástico. Existe además una articulación de estos volcanes con zonas protegidas y parques nacionales.

### ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**XV Región:** General Lagos, Putre, Visviri, Huampalca, Tacora, Alcérreca, Chujlluta, Surire, Chancacollo, Anantocollo, Cosapilla, Pucará, Putani, Choquelimple, Surire, Chungará.

**I Región:** Colchane, Ancovito, Cariquima, Ancuaque, Enquelga, Isluga.

### PARQUES Y RESERVAS RELACIONADAS

**XIV Región:** Reserva Nacional Las Vicuñas, Monumento Natural Salar de Surire.

**I Región:** Parque Nacional Volcán Isluga, Salar de Coposa.

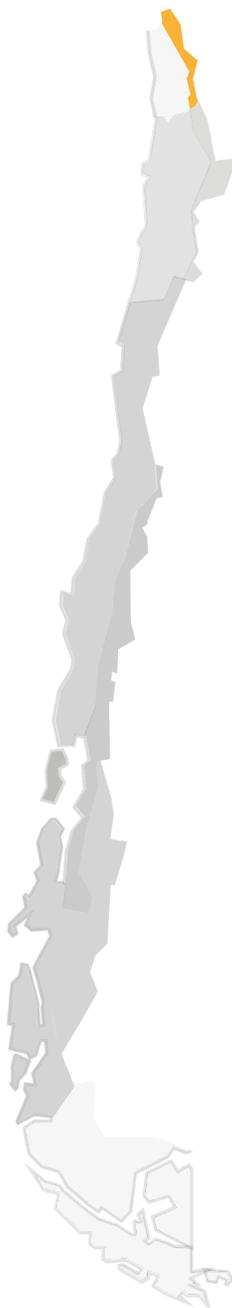
### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



**1987:** Tarapacá / **2005:** Tarapacá. (CSN, 2018)



**1930:** Volcán Tacora (SERNAGEOMIN, 2018)





## 3ZST

### RESEÑA

La Zona 3 denominada ZST o Zona Sísmica con riesgo de Tsunami, se sitúa en el cordón borde-mar de la XIV Región de Arica y Parinacota y de la I Región de Tarapacá, abarcando la sucesión de entidades urbanas localizadas en la costa. Si bien un tsunami es un desastre desatado por un evento sísmico de magnitud, se deberá tener en cuenta el impacto marítimo de terremotos ocurridos en otros países. Las áreas de inundación y de peligro de cada ciudad se pueden consultar en los instrumentos de planificación correspondientes, considerando que las áreas de inundación se han definido en base a sucesos anteriores. Se debe considerar que, en la mayoría de estas ciudades, las actividades económicas predominantes se relacionan al mar, principalmente actividades portuarias, turísticas y de pesca.

### ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**XV Región:** Arica, Chacarillas, Caleta Vitor, Caleta Camarones.

**I Región:** Pisagua, Iquique, Punta Gruesa, Caleta Los Verdes, Caramucho, Chanavayita, Caleta San Marcos, Río Seco, Caleta Chipana.

**XII Región** Punta Arenas, Porvenir, Puerto Williams

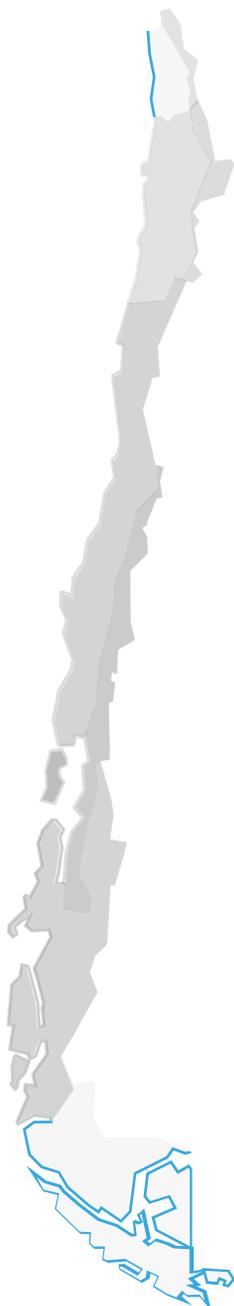
### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



**1911:** Iquique / **1933:** Iquique / **1943:** Iquique / **1949:** Iquique / **1956:** Arica / **1959:** Iquique / **2009:** Iquique / **2014:** Iquique / **1987:** Tarapacá / **2005:** Tarapacá / **1949:** Tierra del Fuego (CSN, 2018)

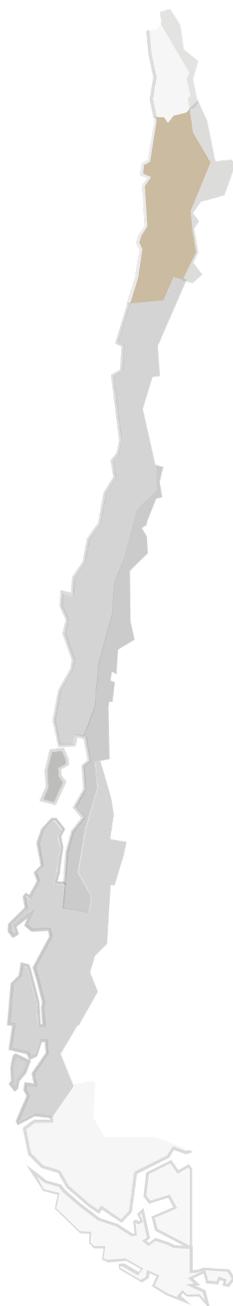


**1960:** Arica / **1966:** Arica / **1995:** Arica / **2014:** Iquique (SHOA, 2018)





## 4 ZSH



### RESEÑA

La Zona 4 denominada ZSH o Zona Sísmica con riesgo de eventos Hidrometeorológicos se sitúa en la franja intermedia y valles transversales de las regiones de Antofagasta y norte de Atacama. Se caracteriza principalmente por encontrarse en exposición a eventos hidrometeorológicos, producto del fenómeno de El Niño, y del Invierno Altiplánico.

En general, esta zona se caracteriza por comprender un amplio espacio de territorio geográfico con pocas entidades urbanas, la mayoría dedicada al ámbito minero, ya que corresponde al desierto de Atacama.

Como configuración general, las entidades urbanas, sobre todo aquellas agrícolas y ganaderas de la franja interior de Chile se articulan generalmente con la presencia de cauces hídricos, por lo que los eventos hidrometeorológicos suelen asociarse a crecidas de los cauces y desborde de ríos.

Otro de los eventos recurrentes en esta región son los períodos de sequías que, a diferencia de los aluviones y lluvias que constituyen eventos puntuales, comprenden periodos prolongados de tiempo.

### ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**II Región:** Calama, María Elena, Baquedano, Sierra Gorda, Yumbes, Soledad, Frankenstein, San Pedro de Atacama.

**III Región:** Diego de Almagro, Potrerillos, Inca de Oro Copiapó, Tierra Amarilla,

### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



**1918:** Copiapó / **1946:** Copiapó / **1950:** Calama / **1953:** Calama. (CSN, 2018)

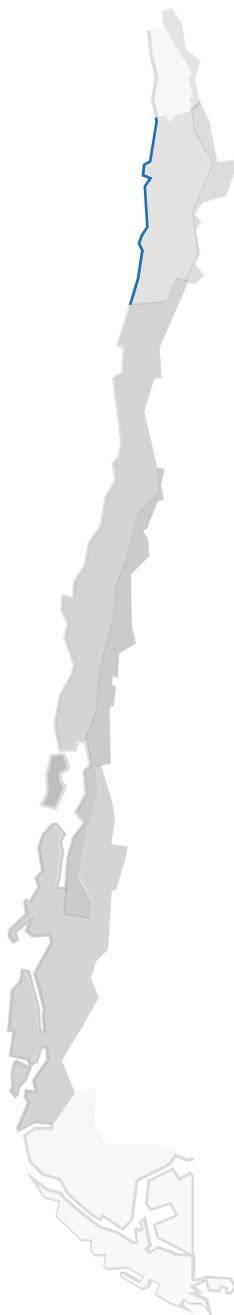


**II Región:** 1986; 1991; 1997; 1999; 2001; 2015

**III Región:** 1984; 1997; 2015. (Henríquez et al., 2016)



# 5ZSTH



## RESEÑA

La Zona 5 denominada ZSHT o Zona Sísmica con riesgo de eventos Hidrometeorológicos y Tsunami se sitúa en el cordón borde-mar de las regiones de Antofagasta y el norte de Atacama. Si bien se comprende como la continuación de ZST, esta se encuentra expuesta también a los eventos hidrometeorológicos.

Agrupada la consecución de entidades urbanas ubicadas en la costa de ambas regiones, que tienen como actividad económica principal los sectores pesqueros, portuarios-mineros y turísticos. Si bien estas localidades no siempre están articuladas a cauces hídricos, son susceptibles de sufrir otros incidentes producto de los eventos hidrometeorológicos como son remociones en masa y derrumbes.

### ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**II Región:** Tocopilla, Michilla, Mejillones, Antofagasta, Coloso, Paposo, Taltal,

**III Región:** Chañaral, Caldera, Totoral, Carrizal Bajo.

### PARQUES Y RESERVAS RELACIONADAS

**II Región:** Reserva Nacional La Chimba, Monumento Natural La Portada.

**III Región:** Parque Nacional Pan de Azúcar, Parque Nacional Llanos de Challe.

## HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



**1966:** Taltal / **1967:** Tocopilla / **1995:** Antofagasta / **2007:** Tocopilla



**1918:** Caldera / **1922:** Chañaral - Caldera / **1960** Antofagasta - Caldera / **1966:** Antofagasta-Caldera / **1995:** Antofagasta-Caldera

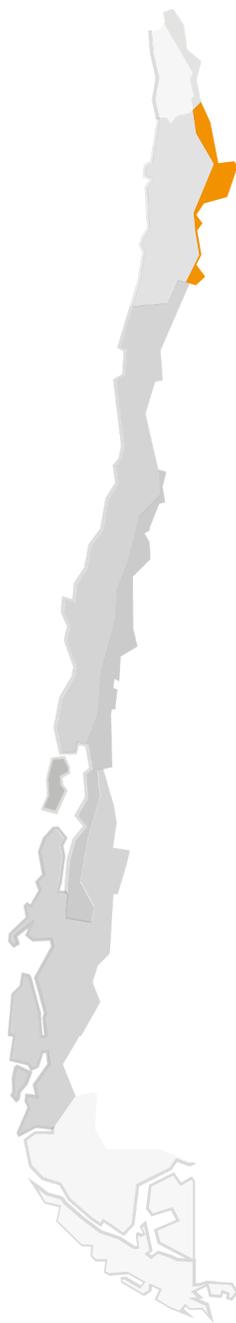


**II Región:** 1986; 1991; 1997; 1999; 2001; 2015

**III Región:** 1984; 1997; 2015. (Henríquez et al., 2016)



# 6ZSVH



## RESEÑA

La Zona 6 denominada ZSVH o Zona Sísmica con riesgo de eventos Volcánicos e Hidrometeorológicos se sitúa en el borde cordillerano oriente de las regiones de Antofagasta y el norte de la de Atacama. Se comprende como la continuación de ZSV, pero expuesta a los eventos hidrometeorológicos.

Esta zona se caracteriza por no poseer entidades urbanas importantes relacionadas, presentando sólo algunas localidades y reservas nacionales. Inicia con el Volcán Olca-Paruma en el límite entre la I y II Región, y finaliza con el nevado Ojos del Salado y El Solo en la III.

Es posible observar en esta zona que existe una importante disminución de la actividad volcánica desde las primeras regiones de Chile hacia el sur, existiendo en la tercera región menos áreas en riesgo y con menor superficie.

### ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**II Región:** Ollagüe, Toconce, Caspana, Talabre,

**III Región:** No existen entidades urbanas relacionadas

### PARQUES Y RESERVAS RELACIONADAS

**II Región:** Reserva Nacional Los Flamencos, Parque Nacional Lluillaco.

**III Región:** Parque Nacional Nevado Tres Cruces

### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



**1966: 1918:** Copiapó / **1946:** Copiapó / **1950:** Calama / **1953:** Calama. (CSN, 2018)



**II Región:** 1986; 1991; 1997; 1999; 2001; 2015  
**III Región:** 1984; 1997; 2015. (Henríquez et al., 2016)



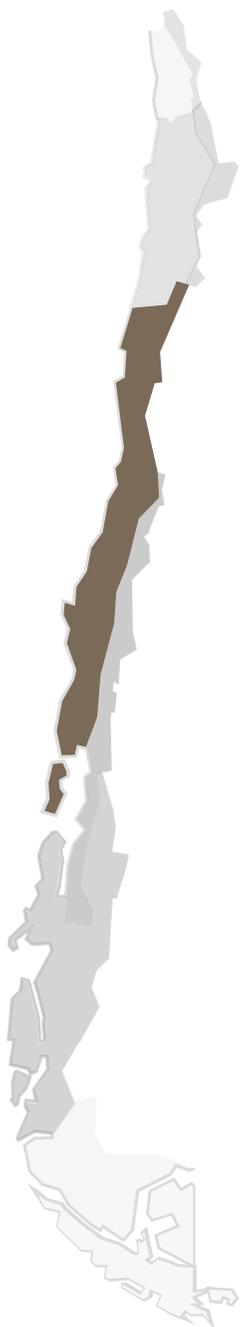
**1927:** Ollagüe / **1960:** San Pedro / **1990:** Olca-Paruma / **1993:** Lascar / **2015** Lascar (SERNAGEOMIN, 2018)



# 7ZSIH

## RESEÑA

La Zona 7 denominada ZSIH o Zona Sísmica con riesgo de Incendios Forestales y eventos Hidrometeorológicos es la zona con mayor superficie, y abarca las ciudades con mayor población de Chile. A diferencia de las anteriores, en esta área está presente el riesgo a incendios forestales, que eventualmente podrían extenderse a zonas de interfase y urbanas, afectando localidades pequeñas y poblados.



### PRINCIPALES ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**III Región:** Vallenar, Freirina, Alto del Carmen.

**IV Región:** Vicuña, Ovalle, Monte Patria, Illapel, Salamanca,

**V Región:** Petorca, La Ligua, Cabildo, Calera, Quillota, San Felipe, Los Andes, Limache, Olmué, Quilpué, Casa Blanca.

**Región Metropolitana:** Títil, Santiago, Pirque, Colina, Lampa, Talagante, Melipilla, Buin, Paine, Peñaflo, El Monte.

**VI Región:** Sn, Fco. de Mostazal, Codegua, Graneros, Rancagua, Machalí, Rengo, Sn Fernando, Sta. Cruz, Pichidegua, Peumo, Sn, Vic, de Tagua Tagua, Chimbarongo.

**VII Región:** Curicó, Rauco, Molina, Curepto, Talca, Sn. Javier, Cumpeo, Colbún, Linares, Longaví, Parral,

**VIII Región:** Sn. Carlos, Coihueco, Chillán, Yungay, Cabrero, Yumbel, Los Ángeles, Angol, Curanilahue, Los Álamos.

**IX Región:** Angol, Lautaro, Temuco, Nueva Imperial, Curacautín, Freire, Gorbea, Loncoche.

**XIV Región:** Los Lagos, Paillaco, La Unión, Río Bueno.

**X Región:** San Pablo, Osorno, Frutillar, Entre Lagos.

### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)

 1922: Vallenar / 1928: Talca / 1939: Chillán / 1943: Ovalle / 1949: Angol / 1953: San Carlos / 1958: Las Melosas / 1965: La Ligua / 1971: Illapel / 1981: La Ligua / 1985: Lago Rapel / 1997: Punitaqui / 2013: Vallenar / 2016: Chiloé (CSN, 2018)

 1984: Coquimbo - Biobío	2001: Maule
1985: O'Higgins - Biobío	2005: Biobío
1993: Maule - Biobío	2006: Biobío
1995: Maule - Magallanes	2008: La Araucanía
1997: Antofagasta - Los Lagos	2011: La Araucanía - Los Ríos (Henríquez et al, 2016)
2000: Valparaíso - Los Lagos	

 1999 Hualqui / 1999 La Rufina / 2002 Malleco / 2002 Malleco / 2011 Pichiqueme / 2015 Linares / 2017 Colchagua. (CONAF, 2017)

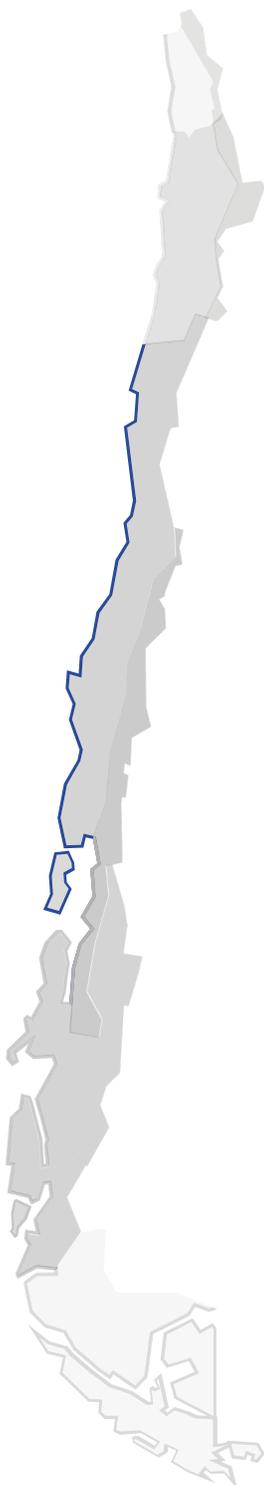


# 8 ZSTIH

## RESEÑA

La Zona 8 denominada ZSTIH o Zona Sísmica con riesgo de Tsunami, Incendios Forestales y eventos Hidrometeorológicos es la zona con mayor longitud, extendiéndose a través del cordón borde-mar de Chile incorporando todas las ciudades y poblados costeros entre Huasco y Puerto Montt. En el caso de esta última ciudad, se le ha agregado un (+V) para indicar que se encuentra también expuesto eventos volcánicos.

Cabe destacar que dentro de esta zona se encuentran tres grandes conurbaciones: el Gran Coquimbo, el Gran Valparaíso y el Gran Concepción, las que concentran un gran número de población.



## PRINCIPALES ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**III Región:** Huasco.

**IV Región:** La Serena, Coquimbo, Tongoy, Los Vilos, Pichidangui.

**V Región:** Papudo, Zapallar, Quintero, Concón, Viña del Mar, Valparaíso, Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Cartagena, San Antonio, Santo Domingo,

**VI Región:** Navidad, Pichilemu,

**VII Región:** Constitución, Curanipe,

**VIII Región:** Cobquecura, Tomé, Penco, Talcahuano, Concepción, San Pedro, Coronel, Lota, Arauco, Lebu, Tirúa.

**IX Región:** Puerto Saavedra.

**XIV Región:** Valdivia, Corral

**X Región:** Puerto Montt (+V), Castro, Ancud, Quellón, Dalcahue,

## HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



1906: Valparaíso / 1960: Concepción / 1960: Valdivia / 1985: Algarrobo / 2003: Coquimbo / 2010: Tirúa / 2012: Constitución / 2015: Coquimbo / 2017: Valparaíso. (CSN, 2018)



1906: Valparaíso – Penco y Tomé / 1922: Coquimbo / 1928: Constitución / 1955: Coquimbo y Tongoy / 1960: Coquimbo – Ancud / 1985: Valparaíso / 2010: Lolleo – Tubul. (SHOA, 2018)



2014: Valparaíso (Urbano) / 2017: Colchagua. (CONAF, 2017)



1984: Coquimbo – Biobío	2001: Maule
1985: O'Higgins – Biobío	2005: Biobío
1993: Maule – Biobío	2006: Biobío
1995: Maule – Magallanes	2008: La Araucanía
1997: Antofagasta – Los Lagos	2011: La Araucanía – Los Ríos (Henríquez et al, 2016)
2000: Valparaíso – Los Lagos	

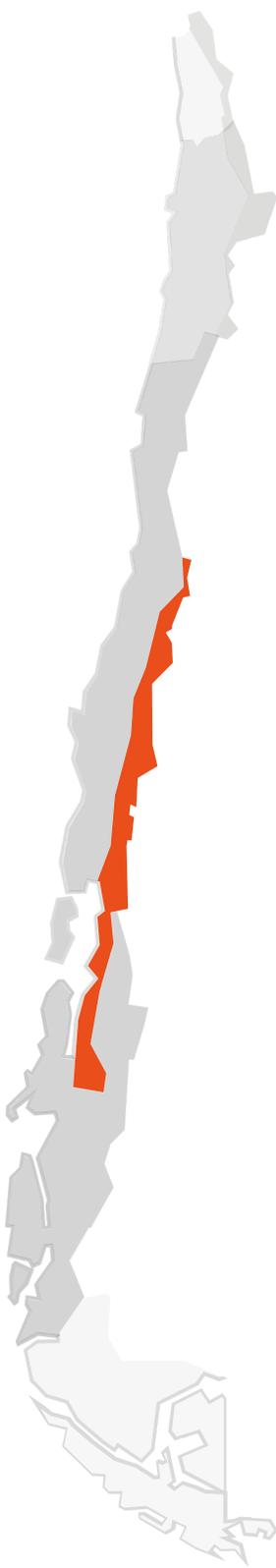


# 9 ZSIVH

## RESEÑA

La Zona 9 denominada ZSIVH o Zona Sísmica con riesgo de Incendios Forestales, eventos Volcánicos e Hidrometeorológicos es la segunda zona con mayor superficie dentro de la zonificación y constituye el cordón volcánico cordillerano, desde el Volcán Tupungatito en la Región Metropolitana hasta el volcán Hudson en la Región de Aysén. Cabe destacar que dentro de esta zona se encuentra los complejos volcánicos más importantes y activos de nuestro país.

La cantidad de entidades urbanas dentro de las zonas de riesgo volcánicas aumentan más hacia el sur, desde la Región de Los Ríos, donde la zona se desplaza desde el borde oriente del país, hasta en centro de la región, abarcando también zonas costeras



### PRINCIPALES ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**Región Metropolitana:** Bollenar.

**VI Región:** No existen entidades urbanas relacionadas

**VII Región:** No existen entidades urbanas relacionadas

**VIII Región:** Ralco, Trapatrapa, Butalebún, Palmucho, Chenuco,

**IX Región:** Lonquimay, Curacautín, Melipeuco, Curarrehue, Pucón, Villarrica,

**XIV Región:** Punahue, Puerto Fuy, Coñaripe Alto, Punahue, Choshuenco, Pocura, Hueinahue

**X Región:** Cochamó, Puerto Varas, Puyehue, Puerto Montt (+H), Puerto Octay, Hualaihue.

**XI Región:** Coyhaique, Ingeniero Ibáñez, Chile Chico.

### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)

 **1927:** Aysén (CSN, 2018)

R.M.: 1959, 1960 y 1986: V. Tupungatito / 1960: C.V. San José

VI Región: 1917: Tinguiririca

VII Región: 1932 y 1933: V. Descabezado Grande / 1932 y 1967: C.V. Cerro Azul-Quizapu / 2011: C.V. Planchón-Peteroa /

 VIII Región: 1973, 2016 y 2018: C.V. Nevados de Chillán / 1992: V. Antuco / 1992 y 2016 V. Copahue / 1980 V. Callaqui.

IX Región: 1988 y 1990 V. Lonquimay / 2008, 2009 y 2012 V. Llama / 2015: V. Villarrica.

XIV Región: 1955 y 1979: C.V. Carrán Los Venados / 2011: C.V. Puyehue-Cordón Caulle / 2015: V. Villarrica.

X Región: 1920: V. Hueiqui / 2008: V. Chaitén / 2015: V. Calbuco

XI Región: 1991 y 2011: V. Hudson. (SERNAGEOMIN, 2018)

 **1998:** Gran Guaitecas / **1999** La Rufina / **2017:** Colchagua (CONAF, 2017)

**1984:** Coquimbo – Biobío

**1985:** O'Higgins – Biobío

**1993:** Maule – Biobío

**1995:** Maule – Magallanes

**1997:** Antofagasta – Los Lagos

**2000:** Valparaíso – Los Lagos

**2001:** Aysén

**2005:** Biobío

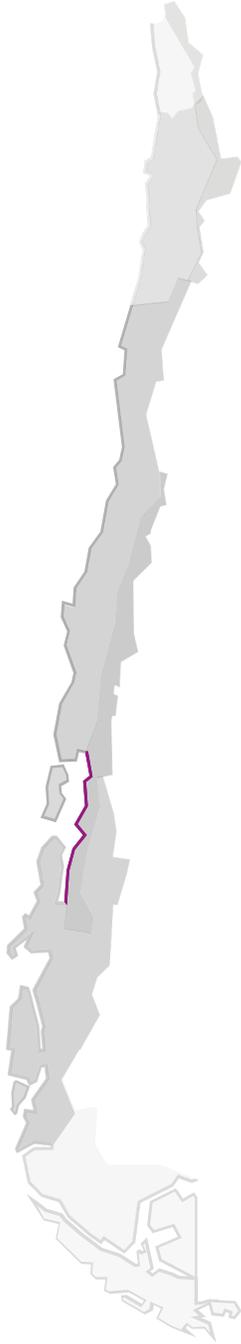
**2006:** Biobío

**2008:** La Araucanía

**2011:** La Araucanía – Los Ríos (Henríquez et al, 2016)



# 10 ZSTIV



## RESEÑA

La Zona 10 denominada ZSTIV o Zona Sísmica con riesgo de Tsunami, Incendios Forestales y eventos Hidrometeorológicos es una acotada franja costera que acompaña la zona ZSIVH desde Puerto Montt hasta Puerto Aysén, caracterizándose por contar con pocas entidades urbanas y porque ellas son las únicas en Chile que se encuentran expuestas tanto a riesgo de tsunami como eventos volcánicos. La ciudad de Puerto Montt se presenta con un símbolo +H ya que se encuentra en el límite de la zona de riesgo de eventos hidrometeorológicos. La particular articulación de estos dos riesgos se debe a la localización de complejos volcánicos activos en la Cordillera de los Fiordos Australes.

## PRINCIPALES ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**X Región:** Puerto Montt (+H), Chaitén.

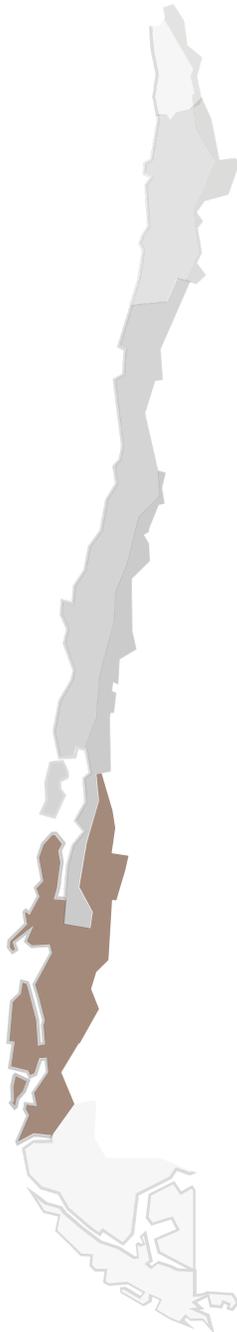
**XI Región:** Puerto Marín, Puerto Cisnes, Puerto Aysén

## HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)

-  **1927:** Aysén / **2007:** Puerto Aysén (CSN, 2018)
-  **2007:** Fiordo de Aysén (SHOA, 2018)
-  **XI Región:** 1991 y 2011: V. Hudson. (SERNAGEOMIN, 2018)
-  **1998:** Gran Guaitecas (CONAF, 2017)



# 11 ZSI



## RESEÑA

La Zona 11 denominada ZSI o Zona Sísmica con riesgo de Incendios Forestales es una zona que se ubica en el extremo austral de Chile, entre el sur de la X Región y el norte de la XII Región. Se caracteriza por poseer pocas entidades urbanas relacionadas y baja concentración demográfica. El principal impacto que tienen los incendios en esta zona es en el medio natural, considerando la existencia de grandes extensiones de tierra declaradas como parques y reservas nacionales. Debido al contexto climático, y sobre todo al geográfico de fiordos y ríos, el riesgo de eventos hidrometeorológicos en como sequías, aluviones e inundaciones disminuye hacia el sur.

### PRINCIPALES ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**X Región:** Cochrane, Villa O'Higgins,

**XI Región:** Villa Puerto Edén.

### PARQUES Y RESERVAS RELACIONADAS

**X Región:** Parque Nacional Laguna San Rafael/ Reserva Nacional Lago Cochrane / Reserva Nacional Katalalixar.

**XI Región:** Parque Nacional Bernardo O'Higgins / Parque Nacional Torres del Paine.

### HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)



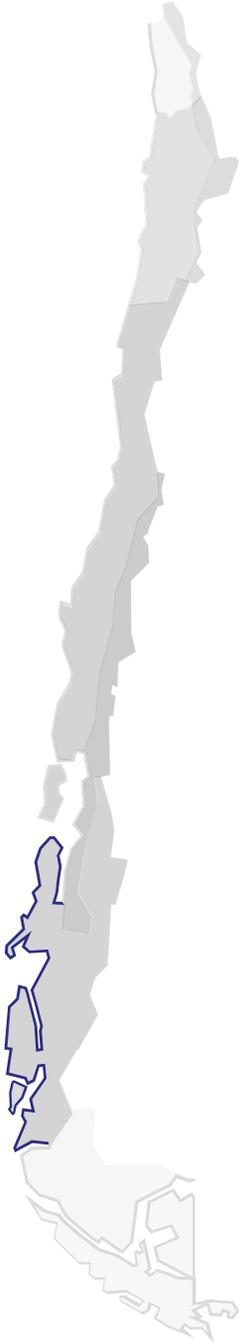
**1949:** Tierra del Fuego / **1927:** Aysén (CSN, 2018)



**1985:** Torres del Paine / **1998:** Gran Guaitecas / **2005:** Laguna Azul / **2011:** Río Olguin (CONAF, 2017)



# 12 ZSIT



## RESEÑA

La Zona 12 denominada ZSIT o Zona Sísmica con riesgo de Incendios Forestales y Tsunamis es una zona que se ubica en el borde mar del extremo austral de Chile, y es la franja costera que acompaña la zona ZSI. Se caracteriza debido a que dentro de esta zona se encuentran los característicos fiordos de la región de Aysén y Magallanes, destacando en ellos la presencia de entidades urbanas de menor envergadura, principalmente caletas.

## PRINCIPALES ENTIDADES URBANAS RELACIONADAS

**XI Región:** Guaitecas, Melinka, Tortel,

**XII Región:** No existen entidades urbanas relacionadas

## HISTORIAL DE EVENTOS CRITICOS (1900-2018)

 **1927:** Aysén / **1949:** Tierra del Fuego / **2007:** Puerto Aysén (CSN, 2018)

 No se identificaron eventos de magnitud para esta zona.

 **2007:** Fiordo de Aysén (SHOA, 2018)

### 8.3 ANEXO C – Criterios de diseño +RESILIENTE +SUSTENTABLE.

A continuación, se presentan y desarrollan cada uno de los 10 criterios generales u “objetivos” que componen el sistema y los criterios específicos o “acciones” asociados a ellos.

La información acerca de las diferentes características de cada uno de los criterios, la interrelación existentes entre ellos, qué ámbitos de la resiliencia lleva incorporados y si es que refieren a otros instrumentos, se ha sintetizado gráficamente en el rotulo que encabeza y lleva el nombre de cada criterio. El rótulo se ha elaborado con la finalidad de que toda la información pueda ser reconocida de modo rápido y fácil.



Figura 8.12:: Explicación rótulo de cabecera de criterios generales. (Fuente: Elaboración propia)

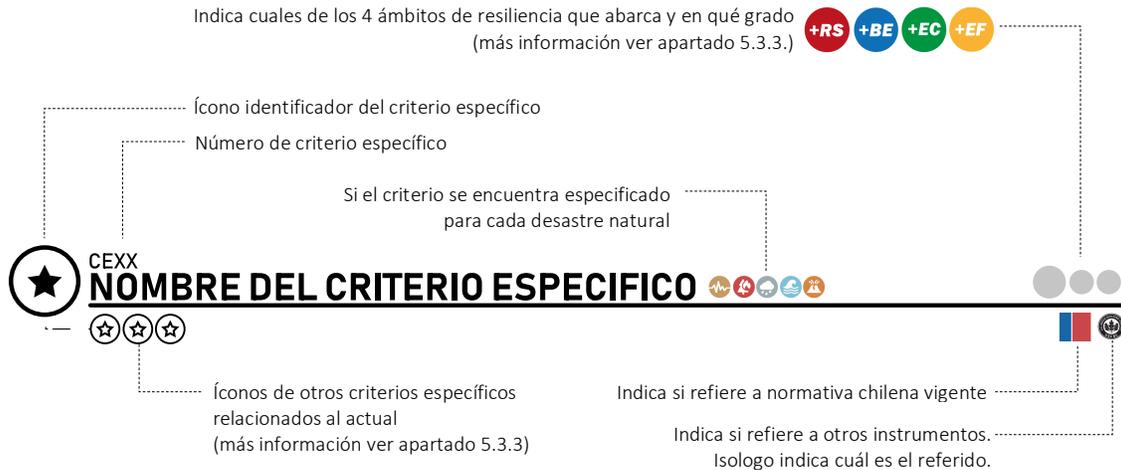


Figura 8.13: Explicación rotulo de cabecera de criterios específicos. (Fuente: Elaboración propia)

**SITIO** **CG01**  
**EMPLAZAR EL EDIFICIO EN ZONAS SEGURAS** **+R**  
**+S**

EL PROYECTO SE EMPLAZA EN ZONAS SEGURAS, SIN O DE BAJO RIESGO DE DESASTRE Y QUE NO SEAN ÁREAS PROTEGIDAS NI DE VALOR ECOLÓGICO.

El edificio no se emplaza en zonas costeras, pendientes empinadas, riveras de ríos y canales, zonas de interfase o intermix. No se emplaza cercano a cárceles, cementerios ni recintos militares. Para áreas rurales evitar zonas de hierba y matorral alto, bosque nativo adulto y bosque de coníferas. No ubicarse en áreas silvestres protegidas de Chile denominados parques nacionales, reservas naturales o monumentos naturales.



Se deberá consultar la zonificación de riesgos para identificar aquellos desastres con mayor prevalencia en la zona donde se ubicará el edificio. Luego se pueden identificar las zonas de manera más particular en el plan regulador comunal y/o regional vigente, o bien en los instrumentos que cada institución especializada provee Se pueden consultar en estos instrumentos, además la localización de instalaciones urbanas como cementerios, recintos militares y cárceles.

 Para identificar rápidamente zonas afectas a tsunamis, volcanismo o incendio forestal se puede visitar la web de la ONEMI: <http://www.onemi.cl/visor-chile-preparado/> Para información particular sobre tsunamis, se pueden consultar las cartas CITSU del SHOA <http://www.shoa.cl/php/citsu.php>.

 Para proyectos ubicados entre el sur de la III y la X región, se puede determinar el grado de riesgo de incendio forestal en la siguiente dirección de la CONAF: <https://conaf.carto.com/u/geprif>. Para áreas rurales consultar la Guía para trabajar con habitantes de áreas rurales y de la interface forestal urbana: [http://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1397679469TrabajoconHabitantes2013.pdf](http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1397679469TrabajoconHabitantes2013.pdf)

-  Para todos los proyectos ubicados entre las regiones II y X, afectas a riesgo ante inundaciones y aluviones como producto de fenómenos hidrometeorológico, podrán consultar más específicamente las zonas propensas a inundación en los planes reguladores de cada comuna.
-  Las zonas sísmicas de Chile para efectuar los cálculos estructurales del proyecto podrán ser encontrados en la Norma NCH 433 de 1996.

## CE02 **PROTECCIÓN DE ZONAS ECOLÓGICAS**

El edificio no debe emplazarse en zonas ecológicas ni en lugares cercanos a ellas, donde puedan verse impactadas negativamente por el proyecto. Se considerarán como zona ecológicas todas aquellas consideradas dentro del Sistema de áreas silvestres protegidas por el Estado (SNASPE), que se definen según la Ley 18362 de 1984 como Reservas de Región Virgen, Parques Nacionales, Monumento Nacional y Reserva Nacional. Diferentes cartas con la ubicación de estas áreas protegidas se pueden consultar en [http://www.bienesnacionales.cl/?page\\_id=1823](http://www.bienesnacionales.cl/?page_id=1823).

Se considerarán, también, como zonas ecológicas las contenidas en el Registro Nacional de Áreas Protegidas que además de las anteriores considera áreas denominadas como Reserva Forestal; Área Marina Costera Protegida; Parque Marino; Reserva Marina; Santuario de la Naturaleza; Área Protegida Privada. Considera además las designaciones Sitio Ramsar; Reserva de la Biósfera; Bien Nacional Protegido; Paisaje de Conservación; Sitio Prioritario Ley 19.300 (artículo 11, letra D); Sitio Prioritario Estrategia Regional de Biodiversidad. Más información se encuentra disponible en <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>

## CE03 **IDENTIFICAR OTROS RIESGOS**

Considerar la definición de desastre: *“situación o evento que abruma la capacidad local, necesitando asistencia externa a nivel nacional o internacional; un evento imprevisto y a menudo repentino que causa grandes daños, destrucción y sufrimiento humano”* (CRED, 2009)

Identificar otro tipo de riesgos, tanto de carácter natural como antrópico, existentes en la zona donde se emplaza el edificio y proponer estrategias de diseño para abordarlos de acuerdo con los demás criterios específicos. Se pueden considerar otros desastres naturales presentes en Chile de índole climático, tales como sequía, nevazones, temperaturas extremas como heladas y olas de calor, vientos con velocidades extremas; geológicos como avalanchas y desplazamiento de terreno; y de carácter biológico como lo son la marea roja, epidemias, entre otros.

De carácter antrópico se pueden considerar desastres relacionados con la contaminación de los recursos aire, agua o suelo; desastres de carácter tecnológico como escape de gases tóxicos a la atmósfera, accidentes en centrales nucleares y derramamiento de fósiles en la hidrósfera; desastres sociales donde el más común son enfrentamientos armados; y desastres por comportamiento humano negligente como accidentes automovilísticos a gran escala o aeronáuticos.

## **SITIO** **CG02** **CERCANO A SERVICIOS CRÍTICOS Y TRANSPORTE** +R +S

EL PROYECTO SE EMPLAZA CERCANO A SERVICIOS CRÍTICOS: CENTROS DE SALUD, SERVICIOS GUBERNAMENTALES, ESPACIOS PÚBLICOS Y TRANSPORTE, DE PREFERENCIA EN TERRENOS BALDÍOS, ENTREBLOQUES O CON EXISTENCIAS PARA SER RESTAURADAS.

El proyecto se encuentra cercano o medianamente cercano a supermercados, comercio menor, bancos, instalaciones cívicas, edificios de salud, espacios públicos significativos y con acceso cercano a paraderos de transporte público u ciclovías.

## **CE04** **PREFERIR LOTES EN CENTROS URBANOS** +BE +EF +RS

El edificio se encuentra en los centros de las zonas urbanas o localidades rurales, ocupando de preferencia lotes entre bloques y con preexistencias que puedan ser renovadas y/u ocupadas. Deberá estar, además, a 400 metros de espacios públicos significativos. Se consideran como “significativos” plazas, parques y áreas verdes en general con una superficie de al menos de 600 m<sup>2</sup> (LEED v4 NC- Surrounding density and diverse uses).

Centros de salud, preferentemente públicos como Hospitales, CESFAM y SAPU, y servicios de la siguiente lista, se encuentran en un radio de 800 metros del proyecto.

- Tienda de Abarrotes minorista.
- Minimarket, supermercados y megamercados.
- Mercados y ferias de verduras y frutas.
- Ferreterías
- Farmacia
- Centros de entretenimiento: recreación, cultura y/o gimnasios
- Servicio de lavandería y aseo.
- Restaurante, cafeterías.
- Salas Cuna.
- Servicios públicos, gubernamentales y bancos.
- Consultas o clínicas médicas de especialidades (centros de diálisis, etc.)
- Lugares de culto
- Carabineros o PDI
- Correos de Chile o servicios de encomiendas
- Radios, Diarios y Canales de Comunicación.



## CONEXIÓN CON CICLOVIAS Y TRANSPORTE PÚBLICO



El edificio se encuentra a 400 metros de paraderos de transporte público. Ciclo vías se encuentran a no más de 180 m desde los accesos al edificio. El proyecto podrá contemplar la delimitación de áreas exclusivas para ciclo vías, siempre y cuando se conecten a la red urbana (LEED v4 NC- Surrounding density and diverse uses).

El edificio deberá contar con bicicleteros calculados para al menos el 5% de los usuarios en hora punta. Considerar una ducha por cada 100 usuarios del edificio. Los bicicleteros deberán ubicarse a no más de 30 m de cualquier entrada del edificio (LEED v4 -NC-Bycycle Facilities).

Integrar estacionamientos exclusivos para vehículos eléctricos.

**EDIFICIO**

**CG03**

## ZONAS DE SEGURIDAD Y MITIGACION

+R  
+S

LAS ZONAS PERIMETRALES SON ÁREAS VERDES DISEÑADAS CON CRITERIOS DE PAISAJISMO RESILIENTE, ORIENTADAS A SER UTILIZADAS COMO ZONAS DE SEGURIDAD, DEFENSA Y MITIGACIÓN ANTE DESASTRES NATURALES

Las zonas perimetrales del proyecto se entienden como áreas verdes y públicas no extensivas orientadas a la actividad física y uso comunitario a través del diseño activo. Se diseñan para ser utilizadas como zonas de seguridad y mitigación al impacto del desastre natural a través de la gestión del suelo y especies vegetales involucradas en el proceso de diseño del paisajismo.

### CE06 PRIVILEGIAR ÁREAS VERDES

+BE +RS +EC



Se entiende la zona perimetral como el margen entre lo privado del edificio y lo público de la ciudad, para ello se constituye como espacio de transición a través de áreas verdes y de esparcimiento.

La superficie de áreas verdes es igual o mayor al 30% de la superficie construida del edificio. Se debe reducir los lugares de estacionamientos en superficie en al menos un 40% sobre una línea base calculada según los requerimientos de la O.G.U.C. (estacionamientos de personas con discapacidad no se descuentan) y ubicarlos en una posición estratégica de modo que sirvan como espacio de mitigación y defensa, particularmente ante la acometida de material fluido que puedan ser detenido usando elementos vegetales.

Además, deben existir estacionamientos exclusivos para los automóviles de las empresas recolectoras de residuos para reciclaje. Estacionamientos en subterráneos según los criterios de diseño correspondientes.

### CE07 PAISAJISMO RESILIENTE

+EC +RS +EF

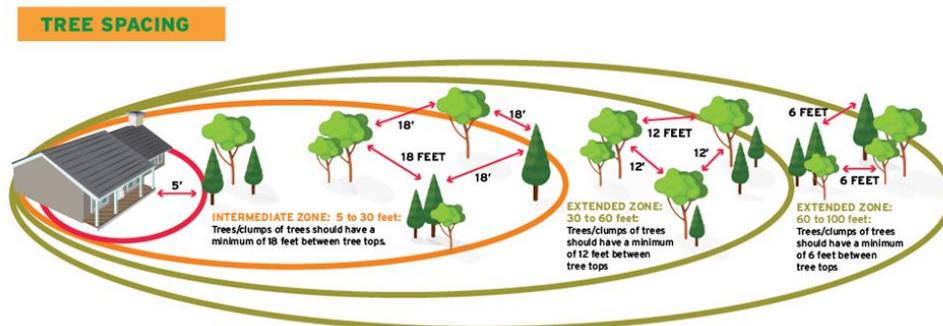


Además de ornamental, el paisajismo debe contribuir a la eficiencia energética y seguridad del proyecto utilizando vegetación y suelos como medida de protección y mitigación. En términos amplios se recomienda la utilización de especies nativas, de fácil reemplazo. En zonas desérticas y

centrales de Chile, se recomienda la utilización de jardines xerófilos, con bajo consumo de agua y utilizar la vegetación como método de enfriamiento vegetativo y sombras. En zonas australes se recomienda utilizar vegetación como protección al viento. Según el riesgo al que se vea expuesto el proyecto, se pueden tomar las siguientes recomendaciones:

## INCENDIOS FORESTALES

**Zonificación:** Utilizar criterios de sistema de estandarización Firewise (NFPA 2002), para el paisajismo. Considerar una Zona de seguridad de al menos 2 metros de espacio sin vegetación alrededor del proyecto, ramas de árboles a 6 metros lejos de la techumbre. No plantar nunca, inmediatamente alrededor de la casa, bajo respiradores y ventilaciones, bajo la techumbre, ramas sobre la techumbre. Utilizar vegetación nativa poco inflamable, en general que tengan alto contenido en agua y bajo contenido en savia o resinas. Evitar plantar coníferas. Evitar el uso de mulch. Considerar Una zona intermedia a los 3 y 15 metros de la construcción una separación entre árboles de al menos 5 metros. Una zona extendida primaria entre los 15 y los 30 m donde los árboles no deberían tener una separación menor a 4 m entre ellos. Considerar una zona extendida secundaria, entre los 30 y 50 metros de la construcción, donde los árboles tengan distancia no menor a 2 metros entre ellos.



**Figura 8.14: Diagrama de criterios de espaciamiento de elementos vegetales alrededor del proyecto.**  
(Fuente: [www.firewise.org](http://www.firewise.org))

**Árboles:** Evitar el efecto de combustión escalera (gradiente de tamaños de vegetación) en general utilizar árboles con las ramas sobre los 5 metros sobre nivel de piso, con una separación de 3 metros entre el mayor diámetro de sus copas. Si se plantan árboles que serán de gran altura, dejar un espaciamiento mínimo de 6 a 8 metros entre sus troncos.

Considerar el desarrollo de un plan de gestión y de políticas de podas, aseos y desmalezamiento  
 Considerar sistemas de riego (por aspersores o más eficientes) que pueda ser activado con mayor presión al momento del incendio para combatir el fuego.

**Arbustos y plantas:** De baja altura que crezcan cerca del suelo, con un espaciamiento entre ellos de 2 veces la altura del arbusto. Recomendable utilizar arbustos de largo tiempo de crecimiento. No utilizar arbustos como pantallas visuales para instalaciones de bombonas de gas u otros combustibles.

**Caminos e infraestructura urbana:** Crear zonas de cortafuegos, caminos que sirvan como vía de evacuación: utilizar materiales y suelos ignífugos: paredes de piedra, caminos de maicillo, roca funcionan como cortafuegos; maderas con mayor resistencia al fuego: arce, álamo, cerezo. Si el proyecto utiliza biomasa como combustible no dejar lugar de acopio al exterior.

## TERREMOTOS

**Zonificación:** Considerar espacios libres al exterior para ser utilizados como lugares de evacuación, puntos de reunión y zonas de seguridad delimitadas, lejos de ventanas de gran tamaño o elementos colgantes que pudieran caer; instalaciones eléctricas y/o de gas. Estos espacios, además, puedan ser utilizados para disponer de carpas, baños químicos, o equipamiento de seguridad. Superficie zonas de seguridad: 0,5 m<sup>2</sup> por persona, cercano a equipamientos como baños, etc.)

**Vegetación:** Evitar árboles con ramas que se puedan desenganchar fácilmente. Realizar gestión de poda)

**Caminos e infraestructura urbana:** Evitar la instalación de obstáculos que pudieran dificultar la evacuación a través de las vías, utilizar suelos pavimentados, antideslizantes como vías de evacuación.

## HIDROMETEOROLÓGICOS (INUNDACIONES Y ALUVIONES)

**Infraestructura verde:** utilizar criterios de infraestructura verde integrados con criterios de infraestructura gris dentro de las instalaciones urbanas, por ejemplo, utilizar criterios de:

- Biorretención: adaptaciones del terreno que proveen almacenamiento e infiltración en el lugar, recolectando las escorrentías de agua. El agua es directamente recolectada desde las superficies hasta depresiones utilizadas como canaletas o como estanques de infiltración. Se utiliza vegetación tolerante al agua.
- Techos azules (*Blue roofs*): diseñados para mantener hasta ocho pulgadas de precipitación en su superficie. Es comparado con un techo verde, pero sin suelo ni vegetación. Luego de la precipitación, el agua es almacenada y controladamente descargada.
- Pavimento Permeable: incluyendo adoquines con espacios, permiten que la escorrentía sea absorbida a través del pavimento. Luego se deposita en estanques bajo el suelo donde el agua se filtra al subsuelo.
- Almacenamiento subterráneo: detienen la escorrentía en receptáculos subterráneos que lentamente la liberan.
- Trinchera de árboles (*Tree trench*): Consiste en una línea de árboles que está conectada por una estructura de filtración subterránea. Bajo el suelo los árboles están plantados en capas de grava y tierra que retienen y filtran el agua.
- Estanques de retención: Consiste en depresiones en el suelo que sirven para almacenar el agua lluvia y liberarla gradualmente en la medida que se va llenando.
- Extender humedales naturales: a través de la creación, restauración o mejoramiento de áreas existentes.

**Infraestructura urbana:** utilización de reservas de aguas, pequeñas represas y sistemas de compuertas que puedan ser utilizadas para riegos: diques, con sistemas de canalización de rebases para ser ocupadas en acopio o riego. Pequeños embalses y estanques. Desconexión de canaletas de aguas lluvias de la red sanitaria y manejo de aguas lluvias a nivel local, mediante sistema de acumulación y reparto. Utilización de techos verdes y azules, que son los que se proyectan para el manejo y acopio de aguas lluvias. Almacenaje debajo de los estacionamientos, de las calles, y de las aceras que vacían a través de pequeños agujeros en el sistema de alcantarilla o se infiltra en el suelo.

**Suelos:** naturales, con una capa de vegetación o mulch que prevengan el impacto directo de la gota de agua, suelos permeables que permitan la infiltración del agua. Pavimentos porosos.

**Vegetación:** Utilización de *raingardens*; canales de drenaje con césped (*grassy swales*); embalses de retención y detención de aguas a través de depresiones provocadas en la morfología del suelo. Plantaciones de árboles en general y proyección de humedales artificiales, cuando sea pertinente.

## EVENTOS VOLCÁNICOS

**Zonificación:** Áreas exteriores y evacuaciones orientadas con relación a la dirección del impacto del volcán. Ubicar suelos pavimentados y rutas de evacuación hacia carreteras e infraestructura vial.

**Vegetación:** Paisajismo con especies vegetales de las siguientes características:

- Vegetación alta, difícil de enterrarse y que pueda servir de pantalla para atrapamiento de cenizas y humo, hacia el edificio.
- Especies más endebles, árboles frutales, hortalizas que queden protegidas por el edificio y no ser plantadas a nivel del suelo. Especies nativas, resistentes a la composición química de la tefra y al enterramiento
- En huertos comunitarios, evitar plantar árboles frutales.
- Árboles y especies vegetales de hojas gruesas, que puedan soportar el impacto y la acumulación de cenizas.
- Especies vegetales que no necesiten de tanto sol, para soportar descenso de temperaturas producto de humo en el aire que tapaná el sol.
- Evitar árboles que puedan desengancharse con facilidad, por ejemplo, coníferas y pinos.

**Caminos e infraestructura urbana:** Utilizar vías de evacuación con elementos de protección ignífugos. Suelos y elementos del paisajismo deben ser diseñados para desviar el paso de lava del edificio. Como elementos ignífugos se pueden considerar bancos de arena y tierra, Incluir paños de agua para solidificar entradas de material piroclástico.

## TSUNAMIS

Existen tres técnicas para reducir el riesgo de tsunami en el sitio:

- Evitar: es el método de mitigación más efectivo. Planificar los niveles del sitio, situar los edificios e infraestructura en lugares altos o sobre estructuras con un nivel mayor al de inundación.
- Desacelerar: involucra crear fricción que reduce el poder destructivo de las olas. Diseñar bosques, surcos, pendientes y bermas pueden retardar y filtrar los residuos que arrastran las olas.
- Conducir: Técnicas para guiar forzosamente al tsunami lejos de estructuras vulnerables y personas, colocando y separando estratégicamente las estructuras, utilizando muros inclinados y surcos. Utilizar pavimentos con poca fricción para conducir el agua.
- Bloquear: Estructuras macizas como muros, terrenos compactados y bermas, edificios de estacionamientos y otras construcciones rígidas pueden bloquear la fuerza del agua. Bloquear, sin embargo, puede amplificar la altura de la ola y redirigir su energía a otras áreas

De estas cuatro técnicas los expertos indican que a mayor cantidad de olas bloqueadas por el edificio más cargas deberán soportar, por lo tanto, la estrategia de conducir o hacer pasar el agua por debajo del edificio puede proveer mejores resultados.

**Vegetación:** Barreras de árboles en dirección del impacto del tsunami, nunca detrás por efecto resaca. Las densidades moderadas son las más efectivas en la mitigación del tsunami. Mayor densidad en la dimensión vertical del árbol. Elementos vegetales dentro de la distancia entre el edificio y la línea de costa ya que se ha observado que plantar cerca de los edificios es una de las mejores barreras contra tsunami. Además, se recomienda preservar barreras naturales o dunas a lo largo de la costa. Reportes de eventos de tsunami arrojan que los edificios cubiertos por barreras naturales efectivas fueron menos vulnerables a las olas



**Áreas exteriores:** Las áreas perimetrales deben estar orientadas al uso comunitario y a fomentar la actividad física. Se pueden contemplar el uso de los siguientes programas (LEED v4 NC Open space)

- Áreas orientadas a los peatones con elementos físicos del sitio que permiten actividades sociales al aire libre. (sitios de reunión, glorietas, escenarios, espacios sombreados, ferias transitorias, actividades de fines de semana, etc.)
- Áreas orientadas a la recreación con elementos físicos del sitio que fomentan la actividad física: (Máquinas de ejercicio, pistas de patinaje, pistas de atletismo, skateparks, juegos de agua, zonas de niños, espacios para ciclistas, entre otros)
- Espacios ajardinados con diversidad de tipos de vegetación y especies que ofrecen oportunidades para el interés visual durante todo el año;
- Paisajismo comestible: Espacios ajardinados dedicado a los huertos comunitarios o a la producción urbana de alimentos.

En la medida que sean aplicables se pueden incorporar los criterios contenidos en la “Recomendaciones De Análisis Y Diseño De Espacio Público” del MINVU.

**Áreas interiores:** Algunos recintos del edificio deberán estar diseñados y habilitados para ser utilizados por la comunidad, para reuniones, espectáculos, eventos deportivos entre otros. Al menos tres de los siguientes espacios deberán ser accesibles y estar habilitados para el uso de la comunidad:

- Auditorio
- Gimnasio
- Comedor
- Salas de clase
- Áreas de juego o espacios deportivos
- Estacionamientos (LEED v4 O+M: Schools / Joint use facilities)
- 

El edificio debe considerar accesibilidad universal, para ello deben considerarse la Normativa de Accesibilidad Universal OGUC/Chile, decreto 50 de 2016.

EDIFICIO

CG04

## MORFOLOGIA SEGURA Y RESPONSIVA

+R  
+S

LA FORMA GEOMETRICA Y ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO SE PLANEAN PARA AUMENTAR SU RESISTENCIA FRENTE A DESASTRES NATURALES Y SU EFICIENCIA ENERGÉTICA. LA COMPOSICIÓN FORMAL DEL EDIFICIO SE INTEGRA Y HACE UN MEJORAMIENTO AL ENTORNO SOCIAL Y PAISAJISTICO.

La composición formal y volumétrica del edificio se logra a través de alcanzar parámetros de eficiencia energética, seguridad ante desastres naturales y de responsabilidad con el entorno natural, respetando el soporte geográfico, paisaje y vistas importantes para la comunidad y/o que se determinen como relevantes de mantener.

La estética del edificio, lograda a través de los materiales utilizados, el tratamiento de la fachada y la composición volumétrica, se integra armoniosamente a las edificaciones preexistentes, a la idiosincrasia y el imaginario de las comunidades, sus costumbres y sistemas constructivos, logrando incorporarse también a la trama y entorno social y cultural.

## CE09 PREPARADO DESDE LA FORMA

+RS +EF

La composición formal y la orientación del edificio deberán integrar criterios de eficiencia energética y criterios de resistencia frente a los desastres naturales respecto al contexto geográfico y climático en el que se encuentre.

Los aspectos relacionados con el diseño pasivo de los edificios para eficiencia energética se podrán encontrar en el Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en Edificios Públicos (DA-MOP / MINEDUC). Se deberán considerar especialmente aquellos referidos a:

- Orientación del edificio con respecto al norte
- Tratamiento de las fachadas según orientación (% Acristalamiento y protección solar)
- Factor Forma en relación con el clima y microclima del lugar de emplazamiento.

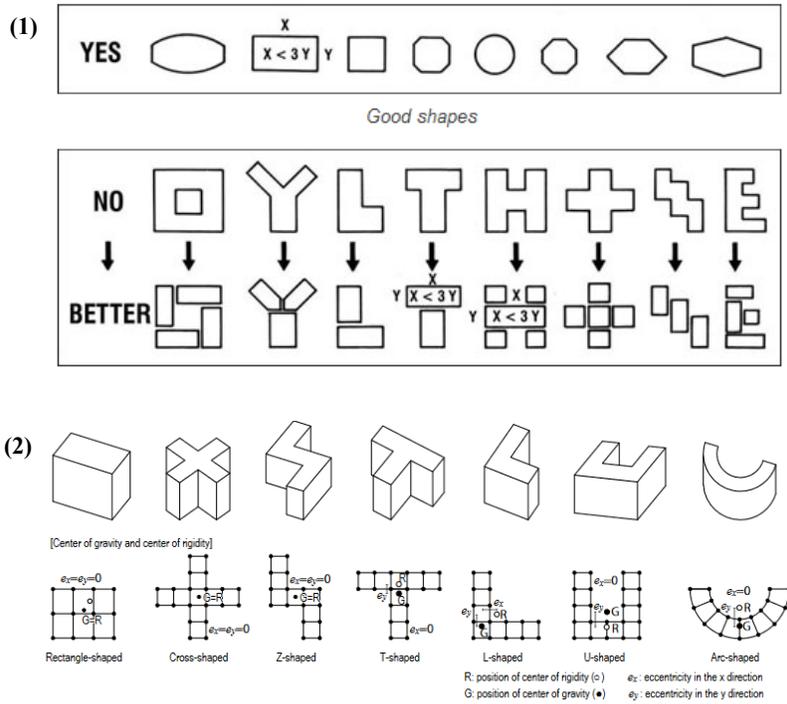
Los aspectos de resistencia y seguridad están relacionados al comportamiento físico de las formas frente a la acción de fuerzas y/o las operaciones espaciales que se le deben realizar a los volúmenes para soportar los efectos de los siguientes desastres:

# TERREMOTOS

**MORFOLOGIA:** Como principio general se recomienda utilizar formas lo más regulares posibles para evitar torsiones (centro de gravedad y centro de rigidez coincidentes) Distribución de los elementos estructurantes dentro de la planta.

Las configuraciones morfológicas antisísmicas más recurrentes tienen las siguientes atribuciones:

- Baja relación entre la altura y la base.
- Planta simétrica
- Elevaciones y secciones uniformes
- Resistencia máxima a la torsión, por distribución de los muros y apoyos.
- A mayor altura del edificio los esfuerzos de torsión son mayores.

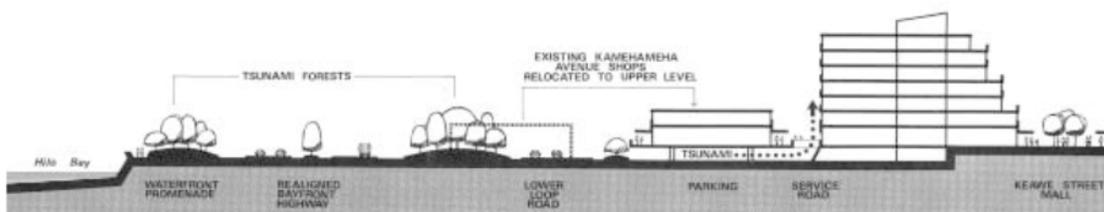


**Figura 8.15: Ejemplos de volúmenes geométricos antisísmicos (1) Formas geométricas apropiadas y partición de aquellas que no lo son (Fuente: JASO, 2012) (2) Trama de estructura en formas antisísmicas y ubicación de los centros de rigidez y gravedad (Fuente: Naeim, 1989)**

## TSUNAMIS HIDROMETEOROLÓGICOS (INUNDACIONES Y ALUVIONES)

**ALTURA:** Edificios con altura son efectivos para aguantar el impacto de olas, además para que pisos superiores se ocupen como refugio, lugar de evacuación o donde ubicar las instalaciones críticas del edificio. En edificios de pocos pisos esta altura se puede ganar a través del uso de pilotes y/o el uso de plantas bajas abiertas lo que puede reducir la presión hidrostática del agua en gran medida. Los muros en estas plantas podrían desprenderse en el impacto. Considerar evacuación vertical.

En el caso de la planificación del centro de la ciudad de Hilo en Hawaii, un edificio de estacionamientos y comercio se eleva del suelo para proteger el edificio de negocios. A su vez, este edificio protege la calle y el centro de la ciudad

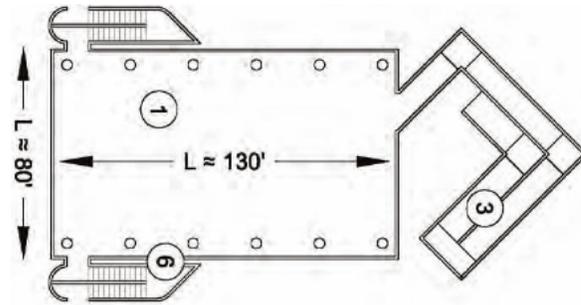


**Figura 8.16: Corte transversal de la planificación del centro de la ciudad de Hilo, Hawaii (Fuente: NOAA, USGS, FEMA, 2001)**

**FORMA Y ORIENTACIÓN:** La geometría y orientación del edificio ante el impacto de la ola de tsunami son parámetros importantes que considerar. Con respecto a la orientación, la mejor orientación es perpendicular al impacto de la ola. Con respecto a la forma, estudios han demostrado que en general las formas cúbicas tienen alto grado de vulnerabilidad respecto a las olas del tsunami, sobre todo las formas cuadradas alargadas. En este caso son mejores las formas compactas y simples, hexagonales o circulares

Se pueden utilizar, además, formas disuasivas del agua, la energía de la ola y los escombros. Por ejemplo, en la Fig. 8.17 se puede observar la planta de un edificio que puede ser utilizado como sala multiuso o gimnasio, y se encuentra emplazado perpendicular a la dirección del impacto de la ola con la punta en forma de diamante, con el fin de desviar el flujo del agua y los escombros. El edificio

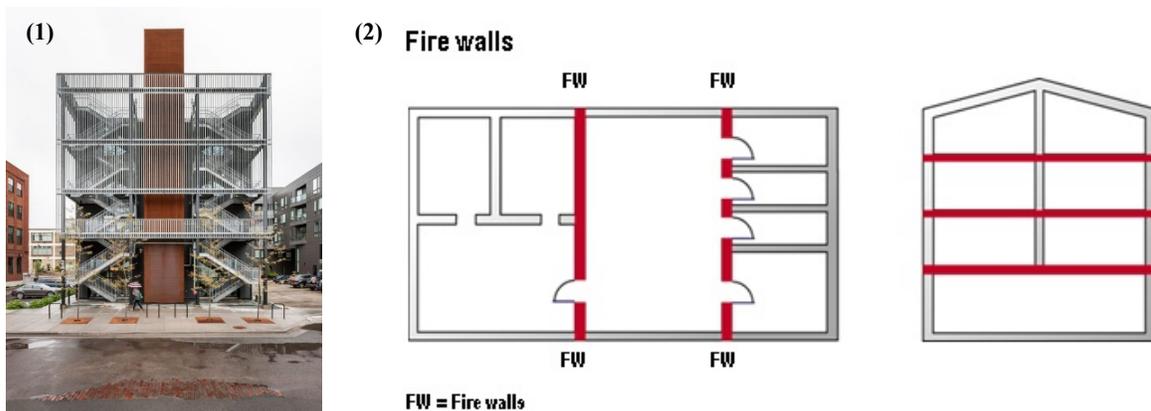
queda separado del suelo, y es posible acceder a él, a través de esta punta de diamante que no contiene programa, solo rampas de acceso



**Figura 8.17: Ejemplo de planta de un edificio diseñado para resistir embate de tsunami (Fuente: FEMA, 2008)**

## INCENDIOS FORESTALES

**FORMA:** En caso de que el incendio forestal se propague y logre alcanzar al edificio, es importante incorporar estrategias de diseño pasivo contra incendio en el diseño de la edificación. La forma geométrica del edificio no es tan importante como la forma de organización interior. El principio aplicado globalmente es el de compartimentación y separación utilizado para controlar la propagación del fuego, el gas y el humo. Se logra dividiendo o subdividiendo el edificio en una serie de zonas separadas a través de muros y losas. Se utilizan para contener el fuego en lugares cerrados del edificio por un periodo de tiempo, proporcionado protección y vías de escape.



**Figura 8.18: (1) Edificio de oficinas Fast Horse, Minneapolis (Fuente: Samelia Architects) (2) Diagrama de compartimentación de espacios interiores (Fuente: www.fischer.de)**

Considerar la utilización obligatoria de muros cortafuegos en los muros colindantes con predios o construcciones. Además, considerar las vías de evacuación exteriores como elementos que podrían ser una oportunidad en el tratamiento de fachadas (Fig 8.18).

**Cielos y techumbre:** Considerar elementos para ventilar espacios cerrados, sótanos y espacios atrios como lugares por donde se pueden evacuar humo y gases tóxicos. Considerar también cavidades (entretechos, entre cielos) que puedan servir como vía libre para el humo. Para la techumbre se recomiendan techos bien inclinados, con relación 3:12 para facilitar la caída de ceniza. Sin aleros ya que aumenta el riesgo de atrapar cenizas traídas por el viento, bajo ellos, durante incendios forestales.

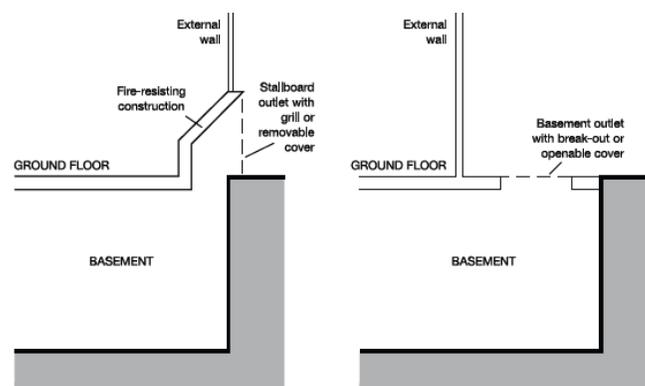


Figura 8.19: Escotillas y espacios de ventilación en sótanos para liberar humo y gases tóxicos (Fuente: cms.thebuildingregulations.org.uk, 2018)

## EVENTOS VOLCÁNICOS

**ALTURA:** Mismas consideraciones formales que para inundación pueden incrementar la resistencia a las inundaciones de lavas o lahares.

**TECHUMBRE:** Mismas consideraciones que para incendios. En este caso pendientes empinadas entre 25 y 45°

**FORMA:** Geometría simple, manteniendo las esquinas tan sencillas como sea posible sobre la estructura. Evite formas y materiales verde, que no sólo capturen cenizas, sino que sean susceptibles al daño del viento.



La forma del proyecto se desarrolla en el marco de un plan de protección de vistas significativas del paisaje o contexto urbano y de la identidad de la comunidad. Esto puede incluir:

- Desarrollar un plan de manejo de árboles en el sitio, vegetación y otras características.
- Remover barreras, estructuras o vegetación para restaurar vistas, preservando y restaurando el paisaje natural perdido o dañado.
- Mejorar el carácter local del paisaje natural o tejido urbano a través de la restauración de existencias.
- El proyecto encaja con el carácter local en la ubicación del proyecto. (preexistencias ambientales, sistemas constructivos locales, pueblos ancestrales, materiales regionales, participación ciudadana, imaginario y/o requerimientos de la comunidad, etc.) (ENVISION QL3.2)
- Expresión artística significativa que genere impacto positivo; turismo, etc.
- Restaurar y reactivar edificios abandonados que son significativos para la comunidad.

**EDIFICIO** **CG05**  
**MATERIALES RESISTENTES Y RECUPERABLES** **+R**  
**+S**

LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DEL PROYECTO SON RESISTENTES, ADAPTABLES A DIFERENTES NECESIDADES, FLEXIBLES Y DE FÁCIL REPARACIÓN. SE UTILIZAN MATERIALES RESISTENTES Y DURABLES Y CONTRIBUYEN A LA CALIDAD AMBIENTAL INTERIOR. CONTIENEN MATERIALES RECICLADOS Y TIENEN ALTA POSIBILIDAD DE SER RECUPERADOS.

Se incorporan en el diseño sistemas constructivos para el proyecto que sean flexibles, adaptables, transformables y de fácil reparación. Para su construcción se prefieren materiales de bajo impacto ambiental, regionales, recuperados o con alto porcentaje de material reciclado y/o aquellos que son posibles de separar para su recuperación. El diseño y constitución de la envolvente del edificio y su sistema estructural están orientados a brindar el mayor confort interior en términos térmicos pasivos y acústicos en todo momento, además de resistir y proteger a los ocupantes del edificio ante desastres naturales.



El edificio deberá contar con una envolvente construida a partir de sistemas constructivos y materiales que sean resistentes a los desastres naturales propios de la zona y que además brinden el mayor confort interior posibles, contribuyendo a la eficiencia energética del edificio.

El edificio deberá ser capaz de mantener un buen desempeño térmico interior para responder ante eventos de corte de suministro de energía o no abastecimiento de energéticos como combustibles o biomasa. Esto se podrá lograr de manera pasiva o de manera activa, siempre y cuando las instalaciones puedan funcionar con energéticos limpios o ERNC.

En materias de desempeño térmico durante el funcionamiento normal del edificio, se deberán considerar los requerimientos del TDR para confort adaptativo, además de aquellos referidos a transmitancia térmica y hermeticidad de la envolvente según la zona del país en el que se encuentre. Durante la catástrofe o fase de recuperación, o sin suministro de energía el edificio debería mantener el mismo desempeño en términos pasivos o bien funcionar con energéticos limpios o ERNC. Si el edificio se encuentra en zonas extremas donde no se pueden alcanzar por medios pasivos los rangos de confort adaptativo y no cuenta con sistema activos alimentados con ERNC o estos sean insuficientes, se deberá recurrir a los criterios de “seguridad térmica” de RELi: que indican

que, durante los meses de verano, la temperatura interior no debería superar la temperatura exterior y durante el invierno la temperatura interior no debería descender de los 15°, como se explica en la tabla a continuación.

**Tabla 8.1: Requerimientos de Confort Térmico para ambos regímenes de funcionamiento. (Fuente: Elaboración propia)**

RÉGIMEN NORMAL	RÉGIMEN EMERGENCIA	
PASIVO / ACTIVO	PASIVO / ACTIVO (CON ERNC)	PASIVO (SIN ERNC)
CONFORT ADAPTATIVO TDRé CES (ARQ.CAI 1.1)	CONFORT ADAPTATIVO TDRé CES (ARQ.CAI 1.1)	SEGURIDAD TÉRMICA (RELi)

Para confort acústico, en general se deberán considerar los criterios y requerimientos del CES y del TDRé, respecto a:

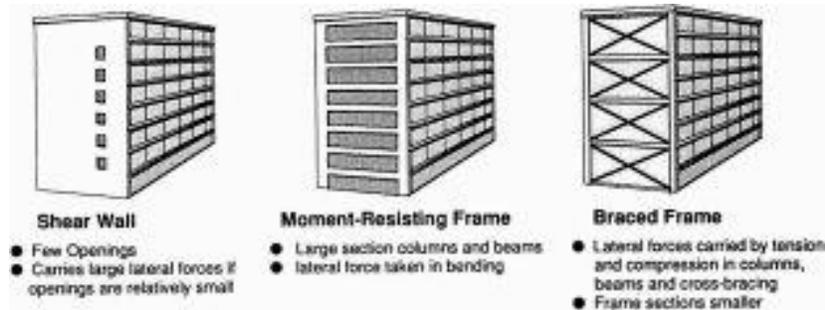
- Aislación acústica de ruido exterior (ARQ.CAI 4R)
- Aislación acústica de fachada (ARQ.CAI 4.1)
- Aislamiento acústico al ruido aéreo entre dos recintos (ARQ.CAI 4.1)
- Acondicionamiento Acústico – Tiempo de reverberación (ARQ.CAI 4.2)
- Acondicionamiento Acústico – Inteligibilidad de la palabra (ARQ.CAI 4.2)
- Control de ruido proveniente de equipos (INST.CAI 12)

Para la elección de sistemas constructivos, materiales y normativa asociada a criterios de diseño y cálculo estructural se pueden considerar las siguientes recomendaciones:



**SISTEMAS CONSTRUCTIVOS:** Se deberán utilizar los sistemas constructivos mencionados en la norma o aquellos considerados en:

- muros arriostrados
- pórticos o sistemas mixtos
- muros portantes.
- marcos resistentes al momento
- marco reforzado con diagonales.



**Figura 8.20: Sistemas constructivos antisísmicos: muros portantes, marcos resistentes al momento, marco con diagonales (Fuente: Neim, 1989)**

**ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES:** Se deberán considerar las recomendaciones contenidas en el manual FEMA E-74 Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage con respecto a los siguientes elementos no estructurales del proyecto:

- Elementos en fachadas, se deberán considerar muros sin enchapado sobre los 3 metros de alto ni en muros adyacentes a zonas peatonales; crear toldos que puedan sujetar enchape si se desprenden. Proporcionar una zona adyacente sin acceso a los peatones como zonas de amortiguación para desarrollar paisajismo.
- Vidrios: utilizar vidrio laminado. No utilizar vidrio cerca de salidas de emergencia, utilizar filmes plásticos que también puede mejorar el desempeño térmico del muro. Proporcionar una zona adyacente sin acceso a los peatones como zonas de amortiguación para desarrollar paisajismo. En particiones vidriadas utilizar de vidrios de seguridad. No utilizar en vías de evacuación.
- Particiones interiores: particiones sólidas y livianas: utilización de correctas fijaciones. Arriostrar con particiones perpendiculares. Revestimientos interiores resistentes a la torsión, evitar cerámicos y mosaicos en zonas de evacuación.
- Cielos: Suspendidos y fijos sobre la estructura: Materiales livianos. Cuando se instalen luminarias pesadas deberán ser fijadas a una estructura independiente. Considerar materiales y otros elementos como: frontones; escaleras; chimeneas.

**AISLACIÓN SISMICA:** Se pueden incluir sistemas de protección sísmica activos, semi activos y pasivos. Dentro de estos últimos se consideran sistemas de disipación de energía o de aislación.

Otra categoría de protección son los Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS) También, considerar incluir sistemas de protección y aislación sísmica como lo son sistemas de montaje flexibles, como soportes elastómeros o mecanismos de amortiguación; como son metales deformables, amortiguación de elastómeros. Los más comúnmente utilizados son soportes elastómeros, soportes de caucho, rodamientos de goma soportes *Friction pendulum* y *Triple pendulum*.



**SISTEMAS CONSTRUCTIVOS:** En general, deberían ser los mismos que para sismos. La norma contempla especial cuidado en el diseño de fundaciones, en relación con el tipo de suelo donde se emplace el edificio y el efecto de socavación. Consideración especial con fundaciones expuestas.

Considerar especialmente en edificios:

- Construidos sobre el terreno lateral.
- Elevados sobre subestructuras que permiten el paso del agua; distanciamiento, pilares y arriostramientos.
- Edificaciones, bajo la cota de inundación, que no permiten el paso de agua
- Edificaciones sobre relleno.

Algunos criterios que considerar para el diseño arquitectónico son:

- Instalar pilares macizos para soportar el edificio.
- Considerar el impacto de escombros
- Considerar en el cálculo y diseño estructural, las cargas correspondientes a evacuación vertical del edificio

**MATERIALES ESTRUCTURALES:** Preferir utilización de concreto armado o estructuras de acero en vez de madera. Utilizar seawalls para proteger la estructura principal.

**ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES:** de materiales livianos, preferibles para ser llevados por las olas que para bloquearlas.



## INCENDIOS FORESTALES

NORMATIVA APLICABLE: NCh 935 /1; NCh 935/2 NCh 2209 OGUC. CAP. 3

**MATERIALES:** Deben cumplir exigencias de resistencia al fuego O.G.U.C Art. 4.3.2.

**PROTECCION PASIVA DE INCENDIOS:** En general, el uso de materiales no combustibles (minerales y pétreos: concreto y yeso) y/U otros con tratamientos ignifugantes (pinturas intumescentes, retardadores, recubrimientos minerales, entre otros) Se deben considerar, incorporar el uso de materiales constructivos como:

- Aislación retardante (lana mineral, LECA (arcilla expandida), minerales expandidos, y celulosa son buenos ignifuges)
- Geo polímeros
- Aditivos del concreto como fibras de propileno.

**ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS:** Se deberán considerar los siguientes criterios con especial consideración cuando estos elementos se encuentren cercanos a medios de salida y vías de escape:

- Para la techumbre, considerar especialmente cubrir la techumbre con materiales ignífugos, cubiertas azules y verdes. Utilizar cortafuegos según OGUC.
- En tragaluces utilizar vidrio templado.
- En ventanas utilizar cristales de vidrio templado, low-e o con películas plásticas. No considerar marcos de PVC ni de madera.
- En revestimientos exteriores considerar materiales incombustibles o resistentes a la ignición.
- Materiales empleados para muros de pasillos protegidos y vías de evacuación deberán contar con resistencia al fuego > F-120
- Revestimientos interiores y cielorrasos se deberá controlar el uso de materiales textiles y de vinilo expandidos, enchapados plásticos y trims. No se utilizarán Plásticos de espuma.
- En pisos y pavimento utilizar materiales ignífugos o retardantes y consideración con la transmisión de calor radiante.

## EVENTOS VOLCÁNICOS

En general, se deben considerar dos tipos de resistencia:

**CAÍDA DE TEFRA Y CENIZAS:** considera los siguientes elementos estructurales y recomendaciones:

- Para las techumbres se recomienda el uso de concreto reforzado para soportar cargas superiores a la de la nieve.
- Superficies lisas para evitar acumulación de cenizas.
- Metales y pinturas en techumbres no se recomiendan ya que pueden sufrir corrosión y lixiviación. Canaletas protegidas y/u ocultas para evitar acumulación de ceniza.
- Las ventanas deberán contar con pantallas y protección porque pueden sufrir abrasiones producto de la caída de la tefra.
- En elementos interiores considerar superficies impermeables, lavables para limpieza de cenizas.

**IMPACTO DE LAVA O LAHARES:** En general, considerar edificios de concreto armado ya que son más resistentes que edificios de madera. Considerar elementos de refuerzo a las cargas laterales ante el impacto de lava o lahar. Seleccionar materiales de revestimiento exterior resistentes a la lava (Wolframio, Acero, Níquel, Cobalto, Titanio)



Se utiliza como criterio extender la vida útil del proyecto, a través de la seleccionar productos y sistemas diseñados con garantías de por vida, que reúnan condiciones de reciclaje, reutilización, desmontaje y reparación, de modo que se puedan adaptar fácilmente a los requerimientos que eventualmente surjan durante el tiempo.

- Seleccionar productos, materiales y sistemas constructivos que tengan algunas de las siguientes propiedades:
- Un alto grado de utilidad y reparable, posible de remendar y/o reemplazar.
- Mejorable, movable, escalable, extensible, expansible.
- Alto grado de resistencia al desgaste y/o de esconder rasguños y desgaste

- Gana carácter con el desgaste del clima / estética atemporal o clásica.
- Fácil de ajustar modular, variable, personalizable, convertible
- Posible de particionar, segmentar y variar.
- Pueden ser fácilmente desensamblados, para ser reutilizados, reciclados y / o hechos compost.

Además, se deben tener en consideración los siguientes criterios de elección de los productos y su instalación en el proyecto:

- Usar tan pocos tipos de componentes como sea necesario.
- Estandarizar el uso de sujetadores y fijaciones y mantener la coherencia con el diseño.
- Hacer componentes fácilmente separables.
- Identificar diferentes materiales para facilitar la separación.
- Mantener el buen acceso a componentes y fijaciones para ser reparadas (RELi)



Utilizar materiales, productos y componentes que sean social, ecológica y ambientalmente responsables, preferentemente con algún tipo de certificación reconocida. Algunas características que pueden reunir son las siguientes:

- Productos manufacturados con cadenas de suministros social y ecológicamente responsables.
- Productos que contengan cantidades notables de contenido reciclado, preferentemente post consumo.
- Productos que contengan materiales extraídos, cosechados o recuperados local o regionalmente (800 km)
- Productos rescatados o que estén presentes en el sitio, que puedan ser reutilizados o reformados.
- Productos desarrollados con EPDs HPDs y evaluación de ciclo de vida.
- Productos que reduzcan o tengan un impacto ambiental y a la salud humana positivos.
- Utilizar madera certificada FSC.

Además, se deben tener en consideración los siguientes criterios de elección de los productos y su instalación en el proyecto.

- Elegir productos compatibles con el reciclaje.
- Evitar utilizar materiales que requieran ser separados antes del reciclaje (por ejemplo, hormigón armado)
- Aplicar tintes no contaminantes para identificar materiales.
- No pintar partes de plástico u otros revestimientos que puedan contaminar otros plásticos al ser reciclados.

EDIFICIO

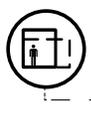
CG06

## PROGRAMA RESPONSIVO A LA EMERGENCIA

+R  
+S

EL EDIFICIO CUENTA CON ESPACIOS INTERIORES Y RECINTOS FUNCIONALES QUE RESPONDEN A LA EMERGENCIA PARA PODER OFRECER UN ALBERGUE SEGURO PARA LOS USUARIOS Y POBLACIÓN EXTERNA

El edificio cuenta con un programa interior que es funcional durante el régimen habitual del edificio, pero se adapta al evento de la emergencia, posibilitando la cabida de albergados tanto externos como de los usuarios regulares; el acopio de donaciones para ser repartido a la comunidad; oficinas para funcionamiento gubernamental, etc. Para garantizar la seguridad térmica y ambiental durante los dos regímenes de funcionamiento, el edificio cuenta con recintos de monitoreo de la calidad del ambiente interior. El edificio cuenta con sitios de almacenamiento de provisiones de emergencia y espacios interiores o exteriores destinados a la producción de comida.



CE14

### ESPACIOS PREPARADOS Y RESPONSIVOS



Los recintos del edificio son adaptables a distintos usos que se les pueda dar o requerir durante régimen operativo normal o durante la emergencia. Algunos recintos del edificio deberán estar diseñados y habilitados para ser utilizados por la comunidad para reuniones, espectáculos, eventos deportivos etc. Se pone especial énfasis en los recintos deportivos, espacios abiertos, salones multiuso, bibliotecas, auditorios, etc. Algunos recintos deben adaptarse a usos requeridos en eventos de emergencia de acuerdo con criterios de similitud en superficies y condiciones de seguridad (altura, seguridad, térmico). Estos recintos interiores del edificio están diseñados con las dimensiones y materiales necesarios para ser ocupados ante una eventual emergencia como:

**ALBERGUES Y REFUGIOS:** El edificio sirve como refugio para los propios ocupantes como para población externa. Los recintos que se adaptarán como refugio deben cumplir con las características de seguridad térmica y ventilación descritas en el criterio correspondiente. Espacios cerrados pero que usualmente no son acondicionados, como recintos deportivos y comedores, deberán cumplir también con los criterios de seguridad térmica. El requerimiento de espacio dependerá del tiempo en que las personas utilizarán el albergue. Para utilización menores a 24 horas se recomienda un estándar de 1,86 m<sup>2</sup>/personas. Para utilización superiores a 24 horas, se recomienda un estándar

de 5,6 m<sup>2</sup>/personas que se puede reducir a 2,8 si es que se utilizan literas. (FEMA 453) Para el cálculo de la población total que se podrá albergar, se debe considerar el doble de los usuarios típicos del edificio.

**ASISTENCIA MÉDICA DE EMERGENCIA.** El edificio deberá contar con un recinto que funcione como enfermería durante el régimen de operación normal, con la suficiente capacidad para funcionar como centro de asistencia de primeros auxilios ante eventos de emergencia, capaz de atender a los albergados. Para ello deberá contar con equipamientos e instalaciones necesarias, entre ellos:

- Desfibrilador externo automático
- Kit de primeros auxilios
- Compuestos sanitizantes
- Oxígeno y gases clínicos de primera necesidad (RELi)

**ACOPIOS DE EMERGENCIAS:** El edificio podrá funcionar como centro de acopio. Deberá contar en su interior, con espacios techados que durante la emergencia puedan ser utilizados para acopiar mercadería, donaciones y elementos estratégicos que necesiten de un lugar para ser depositados.

**CULTO ECUMÉNICO:** El edificio deberá contar con un recinto destinado permanente a ello o bien cualquier otro que se adapte para el culto ecuménico durante los períodos de emergencia.

**COMUNICACIONES Y MONITOREO:** El edificio deberá contar con un recinto donde se encuentren los sistemas de comunicación: sistemas de radio CB o HAM, los monitores de CCTV y donde se encuentren los teléfonos satelitales. Se pueden considerar, también, lugares para imprentas de periódicos y revistas. Este recinto funcionará como central de control y comunicaciones durante la emergencia, desde donde se informe a la comunidad y ella pueda acercarse para comunicarse en caso de que los sistemas usuales fallen. En este recinto u otro cercano se encuentran los equipos de medición y monitoreo ambiental, los controles centralizados del aire acondicionado, calefacción y enfriamiento. Ambos recintos deberán estar acondicionados para funcionar durante eventos de emergencia a través de la utilización de baterías o con suministro de ERNC. El edificio podrá proveer de wi-fi o red de datos a parte de la población aledaña en caso de que las redes públicas fallasen.

**EDIFICIO PRODUCTIVO:** Si el periodo de la emergencia se prolonga, el edificio podrá abastecer a sus ocupantes y a parte de la comunidad de comida a partir de su propia producción. Para ello podrá contar con espacios de producción de alimentos, incluidos huertos comunitarios y urbanos, o bien de manejo local; sistemas acuapónicos y otros. Además, y si las condiciones lo permiten, se podrá integrar la crianza sostenible de animales de corral, producción de miel y acuaponía.

 **CE15**  
**ALMACENAMIENTO DE PROVISIONES**  
  

El edificio deberá contar con recintos destinados para almacenaje de provisiones de emergencia y combustibles para un periodo de al menos 10 días, calculados para el doble de los usuarios del edificio. La ubicación de estas zonas deberá estar siempre en sitios seguros, definidas según el criterio correspondiente, o con medidas de mitigación superiores.

**ALMACENAMIENTO DE PROVISIONES DE EMERGENCIA:** Dentro de las provisiones se debe considerar:

- Agua
- Comida (Conservas, barras energéticas, etc.)
- Elementos sanitizantes (Alcohol gel, bolsas biodegradables, encapsulamiento de desechos)
- Kits de limpieza personal (Toallas húmedas, pañales, etc.)

**COMBUSTIBLES Y MATERIALES PELIGROSOS:** El edificio deberá contar con espacios especialmente acondicionados para el almacenamiento de materiales peligrosos ubicados en un lugar seguro donde no constituya una amenaza para los ocupantes del edificio. Dentro de estos elementos se pueden considerar:

- Energéticos limpios y combustibles (biogás, biomasa)
- Químicos y elementos de limpieza

 **CE16**  
**ZONAS DE SEGURIDAD Y VIAS EVACUACIÓN**  
  

Todos los espacios destinados a circulaciones del edificio, pasillos, escaleras, etc., se dimensionan para ser utilizados como vías de evacuación. Las circulaciones están distribuidas en el edificio de

acuerdo con la ubicación de las zonas de seguridad, zonas de albergue, y lugares de evacuación incluido helipuertos y accesos vehiculares.

Todas las circulaciones del edificio y elementos constructivos relacionados se deberán diseñar de acuerdo con las dimensiones de las vías de evacuación que se expresan desde el artículo 4.5.2. de la OGUC en adelante.

EDIFICIO

**SEGURIDAD AMBIENTAL INTERIOR****CG07****+R**  
**+S**

EL EDIFICIO MANTIENE UN ALTO DESEMPEÑO DE CONFORT TERMICO Y LUMINICO DURANTE EL RÉGIMEN OPERATIVO DE EMERGENCIA. LOS ESPACIOS INTERIORES CUENTAN CON INFORMACIÓN VITAL RESPECTO A LAS ACCIONES DE LOS OCUPANTES DURANTE EVENTOS CRÍTICOS

El edificio debe proveer a los usuarios seguridad interior tanto en términos de calidad del ambiente como en materia de protección a través del uso de sistemas de alarmas y brindar al usuario información acerca de las acciones a seguir en la contingencia de un evento crítico.



CE17

**INTEGRAR ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO**

Con el fin de alcanzar el confort térmico, acústico y lumínico durante los horarios de ocupación del edificio en sus dos regímenes de funcionamiento según el CE12, de manera energéticamente eficiente, se incorporarán al edificio estrategias bioclimáticas y de diseño pasivo. Para la elección de las estrategias a incorporar adecuadas, se deberá considerar la zonificación climática de los TDRe.

Los requisitos para confort lumínico y visual estarán determinados por el requisito ARC.CAI 2R de la certificación CES y alcanzar los créditos 2.1 y 2.2. El confort respiratorio y calidad del aire interior estará determinada por los TDRe. Además, se deberá supervisar el contenido de COV y CONV en los materiales a utilizar según el criterio de diseño correspondiente.

De igual manera se podrán considerar las estrategias de confort incluidas en el Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos del MOP, o algunos de la siguiente lista del sistema de certificación RELi:

- Iluminación pasiva
- Iluminación natural
- Control de iluminación natural lateral
- Control de iluminación natural cenital
- Iluminación natural por múltiples frentes
- Calentamiento pasivo

- Geometría adecuada
- Ganancias directas
- Tragaluces y ventanas de techo
- Almacenamiento de ganancia directa
- Masa térmica
- Ganancias indirectas: sunspaces
- Invernaderos.
- Enfriamiento pasivo
- Geometría adecuada
- Elementos de sombra
- Ventilación cruzada
- Enfriamiento nocturno
- Enfriamiento evaporativo
- Doble techo
- Techo frío
- Fachadas de los edificios.



CE18

## ALARMAS Y SEÑALIZACIÓN



Los espacios interiores deberán contener información acerca del edificio los riesgos de desastres naturales, vías y formas de evacuación, zonas de seguridad, ubicación de los refugios, de los almacenes, de los servicios de salud y todo aquello que sea relevante en régimen de emergencia, la que debe estar expuesta en lugares visibles, en al menos dos distintos idiomas además del español (uno de ellos ancestral de acuerdo con la zona del país en que se ubique) y en lenguaje Braille.

Áreas exteriores e interiores deberán contar con pavimento podotáctil y superficies de muros con información táctil según Normativa de Accesibilidad Universal / OGUC Chile .

Se recomienda que esta información sea durable e integrada a las superficies de infraestructura del edificio. Para ello se puede considerar el tratamiento de las texturas, el esculpido y grabado muros, plásticos, revestimientos en metales con relieve, etc. El edificio cuenta con sistemas de alarmas contra incendios diseñadas y construidas según la normativa de la NFPA y alarma contra robos.

## OPERATIVO DURANTE LA EMERGENCIA



EL EDIFICIO PUEDE SEGUIR OPERANDO DE DURANTE LA EMERGENCIA. EL EDIFICIO GESTIONA AGUAS LLUVIAS Y GRISES PARA SU REUTILIZACIÓN. EL EDIFICIO ES CAPAZ DE PRODUCIR ENERGÍA Y DATOS PARA PARTE DE LA POBLACIÓN ALEDAÑA DURANTE PERIODO DE EMERGENCIA.

El edificio ha sido diseñado para disminuir su demanda energética y de agua a cero (o cercano a cero), por lo que podría operar de manera pasiva, o asistido por ERNC, durante el régimen operativo de emergencia. El edificio es capaz de almacenar y tratar sus aguas grises y negras para reutilizar y devolver al medio natural, además es capaz de recolectar y almacenar aguas lluvias que pueden ser utilizadas en ambos regímenes de funcionamiento. Gracias a su bajo consumo energético, el edificio es capaz de producir energía para algunas zonas aledañas o comunidades cercanas en caso de que durante el régimen de emergencia.



CE19

### DEMANDA ENERGÍA Y AGUA CERO O POSITIVO



El edificio debe funcionar pasivamente en términos energéticos y de agua durante el régimen de funcionamiento de emergencia. Se podrán seguir las recomendaciones de los sistemas de certificación del ILI, en orden de cumplir los siguientes objetivos:

Se deberá lograr el estándar **NEAR ZERO WATER, ZERO WATER O PLUS WATER**. Para ello se reducirá la demanda de agua exterior e interior del edificio en un rango superior al 90% de la línea base calculada, mediante la utilización de sistemas eficientes de riego y utilizando artefactos que consumen agua. Para lograr este objetivo se deberán utilizar criterios de tratamiento y reutilización de agua, recolección de aguas lluvias y su almacenamiento para fines operativos del edificio. El edificio podrá tratar las aguas residuales y devolverlas al medio natural o bien provisionar de agua a comunidades cercanas durante el régimen de operación durante la emergencia.

Se deberá lograr el estándar **NEAR ZERO, ZERO ENERGY, O PLUS ENERGY**. Para ello se reducirá la demanda energética del edificio. Para ello se deberán utilizar las estrategias pasivas para confort térmico y lumínico del CG07 y contar con equipamiento de HVAC y ACS de alta eficiencia energética.

De ser necesario suplir algún requerimiento energético durante el régimen operativo normal o de emergencia, el edificio deberá utilizar combustibles limpios o fuentes de ERNC.

 **CE20**  
**COSECHA Y GESTION DEL AGUA**     
  

En orden de reducir el consumo de agua interior y exterior, el edificio deberá contar con sistemas de manejo de agua.

Podrá contar con sistemas de recolección, tratamiento y almacenamiento de aguas lluvias y escorrentías superficiales en causas no naturales, con el fin de utilizarlas para consumo humano (de ser tratadas) o para fines operativos. Las soluciones para aprovechar el agua lluvia son las recomendadas en el CRTIERIO 2 y consideran sistemas de canaletas y rejillas en el suelo; techos azules; estanques de acumulación conectados a canaletas y bajadas de agua; pavimentos absorbentes. Se deberá proporcionar un sitio para almacenamiento de aguas lluvias o recicladas para cubrir operaciones (baños, equipos mecánicos, paisaje comestible) para el siguiente periodo: 96 horas o 10 días

Se podrán utilizar esta acumulación de aguas para el funcionamiento de artefactos hidráulicos de baño y cocina. Estos artefactos, además, deberán incluir tecnología de eficiencia en la utilización del agua; contando con criterios de recuperación de agua, inyectores de aire y reutilización de aguas grises. Se podrá considerar, además otro tipo de sistemas de W.C. que no sean hidráulicos.

El agua recuperada se podrá utilizar en el riego del paisajismo, estanques de R.C.I o bien, ser devuelta al medio natural previo tratamiento. El edificio también podrá contar con plantas de tratamiento de aguas servidas.

 **CE21**  
**COMPARTIR RECURSOS CON LA COMUNIDAD**    
 

El edificio tiene la capacidad de proporcionar excedentes de los siguientes recursos a la comunidad en caso de requerirlos durante la emergencia:

- Energía eléctrica
- Agua
- Red de datos y comunicación
- Alimentos

**INSTALACIONES Y SISTEMAS****CG09****INSTALACIONES Y SISTEMAS PROTEGIDOS****+R  
+S**

EL EDIFICIO CUENTA CON UN SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGÍA QUE UTILIZA ENERGÉTICOS LIMPIOS Y/O ERNC. LOS SISTEMAS E INSTALACIONES CRÍTICAS SE ENCUENTRAN EN SITIOS SEGUROS Y CUENTAN CON SISTEMAS DE PROTECCIÓN AL IMPACTO DE DESASTRES NATURALES

El edificio ha sido diseñado para disminuir su demanda energética y de agua a cero (o cercano a cero), por lo que podría operar de manera pasiva, o asistido por ERNC, durante el régimen operativo de emergencia. Para ellos el edificio cuenta con las estrategias pasivas del CRITERIO 7 y cuenta con equipamiento de alta eficiencia energética. El edificio es capaz de almacenar y tratar sus aguas grises y negras para reutilizar y devolver al medio natural, además es capaz de recolectar y almacenar aguas lluvias que pueden ser utilizadas en ambos regímenes de funcionamiento. Gracias a su bajo consumo energético, el edificio es capaz de producir energía para algunas zonas aledañas o comunidades cercanas en caso de que durante el régimen de emergencia.



CE22

**PROTECCIÓN DE SISTEMAS CRÍTICOS**

Considerar ubicar los siguientes sistemas críticos en zonas seguras según el CG01:

- H.V.A.C. y ACS,
- Antenas y sistemas de comunicaciones,
- Centrales energéticas, fuentes de producción Energética;
- Centros de tratamientos de agua,
- Estanques de R.C.I.
- Centros de datos;
- Bancos de semillas.

Además, estos sistemas deberán encontrarse protegidos según normas, recomendaciones y manuales de instalación para los impactos que puedan tener debido a desastres naturales o por climas extremos. Se pueden considerar algunas de las siguientes recomendaciones por cada desastre natural:

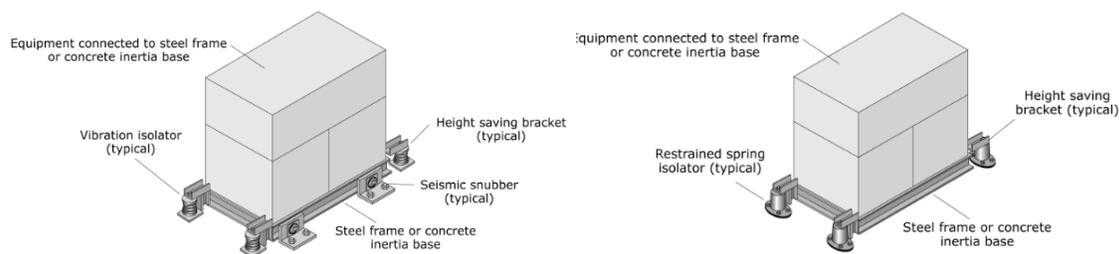
## TERREMOTOS

Se considera incorporar los criterios contenidos en la guía *FEMA E-74 Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage*, para todas las instalaciones y equipos MEP (Mechanicals, Electricity and Plumbing) las que, en general, recomiendan:

**INSTALACIONES MECÁNICAS:** En general, se debe evitar el desprendimiento y la caída de los equipos. Para eso se recomienda que instalaciones con equipamiento mecánicos como HVAC, calderas de agua y estanques deberán estar montados sobre marcos con aislación a la vibración, ancladas a elementos estructurales capaces de resistir la carga. Para que la aislación a la vibración no amplifique el movimiento sísmico, deberá incorporar resortes, amortiguadores y/o protectores. La distancia entre los amortiguadores y el elemento estructural soportante deberá ser de al menos 1 cm. Debe evitarse el contacto metal con metal entre los amortiguadores y el marco de soporte. Los amortiguadores deben tener una superficie elastomérica o resistente para disminuir los efectos del impacto durante una sacudida fuerte. Para resortes alojados, una arandela elastomérica evitará el impacto en la superficie dura.

Equipos con altura mayor como calderas, deben estar fijados tanto a un muro en su parte superior, como al suelo en su base para evitar la caída. En caso de no existir un muro, el equipo se deberá reforzar con diagonales afianzadas al suelo.

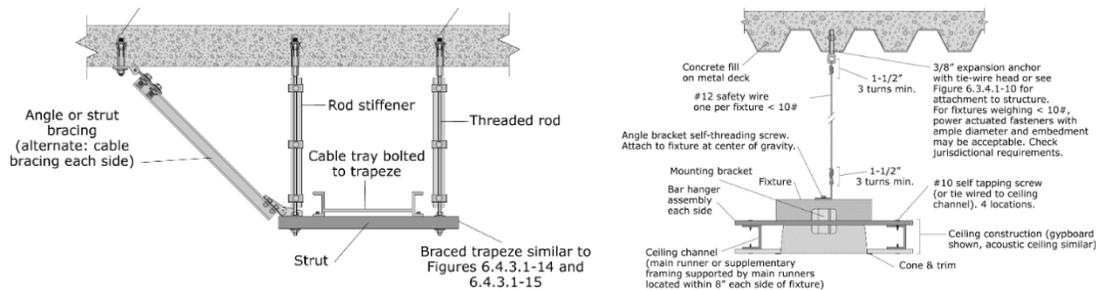
Se deben considerar ductos y conexiones flexibles para los diferentes equipos mecánicos, así como para conexiones de estanques de agua, gas y combustible.



**Figura 8.21: Marcos de soporte de equipos con aislación sísmica (Fuente: FEMA, 2012)**

**INSTALACIONES ELÉCTRICAS:** Los equipos eléctricos como generadores y transformadores deberán ser anclados a bases de concreto, la que se monta en aisladores de resorte y se restringe mediante amortiguadores de ángulo de acero en todos los lados. Los ductos de las instalaciones eléctricas y las bandejas suspendidas deberán ser arriostradas con diagonales para soportar las cargas sísmicas en lo que se denomina bandeja de cables trapecoidales.

Equipos con altura mayor como racks de baterías y equipos de datos o tableros eléctricos deberán fijados tanto a un muro en su parte superior, como al suelo en su base para evitar la caída. En caso de no existir un muro, el equipo se deberá reforzar con diagonales afianzadas al suelo.



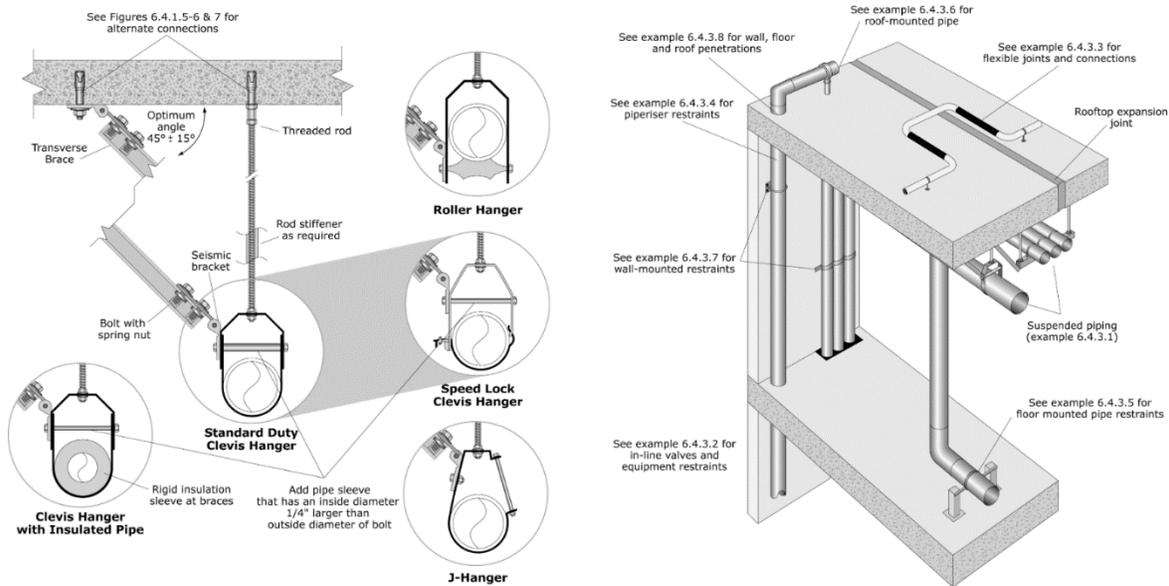
**Figura 8.22: Derecha: Marcos de soporte de equipos con aislación sísmica. Izquierda: cables de seguridad de luminaria montada sobre cielo. (Fuente: FEMA, 2012)**

Tanto luminaria montada sobre el cielo y la suspendida desde él, deberán tener al menos dos cables de seguridad a la estructura de entepiso con pernos de expansión si pesa entre 4.5 y 25 kg. Si pesa menos de 4.5 kg, podrá contar con solo una unión; si pesa más de 25 kg deberá ir montada directamente a la estructura.

**INSTALACIONES SANITARIAS:** Equipos de almacenamiento de agua deberán contar con las fijaciones necesarias en la dimensión vertical y horizontal, fijando las patas o estructura de soporte directamente sobre la estructura o sobre una losa de hormigón. Se recomienda la utilización de tanques que tienen un aspecto de ratio donde el ancho sea mayor que el largo, ya que son menos probable de volcarse. Las conexiones deberán ser flexibles.

Cañerías deberán ir fijadas a las estructuras mediante abrazaderas en el sentido transversal y longitudinal. Los soportes no deben depender de conexiones de fricción en forma de U ya que no

proporcionan una restricción longitudinal confiable durante un terremoto y es probable que se deslicen. Con frecuencia, se requieren conexiones flexibles cuando las tuberías cruzan una junta de expansión o separación sísmica. Ductos de agua a presión, como las redes contra incendio, seguirán el mismo principio de diseño, pero con elementos más resistentes, de acuerdo con el diámetro de las cañerías y la presión que deban soportar.



**Figura 8.23: Der: Consideraciones antisísmicas generales en tramos de tuberías horizontales y verticales de cañería; Izq.: Abrazaderas y pinzas para cañerías suspendidas (Fuente: FEMA, 2012)**

## EVENTOS VOLCÁNICOS

Uno de los principales factores que puede afectar las instalaciones en el contexto de este tipo de desastres es la caída de tefra sobre los elementos de los diferentes sistemas. Además se recomienda considerar las medidas para eventos sísmicos, debido a que ambos fenómenos generalmente se producen acompañados. Por último, se recomienda la limpieza durante y después de la caída de tefra para evitar exponer a los artefactos a las sobrecargas debidos al peso de la ceniza, y a la corrosión por los compuestos acidificantes que contiene.

**EQUIPOS MECÁNICOS:** Los equipos mecánicos como HVAC, primero se deberá monitorear la necesidad de su operación y reducirla si es necesario. Además, se deberán cubrir todas las tomas de aire al exterior, instalar filtros de mayor densidad o añadir filtración temporal a las tomas de aire externas, monitorear y reemplazar según sea necesario. La frecuencia de sustitución del filtro de

aire podría ser de hasta 30 minutos durante las tasas más altas de ceniza caída. Los conductos proyectados en forma horizontal tienen una exposición significativamente menor al ingreso de cenizas que los verticales. Se deberán instalar protecciones verticales sobre las entradas de aire para reducir la entrada de cenizas. Además, se deberán sellar o cubrir todos los equipos sensibles, tales como válvulas de combustible externos y los interruptores.

**INSTALACIONES ELÉCTRICAS:** Para sistemas eléctricos al exterior se recomienda envolver en materiales plásticos (láminas o cinta adhesiva) todos los componentes que puedan sufrir corrosión como tableros eléctricos y ductos. Interruptores y conexiones también deberán ser cubiertos para evitar desperfectos y cortocircuitos producto de cenizas con contenido de humedad, que puede ser electro conductora. Si es posible, se recomienda que cualquier equipo electrónico que se encuentre al aire libre posea un sistema de transporte al interior. Las zonas que albergan los componentes eléctricos y electrónicos sensibles y / o críticos deberán poseer algún sistema de sellado que impida el ingreso de tefra. Cubrir los equipos con láminas de plástico y apagar si es necesario

**INSTALACIONES SANITARIAS:** Para los sistemas sanitarios, sobre todos los relacionados con acopio y recolección de aguas lluvias, deberán estar cubiertos para reducir el ingreso de cenizas y por consiguiente la contaminación del agua. Si es posible incorporar un sistema que permita desconectar los sistemas de recolección de los sistemas de depósito, los que deberán estar herméticamente cubiertos. Cañerías de agua potable a la vista deberán estar cubiertas igual que los ductos eléctricos con el fin de evitar la abrasión y la posterior filtración de agua. La ceniza es altamente abrasiva, por lo que podrá causar desperfectos en bombas impulsoras de agua, por lo que es importante proteger o sellar todos los equipos utilizados para la obtención y/o abastecimiento de agua.



Para proteger las instalaciones al interior de los edificios, como criterio general, se debe proveer de sistemas de bloqueo en todas las aperturas, como ventanas y puertas, tomas de aire exterior, concavidades para ventilación y grietas. Estos sistemas han evolucionado desde simple sacos con arena hasta escotillas de activación automática. En el caso de una inundación de corta duración este

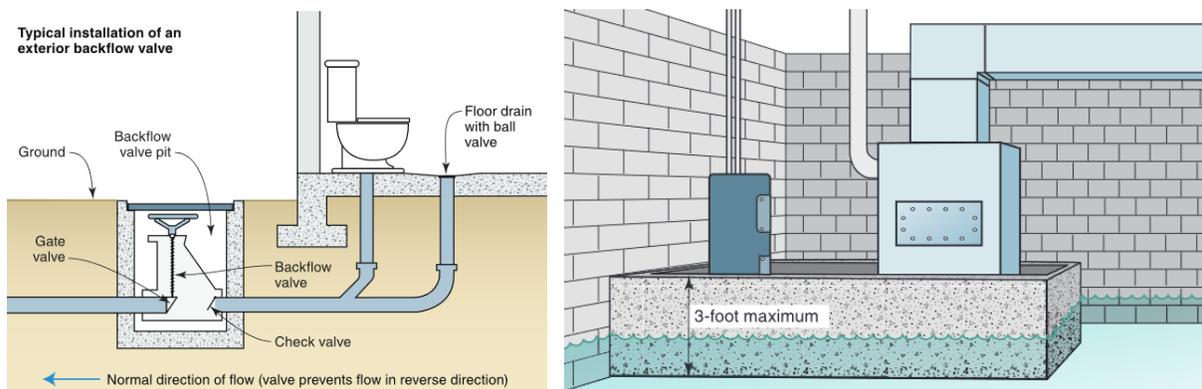
sistema de tipos funcionará de buena manera, sin embargo, en el caso de inundaciones de larga duración, el agua podría infiltrarse por los materiales de la envolvente exterior, por lo que es necesario utilizar membranas impermeables y elementos metálicos.

**EQUIPOS MECÁNICOS:** Todos los equipos mecánicos como los de HVAC, deben ser instalados en pisos superiores o en el ático. Boilers y calderas también podrán ser ubicados en niveles superiores. De no ser posible se podrán fijar a una losa de concreto y protegerlos con muros anti-inundación y escudos (Fig. 8.24), los que son efectivos solo hasta niveles de agua de 90 cm; para niveles más altos se deberán considerar estructuras con cálculo de resistencia hidrostática. Tanques de gasolina deberán ser fijados a losas de hormigón de una manera lo suficientemente fuerte que pueda soportar la fuerza del agua o anclar al suelo o mediante sujeciones que estén conectados a través de la parte superior del tanque con correas metálicas. Los tanques de combustible no anclados pueden ser fácilmente movidos y rotos por las aguas de los inundaciones y plantean serias amenazas a las personas, la propiedad y el medio ambiente. Si todo lo anterior no es factible entonces todos los tubos de llenado y espacios de ventilación deben ser elevados de modo que las aguas no puedan entrar en el tanque.

**INSTALACIONES ELÉCTRICAS:** Una vez que el agua ingresó al edificio, la eficacia de las medidas para evitar daños o pérdidas se sostiene en la altura a la que pueden elevarse los equipamientos, que se pueden elevar permanentemente por encima de la altura de las inundaciones previstas, por ejemplo, enchufes eléctricos, gabinetes montados en la pared, medidores, paneles de control y calderas, entre otros, hasta por lo menos 30 cm sobre la altura de inundación prevista. Artefactos electrónicos podrán montarse sobre una base de hormigón lo suficientemente alta para mantenerlos a salvo. Una estrategia de diseño es separar los circuitos del primer piso con los niveles superiores, con el fin de darle independencia a los niveles que se mantendrán secos. Colocando los equipos y artefactos eléctricos en altura y aislando los circuitos susceptibles de ser afectados por el resto del cableado según la normativa actual las tuberías dentro de las paredes y los pisos estarán generalmente bien protegidos. Medidores de electricidad deberán ser relocalizados sobre el nivel de inundación recomendado.

**INSTALACIONES SANITARIAS:** Es posible la incorporación de bombas que posibiliten evacuar el agua desde los niveles inferiores como el sótano. Es necesario considerar un equipo de bombeo con

baterías en caso de corte de suministro eléctrico. Se deberán instalar tapones en los desagües de todos los artefactos sanitarios para evitar la devolución de aguas al interior del edificio, además se podrá considerar la instalación de una válvula de protección, que permiten que el agua fluya solo en una dirección (Fig. 8.24), evitando grises y negras retrocedan se devuelvan a través de inodoros, fregaderos y otros desagües. Tanques de agua deberán ser anclados a losas de hormigón de manera que no puedan ser movidos ni arrastrados por la fuerza del agua de la inundación. Además, todas las bocas de llenado deberán encontrarse en el nivel superior del tanque de manera de evitar el ingreso de agua eventualmente contaminada al tanque.



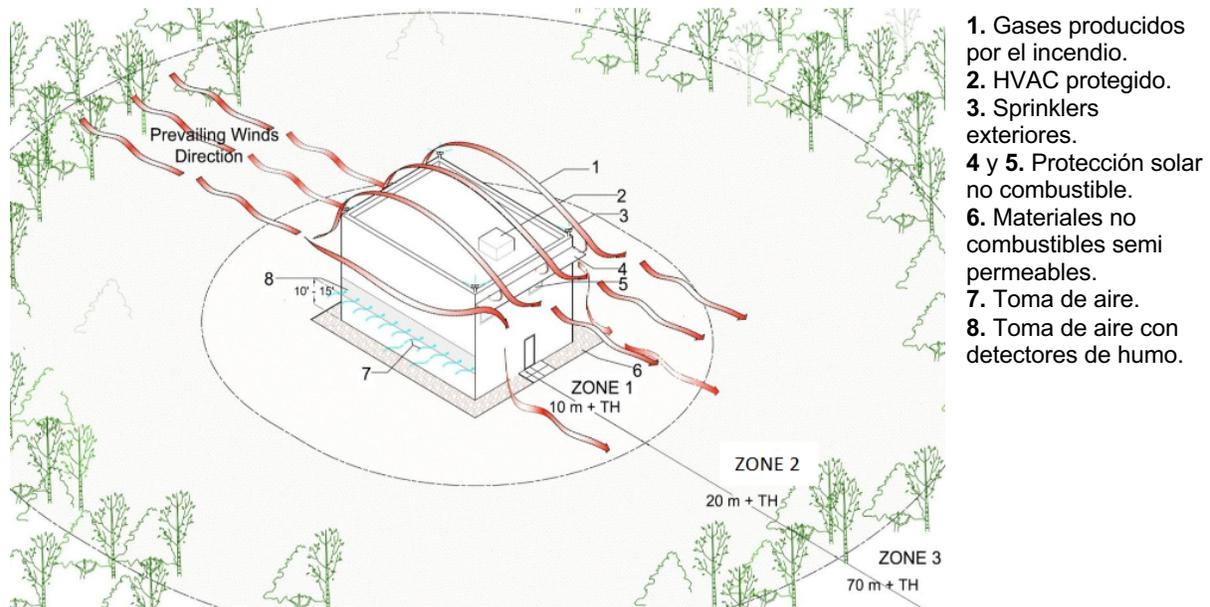
**Figura 8.24: Der: Válvula para evitar la devolución de aguas por artefactos sanitarios; Izq.: Muros anti-inundaciones para proteger equipamiento crítico (Fuente: FEMA, 2014)**

Considerar la sustitución de uniones, accesorios o válvulas para permitir un reemplazo más rápido de equipos y artefactos cuando estén dañados. Desconectar los equipos antes de un evento de inundación, puede reducir los posibles daños causados por inundaciones a los sistemas de servicios públicos.

## INCENDIOS FORESTALES

Para la protección de instalaciones críticas de los efectos de incendios forestales producidos por la caída de cenizas y brasas, se pueden considerar todas aquellas recomendaciones contenidas en los criterios de protección contra caída de tefra en eventos volcánicos, utilizando, en este caso, materiales ignífugos para la defensa de los equipamientos: materiales pétreos y metálicos son una buena opción.

**EQUIPOS MECÁNICOS:** Se deberán proteger las tomas de aire del exterior en los equipos de HVAC del humo y los posibles gases contaminantes que provoque el incendio forestal y sean traídos al edificio por los vientos. Los equipos de ventilación mecánica deberán ser apagados para evitar el ingreso de estos elementos contaminantes al interior con el fin de asegurar la calidad del aire y la salud de los usuarios, lo que es particularmente importante si es que el edificio será usado como albergue. Se deberán incluir detectores de humo y medidores de CO<sub>2</sub>.



1. Gases producidos por el incendio.
2. HVAC protegido.
3. Sprinklers exteriores.
- 4 y 5. Protección solar no combustible.
6. Materiales no combustibles semi permeables.
7. Toma de aire.
8. Toma de aire con detectores de humo.

**Figura 8.25: Orientación del edificio para protección de equipos mecánicos de gases tóxicos provenientes de incendios forestales (Fuente: Alberta Infrastructure, 2013)**

Proveer entradas de aire fresco alternativas ubicadas estratégicamente donde la exposición al humo sea menos probable como se observa en la figura 8.25. Instalar filtros de humo y *dampers* para evitar cualquier entrada de aire fresco cuando haya humo, de modo que, una vez detectado, las rejillas de admisión de aire fresco se cierran y el sistema HVAC continuará haciendo circular aire dentro del edificio. Si el edificio debe ser utilizado como refugio a largo plazo el diseño debe incorporar un sistema de conducción de aire secundario, con instalación recomendada entre 3 y 4,5 m por encima del suelo del edificio. El sistema tendría que estar instalado con las tomas en un lado opuesto del viento, teniendo en cuenta la topografía y los vientos predominantes, considerando detectores de humo y monóxido de carbono ubicados en toda la toma de aire, retorno, y las aberturas de aire de alivio.

**INSTALACIONES SANITARIAS:** Es posible incorporar sistemas de agua que ayuden a proteger tanto los equipos al interior como al exterior. Se pueden incorporar una serie de aspersores o *sprinklers* en los sectores aldaños y en el techo, para proteger el edificio y el equipamiento en el exterior, en el caso que las llamas se acerquen demasiado. En el caso de que no existe disponibilidad de agua potable, se podrán utilizar aguas grises o bombeo del agua de piscinas. Se puede considerar mismo sistema para el interior en caso de que el incendio alcance el edificio y se transforme en un incendio estructural. Para ello se podrán instalar *sprinklers* cerca de equipamiento que puedan contribuir a agravar la situación, como son estanques de gasolina, de modo de retardar el incendio. Se podrán instalar *sprinklers* exteriores conectados con los interiores y que sean abastecidos por un estanque presurizado de uso exclusivo, que puede ser activado de forma manual o automático. En climas fríos, la porción de *sprinklers* que queda en exterior no deberá estar cargado de agua hasta que se active el sistema, con el fin de evitar congelamiento y eventual rotura de las cañerías. Los *sprinklers* al exterior pueden contribuir enormemente si se integran con materiales ignífugos en la fachada del edificio y un espacio defensivo según los criterios de diseño correspondientes. Se podrán utilizar, además, los aspersores de riego del paisajismo como defensa exterior.

Las piscinas deberán contemplar un sistema de protección mediante pantallas y otros. Se debe considerar que piscinas o lugares de acopio de agua estén conectados a aspersores o sistemas de apagado de incendio.

**INSTALACIONES ELECTRICAS:** Se deben proteger los sistemas eléctricos al interior en caso de que el incendio forestal alcance el edificio y se constituya como incendio estructural. Los cables y conductores de instalaciones críticas deberán poder soportar temperaturas superiores a 1000°C por un tiempo determinado, para lo que es necesario la aislación a prueba de fuego de estos elementos, se pueden distinguir dos tipos de materiales utilizados en esto; por un lado, recubrimientos especiales alrededor del conductor de cobre hechos de fibra de vidrio o tipo mica, por el otro, aislamientos plásticos especiales de cerámica. Cuando se produce un incendio, el aislamiento del cable se quema completamente, creando una capa de ceniza que mantiene unidos los devanados y garantiza que los conductores de cobre se mantengan separados, de modo que no ocurra ningún cortocircuito. De todas maneras, el plástico que recubra los cables debe estar libre de halógenos, de modo que no provoque gases tóxicos durante la combustión.

En vías de evacuación sobre las que existan bandejas de fuego, es importante darles el adecuado soporte a las bandejas y asegurar el cableado para que no caiga encima de la vía y pueda electrificar algún elemento metálico. Para evitar que los cables que corten y se caigan producto del calor, será necesario instalarlos sobre bandejas y deberán estar atados entre sí. Las instalaciones eléctricas deberán ocupar bandejas o sujeciones independientes a otros ductos de otros sistemas y nunca deben estar debajo de ellos, para evitar que elementos caigan sobre encima, para ello las instalaciones eléctricas deberían estar instaladas en el nivel más alto. Ductos verticales y horizontales deberán protegerse con soportes resistentes al fuego hechos de fibras minerales cómo es posible observar en la figura 8.26. El principio de funcionamiento de estos soportes consiste en si hay un incendio, la serie de clips en la caja permanece relativamente fría y los cables permanecen sujetos, lo que evita que se rompan.



**Figura 8.26: (1) Y (2) Cámaras a prueba de fuego para protección de ductos de sistema eléctrico (3) Bandeja de protección de sistema eléctrico con cables aislados contra fuego (Fuente: OBO, 2012)**



Las instalaciones de sistemas alimentados por fuentes de energía tradicionales se podrán considerar siempre y cuando el clima no permita un edificio 100% pasivo y que, además, no cuente con suficientes fuentes de ERNC para su operación en régimen de funcionamiento normal. Para ello, y durante el régimen operativo de emergencia, o en caso de que no exista suministro de energía, el edificio deberá contar con sistemas de respaldo de energía que utilicen fuentes de ERNC o combustibles limpios (biogás, biomasa de alta eficiencia) para mantener operativos los sistemas críticos tales como equipamiento de emergencia, iluminación y seguridad.

**OPERACIÓN DE BAJO IMPACTO**

SE REDUCEN O ELIMINAN LAS EXTERNALIDADES DEL EDIFICIO QUE SEAN NOCIVAS PARA EL MEDIOAMBIENTE. NO SE EMITEN SUSTANCIAS TÓXICAS QUE CONTRIBUYAN A LA CONTAMINACIÓN DE AGUA O AIRE. EL EDIFICIO TRATA Y REUTILIZA SUS AGUAS GRISES Y NEGRAS. SE DISMINUYE EL EFECTO ISLA DE CALOR Y LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

Se reducen o eliminan las externalidades nocivas del edificio para el medioambiente en régimen de operación normal o en emergencia. Los equipamientos e instalaciones del edificio (sistemas de generación de energía, sistemas de tratamiento de agua, HVAC y corrientes débiles) no emiten sustancias nocivas para los humanos, no emiten sustancias contaminantes de la atmosfera ni contribuyen a la contaminación de aguas superficiales ni subsuperficiales. Sin pesticidas ni fertilizantes nocivos en el manejo y mantención del paisajismo o áreas de producción agrícola. El edificio es capaz de tratar y gestionar sus residuos, así como el tratamiento de sus aguas grises y negras para su reutilización o para ser reincorporadas al medio natural. A través del tratamiento de las áreas aledañas, el edificio se reducen los efectos isla de calor y el edificio no emite contaminación lumínica.



CE24

**SIN SUSTANCIAS CONTAMINANTES**

En el caso que el edificio no pueda suplir su demanda energética con el uso de ERNC, podrán utilizarse para el funcionamiento de los equipos de HVAC o ACS energéticos sin o de bajo impacto ambiental: biogás, gas natural, biomasa y pellet.

Además, y en caso de requerirse, el edificio no utilizará refrigerantes basados en clorofluorocarbono (CFC) en la instalación de nuevos sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y la refrigeración. Se considera utilizar refrigerantes con OPD y GWP igual o cercano a 0 (LEED), según los valores de la Tabla 5.3.

El agua que se utiliza en los sistemas de riego no se mezcla con agentes químicos nocivos. Para el paisajismo y vegetación en general del proyecto, se deberán utilizar especies que no requieran del uso de pesticidas, herbicidas ni fertilizantes. Aumentar y fomentar la elaboración y uso de compost.

**Tabla 8.2: Valores de ODP y GWP para diferentes tipos de refrigerantes.**  
(Fuente: Calm, 2001)

REFRIGERANT	TYPE	ODP	GWP (100yr)
R-12	CFC	0.820	10,600
R-22	HCFC	0.034	1,700
R-404A	HFC	0	3,800
R-410A	HFC	0	2,000
R-290 (Propane)	Natural	0	~20
R-717 (Ammonia)	Natural	0	<1
R-744 (CO <sub>2</sub> )	Natural	0	1
HFO-1234yf	HFO	0	4

 **CE25**  
**GESTIÓN DE RESIDUOS**



Dependiendo de su escala el edificio podrá contar con una planta de tratamiento para de aguas grises o negras. Estas aguas tratadas podrán ser utilizadas para usos operativos (maquinarias, estanques de R.C.I, reutilización en descargas de baños) para riego del paisajismo o paisajismo comestible, o podrán ser devueltas a los cauces naturales (PLUS WATER)

El edificio deberá contar con espacios e infraestructura orientada a la separación de residuos: compostaje y/o reciclaje en cualquiera de sus etapas. En orden de cumplir el crédito 10 de la CES, deberá existir un recinto especialmente acondicionados para el acopio y separación de residuos tanto a nivel de edificio como en cada piso; este recinto deberá tener acceso al exterior independiente, con el fin de facilitar el acceso de los camiones recolectores de las empresas de reciclaje. Podrán existir, también, recintos y espacios donde se realice compostaje, lumbricultura, etc.

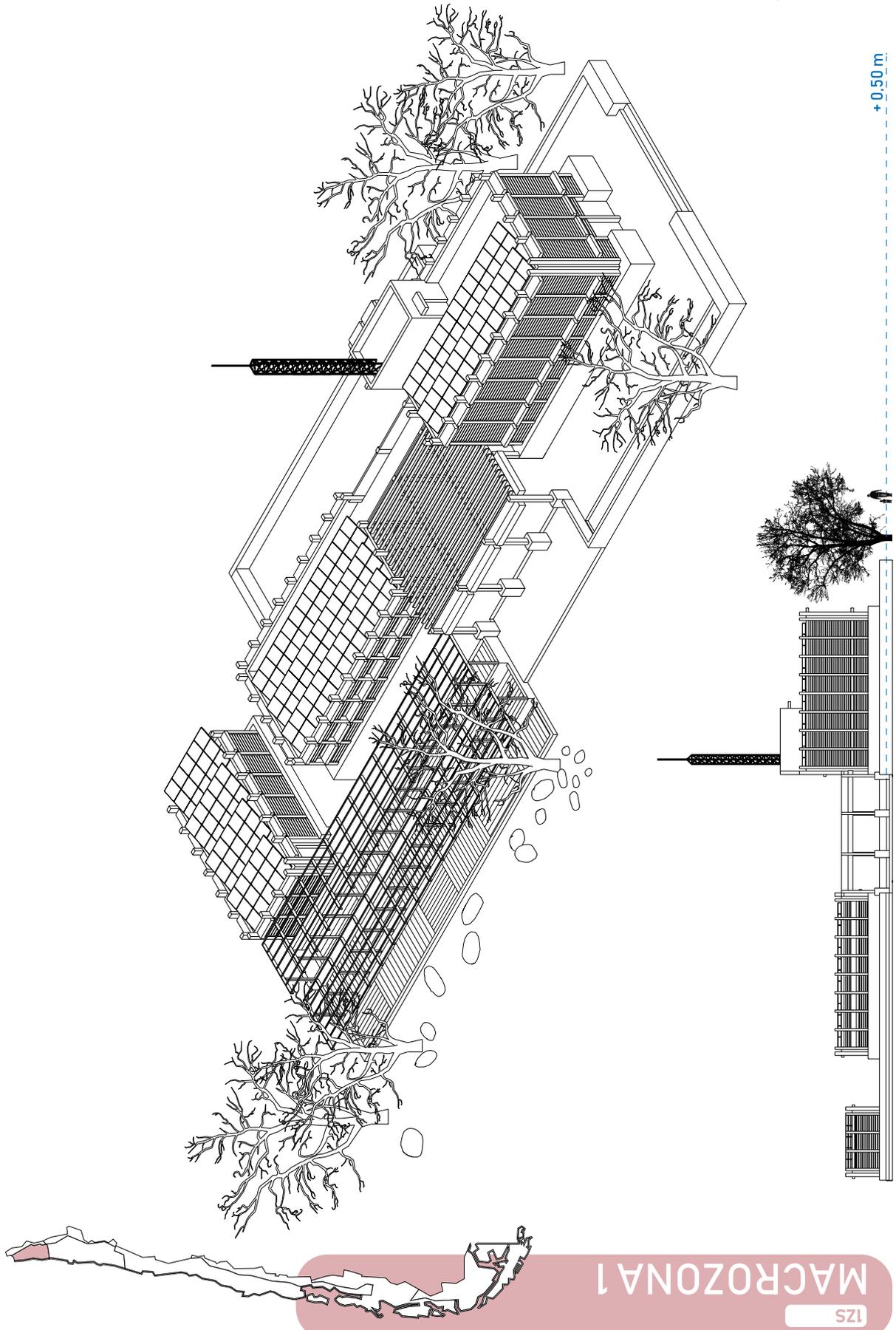
 **CE26**  
**REDUCCIÓN EXTERNALIDADES INTANGIBLES**



En orden de reducir el efecto isla de calor se recomienda la arborización responsable y la utilización techos de alta reflectancia o con vegetación. Considerar estacionamientos cubiertos.

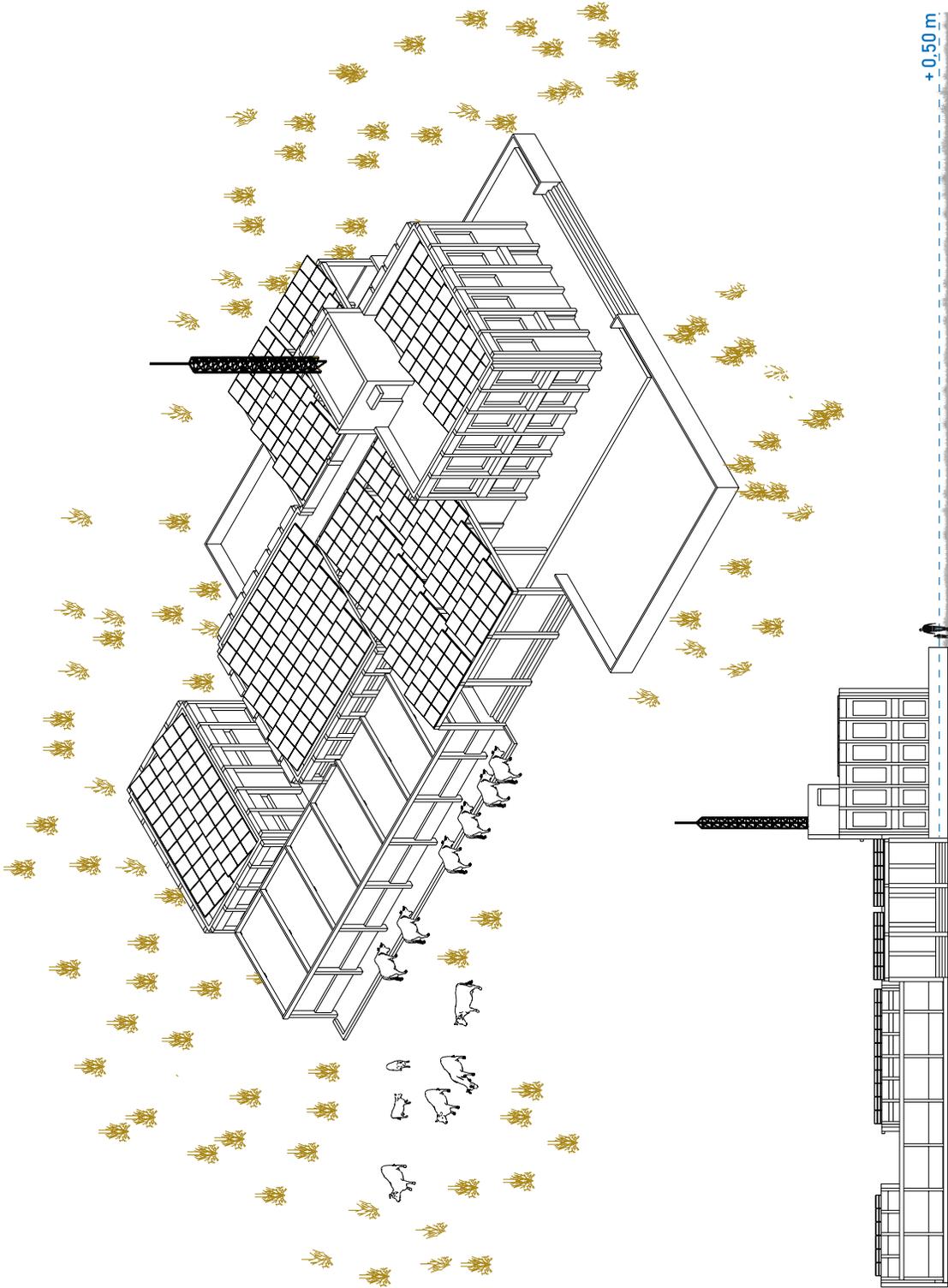
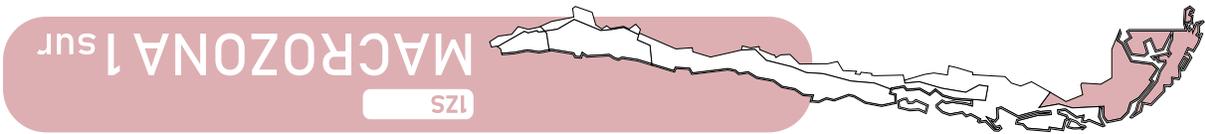
Se deberán seleccionar aparatos para la iluminación exterior diseñados con el fin de reducir el impacto en materias de contaminación lumínica. Se deberán cumplir los requisitos de iluminación hacia arriba y de traspaso de luz, usando ya sea el método de luz de fondo-uplight-reflejo (BUG) o el método de cálculo. Los proyectos pueden utilizar diferentes opciones para la iluminación hacia arriba y el traspaso de luz. Cumplir con estos requisitos para todas las luminarias exteriores situados dentro del ámbito del proyecto (LEED). La incorporación de aislación térmico-acústica y de ventanas de doble o triple vidriado hermético, ayudarán a aislar acústicamente el edificio en sentido exterior-interior y viceversa.

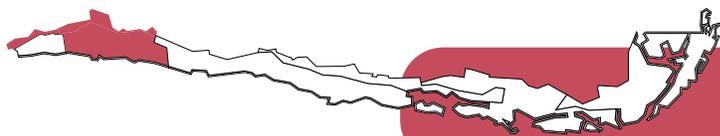
#### **8.4 ANEXO D – Prototipos de edificios educacionales por macrozonas de riesgo.**



MACROZONA 1

SZL



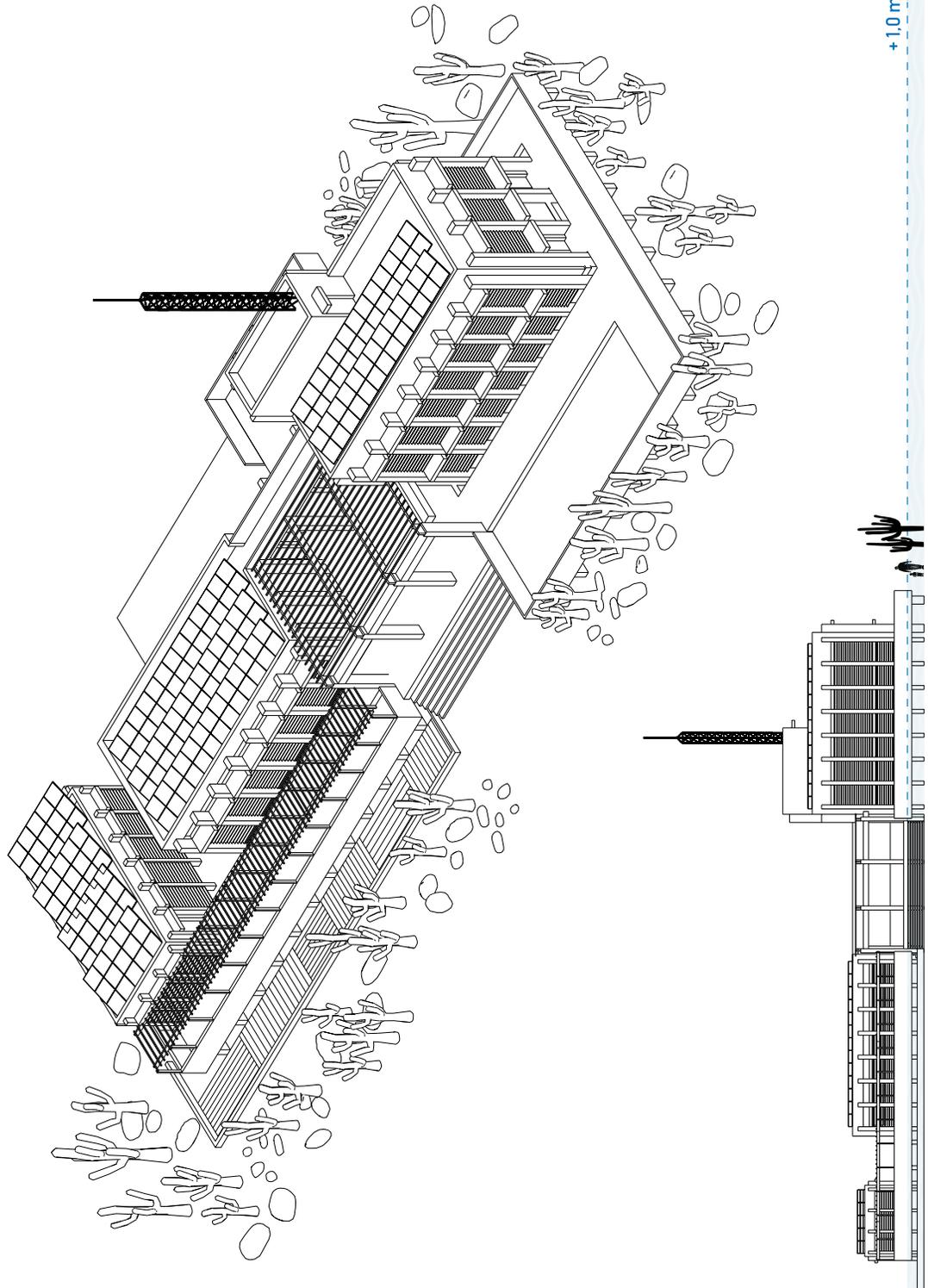


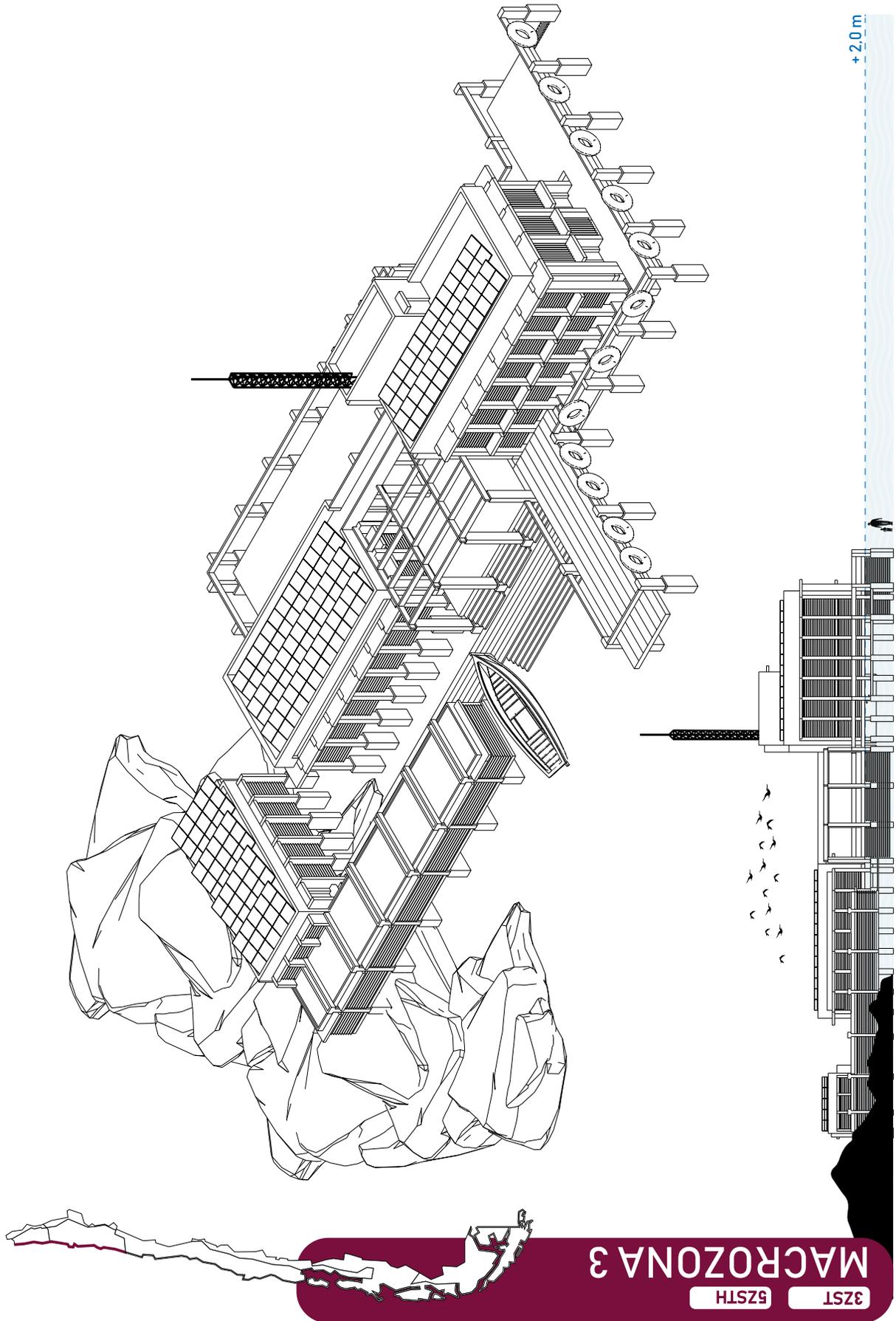
# MACROZONA 2

HSZ9

HSZ7

ZSZ



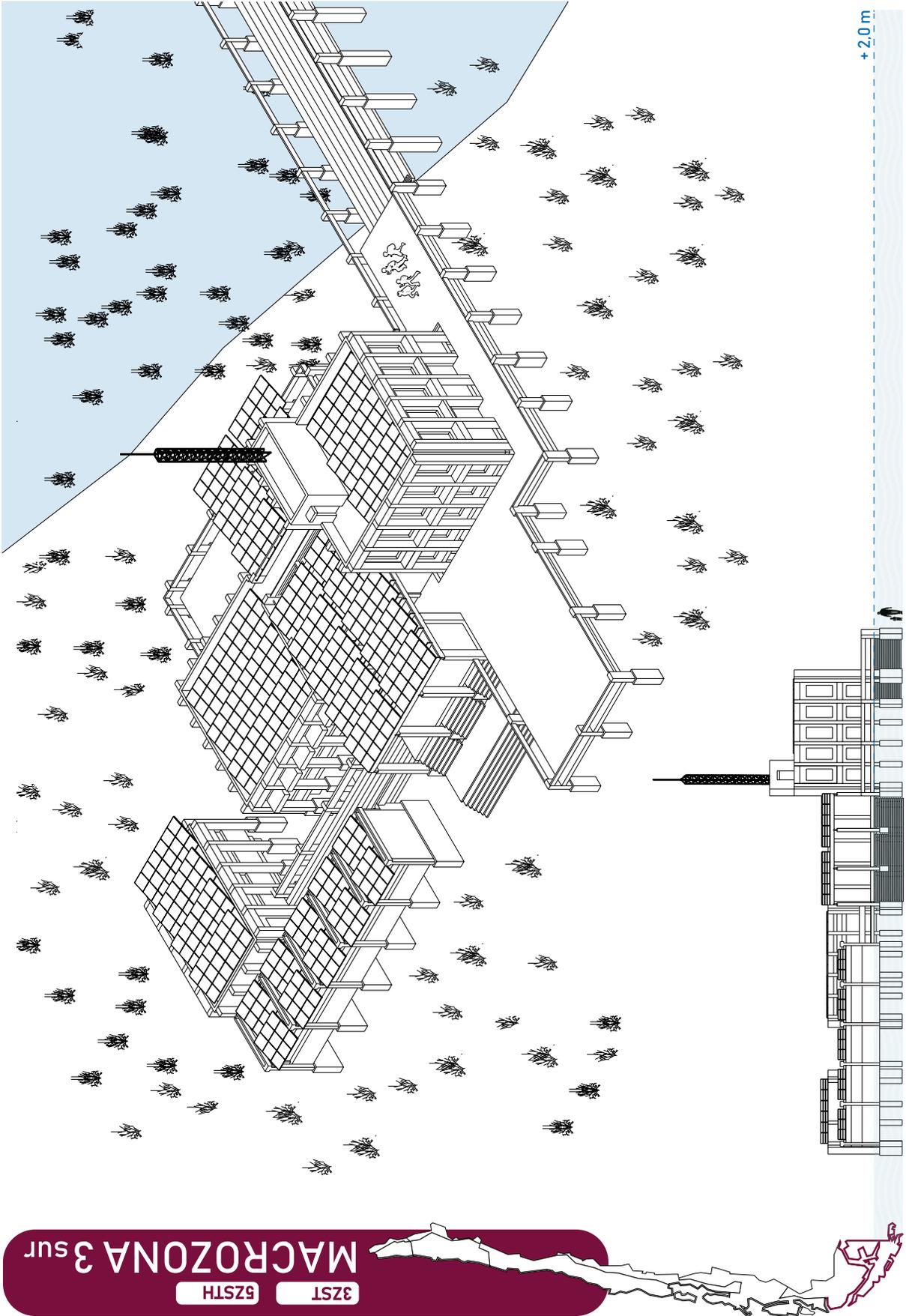


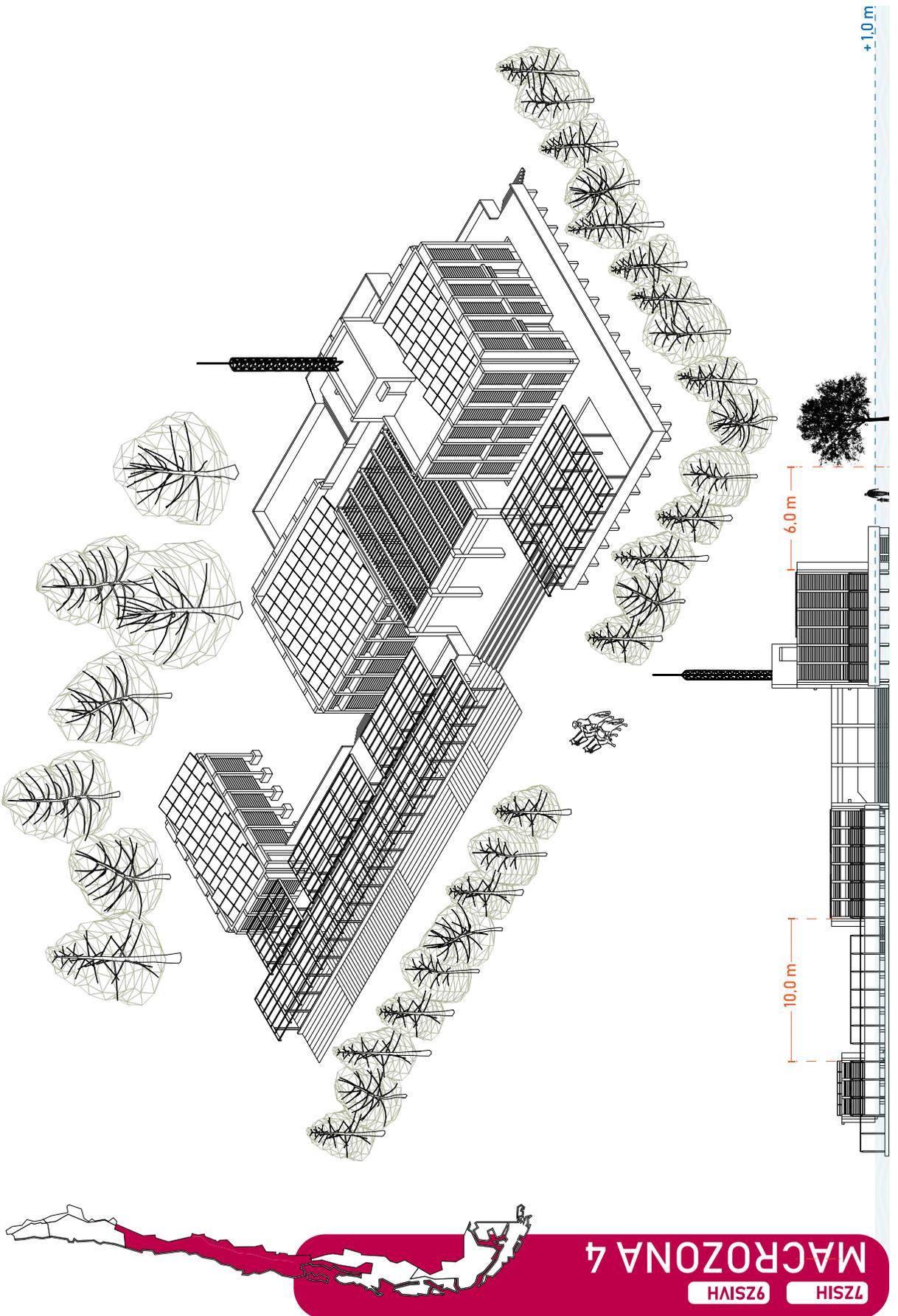
+2.0 m

MACROZONA 3

37STH

37STH

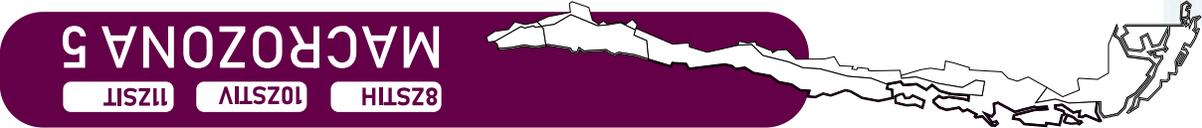
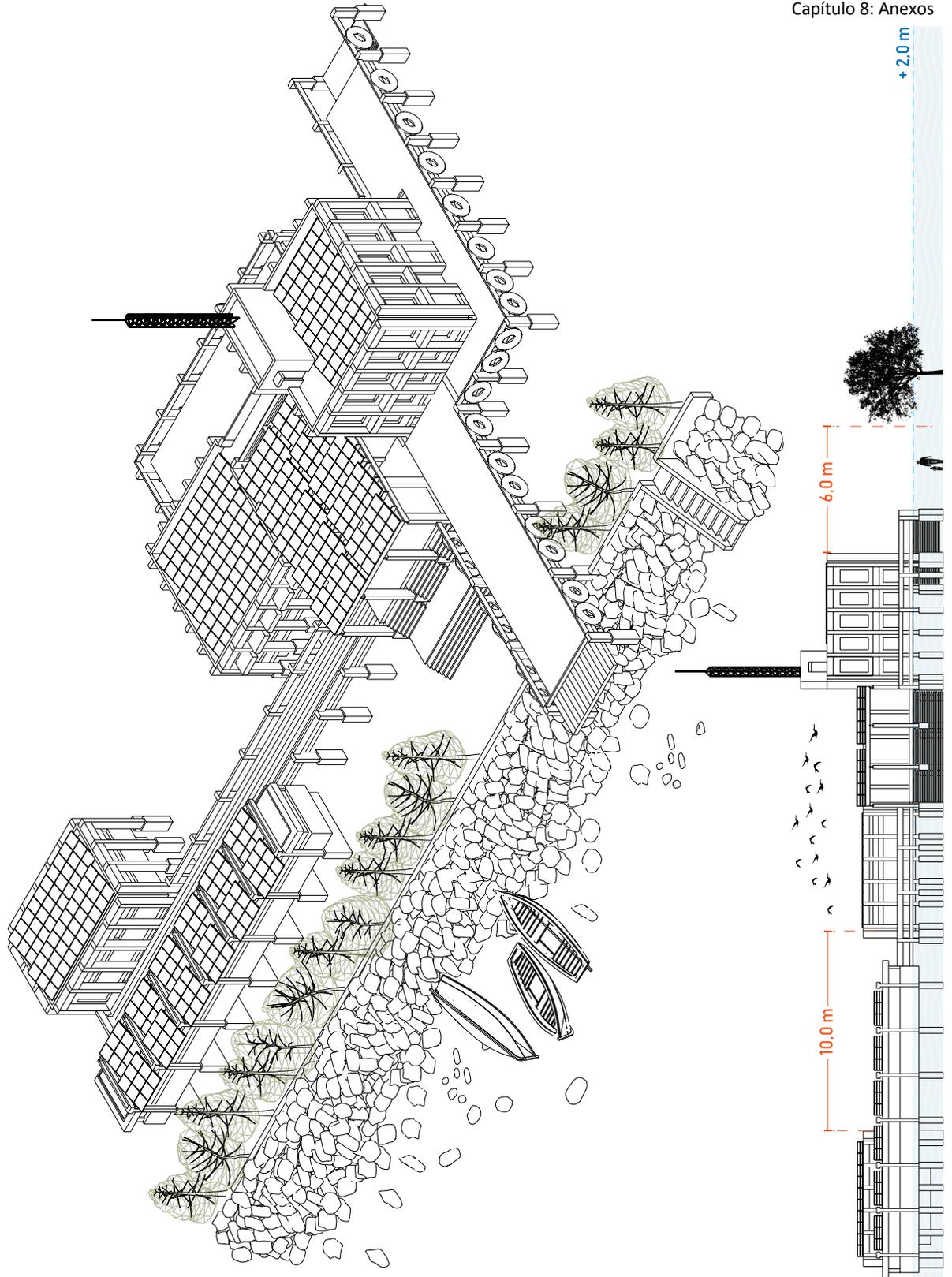


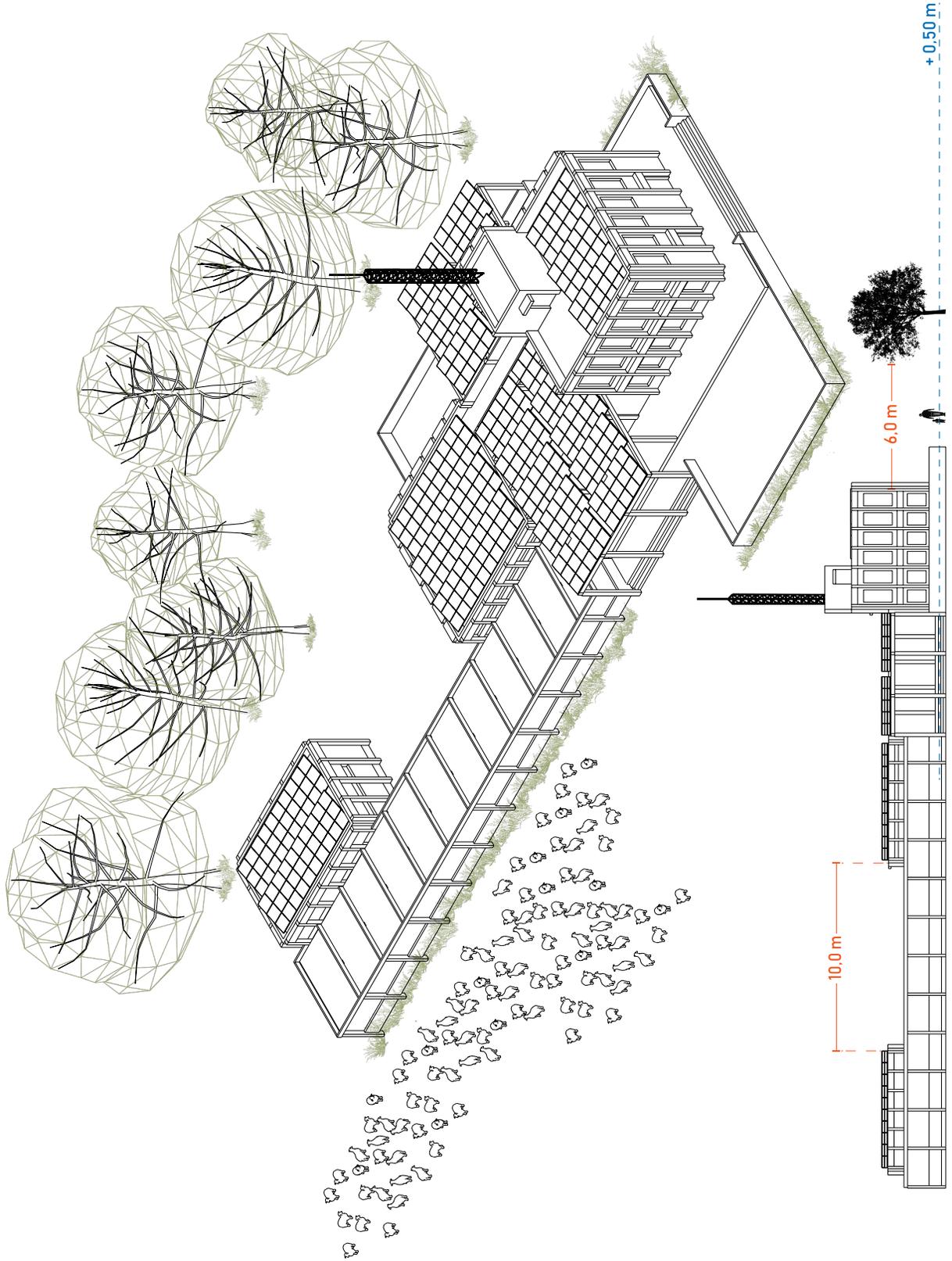


# MACROZONA 4

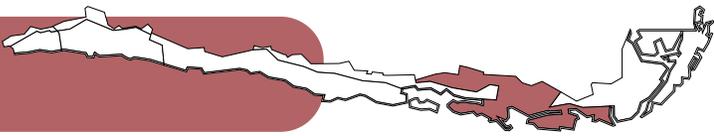
HISZIV9

HISZIV





MACROZONA 6  
ISZSI



## 8.5 ANEXO E – Antecedentes elaboración prototipo

### 8.5.1 Planimetría del prototipo

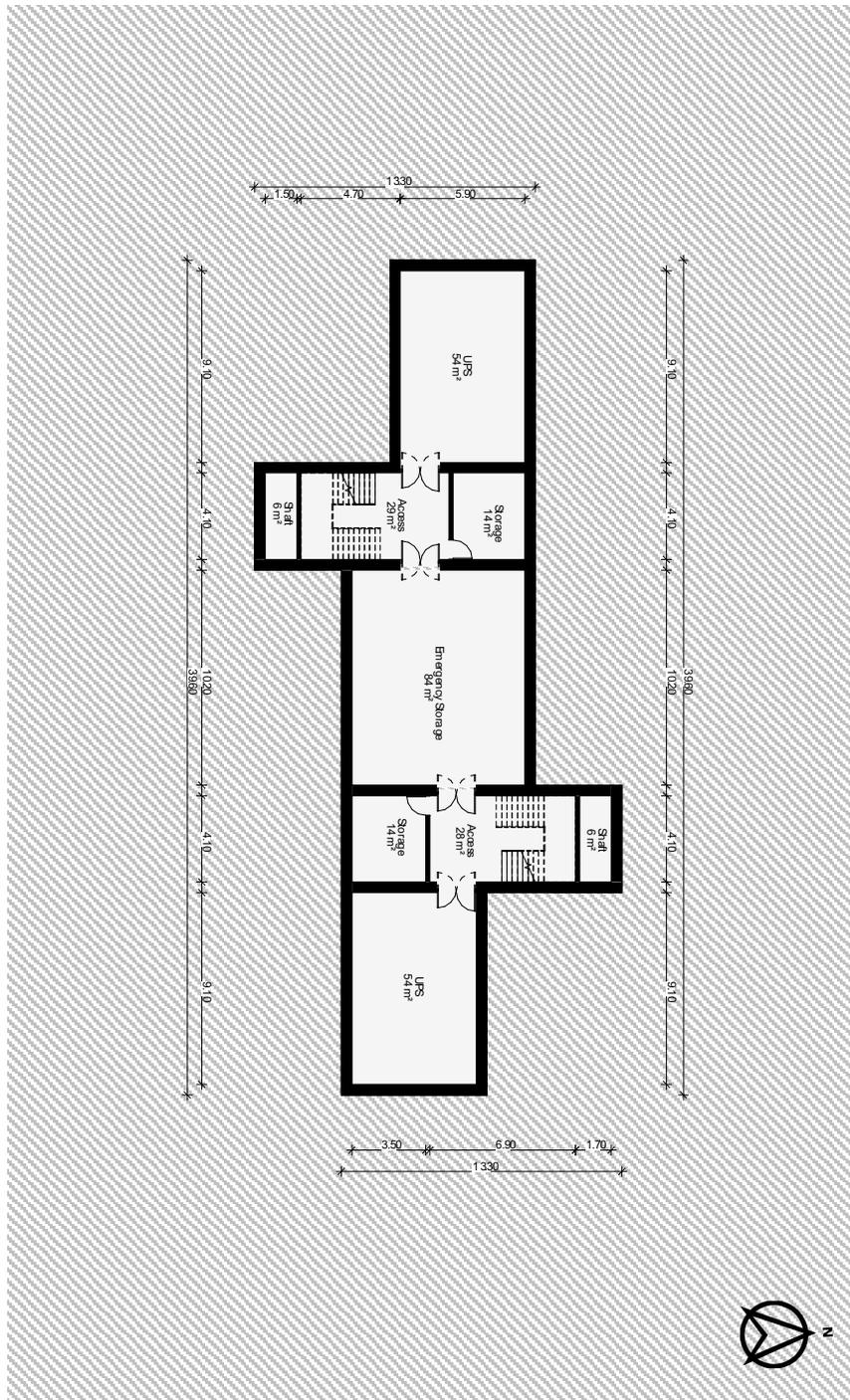


Figura 8.27: Planta nivel -1 prototipo (Fuente: elaboración propia)



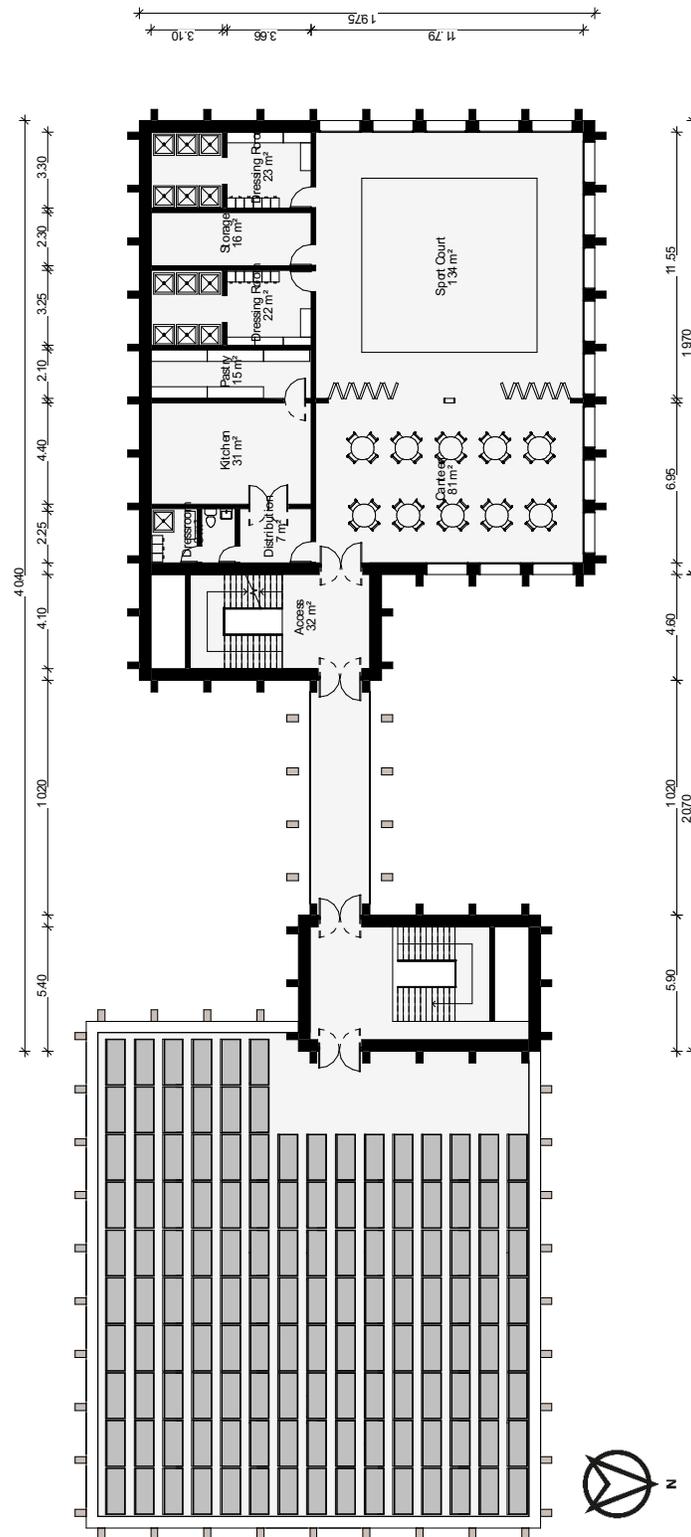


Figura 8.29: Planta segundo nivel prototipo (Fuente: elaboración propia)

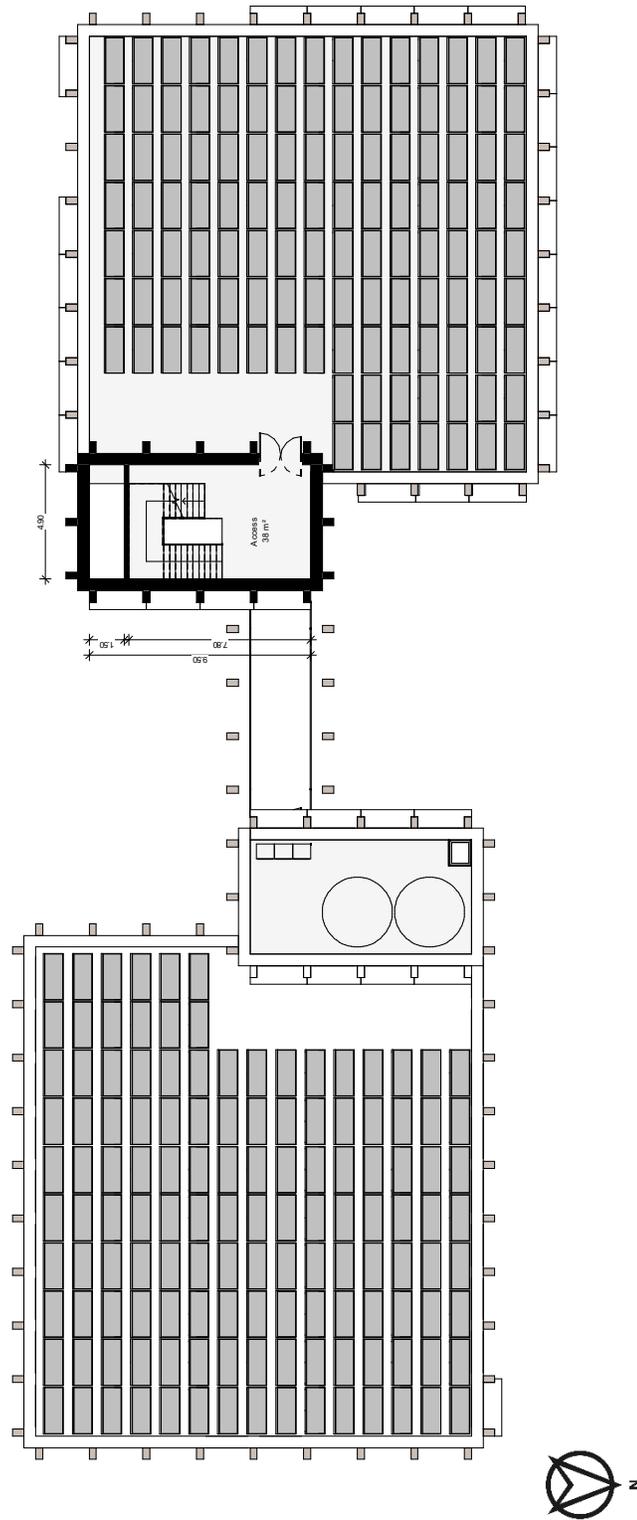


Figura 8.30: Planta tercer nivel prototipo (Fuente: elaboración propia)

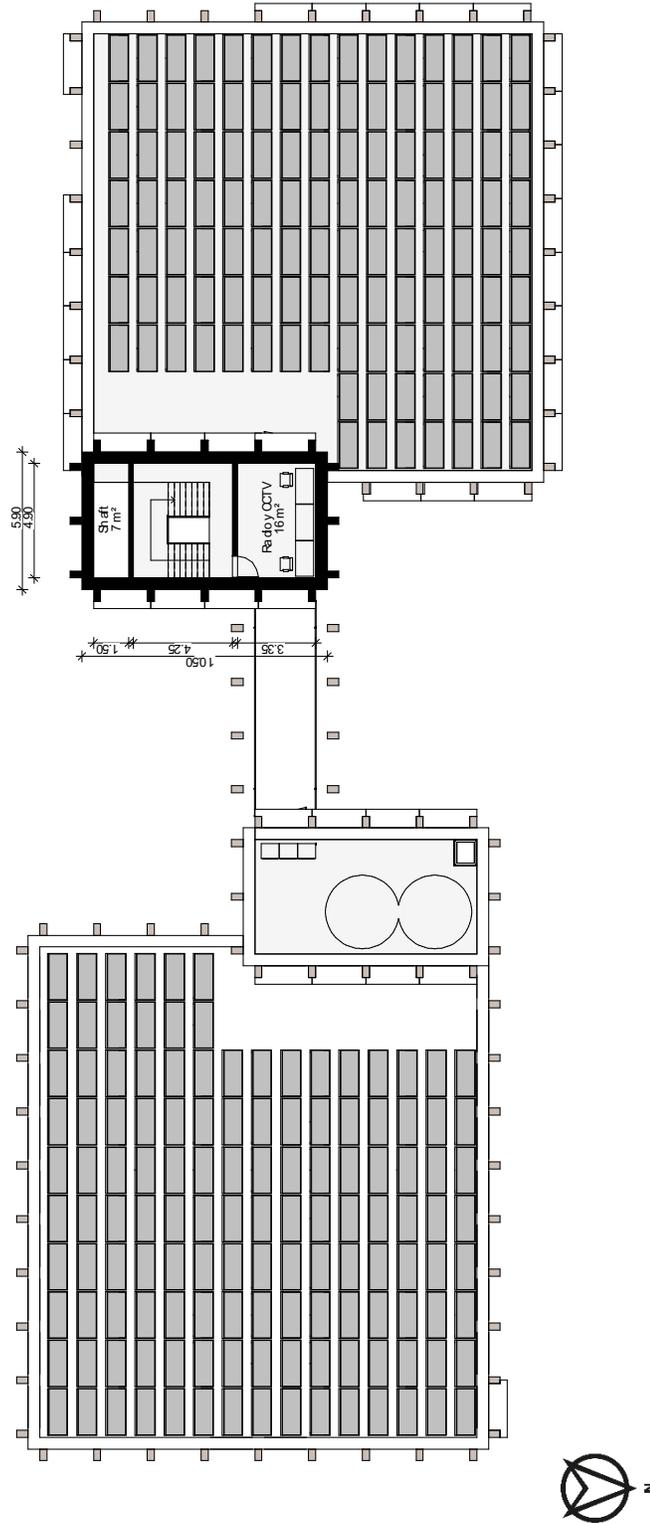
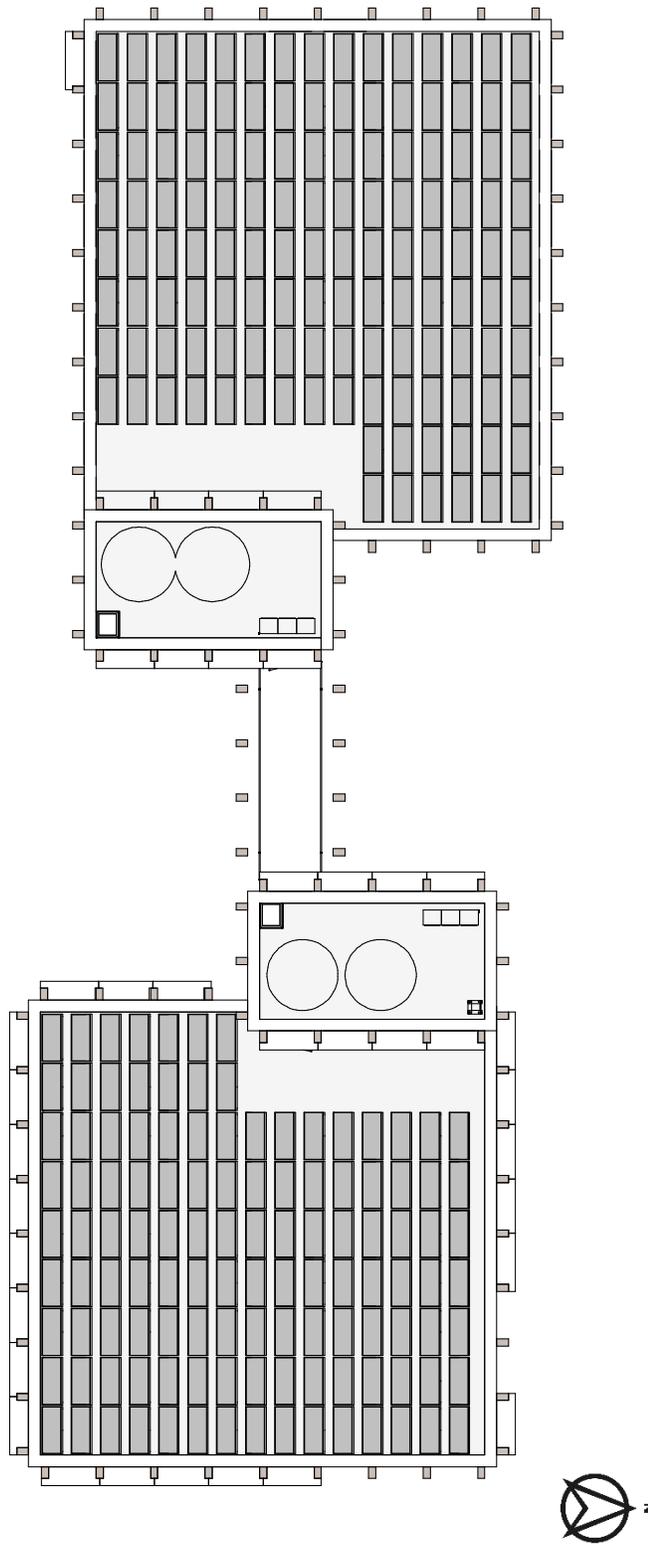


Figura 8.31: Planta cuarto nivel prototipo (Fuente: elaboración propia)



**Figura 8.32: Planta cubiertas prototipo (Fuente: elaboración propia)**

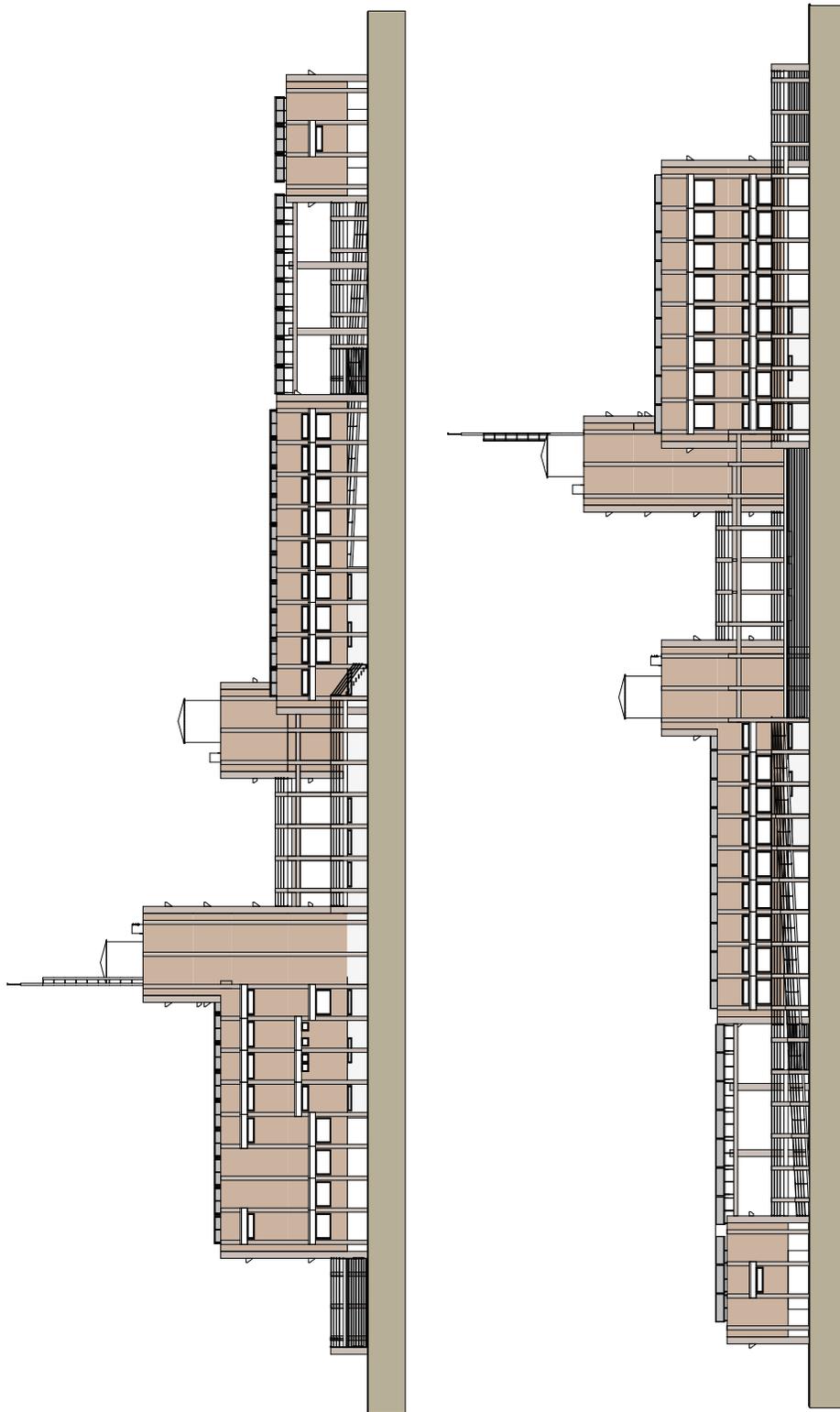


Figura 8.33: Elevación Norte y Sur (Fuente: elaboración propia)



Figura 8.34: Elevación Este y Oeste y cortes transversales (Fuente: elaboración propia)

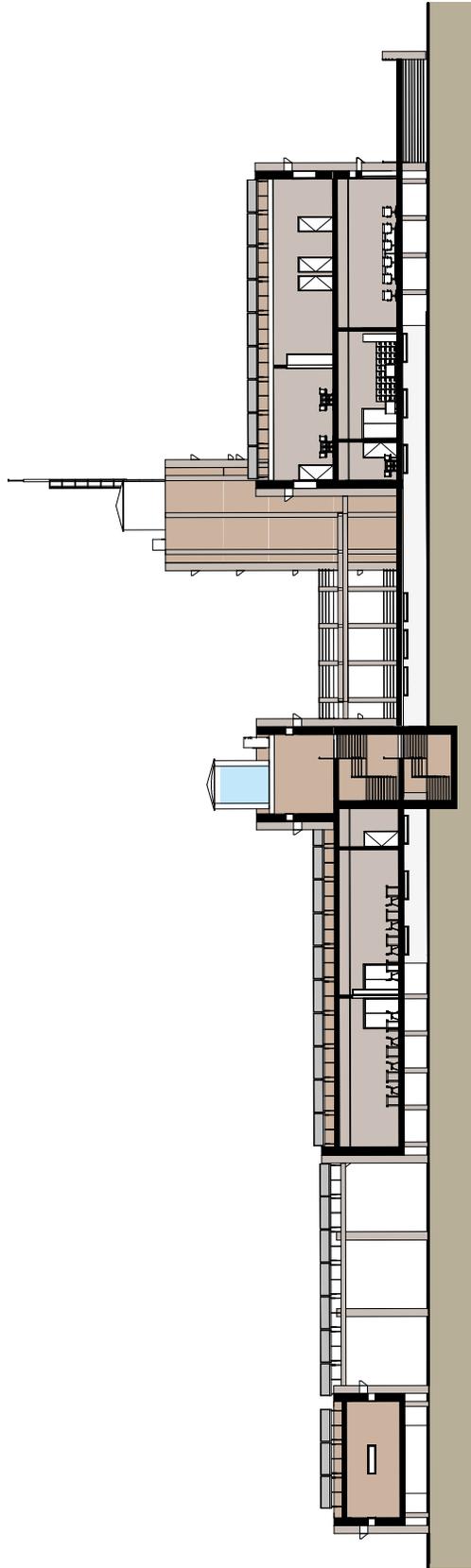


Figura 8.35: Corte Longitudinal (Fuente: elaboración propia)

8.5.2 Parámetros de diseño:

**Tabla 8.3: Requerimientos programáticos y de superficie en edificios educacionales chilenos.**

Área	Recinto	Unidad	Valor	Fuente
Educativa	Aulas	m2/al	1,5	MINEDUC, 2011
		m3/al	3	OGUC, 2017
	DMD	m2	12	MINEDUC, 2011
Docente/Administrativa	Sala profesores	m2	24	MINEDUC, 2011
Servicios	SSHH (Artefactos)			OGUC, 2017
	Lavamanos	un/60 al	2	
	(Incremento)	un/40 al	1	
	WC	un/60 al	2	
	(Incremento)	un/30 al	1	
	Urinario	un/60 al	1	
	(Incremento)	un/60 al	1	
	Duchas	un/60 al	1	
	(Incremento)	un/30 al	1	
	Primeros Auxilios	m2	9	MINEDUC, 2011
	Comedor	m2/al	1	MINEDUC, 2011
	Cocina	% sup comedor	30	MINEDUC, 2011
	Dispensa	m2	10	MINEDUC, 2016
	Talleres y Laboratorios	m2/alumno	2	MINEDUC, 2011
	Oficinas	m2	12	MINEDUC, 2011
	Sala profesores	m2	24	MINEDUC, 2011
	Bodegas	m3	12	MINEDUC, 2011
Patio	Patio	m2/al	2,5	OGUC, 2017
	Patio cubierto	m3	70	OGUC, 2017
	Multicancha (18x30)	m2	540	OGUC, 2017

**Tabla 8.4: Requerimientos de CAI para edificios educacionales en Chile**

Criterio	Magnitud	Valor	Fuente
Iluminancia Aulas	lux	300	TDRé, 2017
Iluminancia Bibliotecas	lux	400	TDRé, 2017
Confort térmico	Según modelo de Confort Adaptativo		MOP, 2012
Ventilación	ach	10 - 15	ACHÉE 2012
Acústicos	CES, 2014		
Aislación Fachada			
	NED ≤ 65	db(A)	25
	NED > 65	db(A)	NED - 40
Aislación entre dos recintos	db(A)	50	

**Tabla 8.5: Requerimientos de Resiliencia y Sustentabilidad**

<b>Criterio</b>	<b>Aspecto a incorporar</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente</b>
	Transporte eficiente			
	Bicicleteros	% usuarios	5%	LEED
	Preferir áreas verdes			
	Superficie áreas verdes	% sup proy	30%	LEED
	Zonas de Mitigación			
	Anillo sin vegetación	m	3	FEMA,2008
	Altura tronco árboles	m	5	FEMA,2008
	Separación entre tronco arboles	m	3	FEMA,2008
	Separación entre arbustos	m/h	0,5	FEMA,2008
	Geometría y Orientación			
	Relación de aspecto		≈1	Naeim, 2001
	Altura sobre el piso inundación		>1,0	FEMA, 2008
	Altura sobre el piso tsunami		>1,5	
	Estructura y Envoltente Térmica			
	Sistemas Constructivos	Muros arriostrados Pórticos Sistemas mixtos		Nch433, 1997
	Valor U Muros (min)	W/m²K	0,6	TDRe,2016
	Valor U Cubierta (min)	W/m²K	0,4	TDRe, 2016
	Valor U Pisos (min)	W/m²K	0,6	TDRe, 2016
	Sistemas constructivos adaptables			
	Sistemas Constructivos	tipo	Modular	RELi, 2017
	Transportabilidad	m	12x2,4x2,7	Ley N°18.290
	Espacios Adaptables			
	Albergue	per m2/per	2x usuarios 2,8	RELi, 2017 RELi, 2017
	Enfermería / Primeros auxilios	m2	18	RELi, 2017
	Sala de Comunicaciones	cantidad	1	RELi, 2017
	Almacenamiento de emergencia			
	Provisiones para 10 días (Agua, comida, higiene y primeros aux)	m2/per	0,5	RELi, 2017
	Vías de evacuación			
	Ancho pasillos abiertos	m	1,8	OGUC, 2017
	Ancho pasillos cerrados	m	2,4	OGUC, 2017
	Ancho escaleras	m	1,5	OGUC, 2017
	Seguridad térmica			
	T° máx operación de emergencia	°C	T° Ext	RELi, 2017
	T° min operación de emergencia	°C	15	RELi, 2017
	Operación en emergencia			
	Energía	estándar	NZEB / Plus Energy	DOE, 2018
	Agua	estándar	Plus Water	DOE, 2018

	Producción de comida			LEED
	Superficie destinada	m <sup>2</sup> /al	0,5	
	Superficie mínima	m <sup>2</sup>	75	

**Tabla 8.6: Requerimientos Passivhaus Schools\***

Área	Parámetro	Unidad	Valor
<b>Demanda Energética</b>	Demanda de Calefacción / Enfriamiento	kWh/m <sup>2</sup> año	15
	Demanda primaria de Energía Renovable	kWh/m <sup>2</sup> año	120
<b>Construcción</b>	Hermeticidad del aire	ach50	0,6
	Transmitancia térmica elementos constructivos*	W / (m <sup>2</sup> K)	0,15
	Ventanas	W / (m <sup>2</sup> K)	0,85
		g	0,5
<b>Confort térmico</b>	% máximo horas de uso anuales sobre 25°C	%	10
	Cambios de aire	m <sup>3</sup> /pers/hr	15-20

\* Fuente: <https://passipedia.org/planning/non-residential/passive-house-buildings/passive-house-schools/passive-house-schools-requirements>

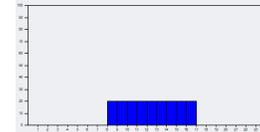
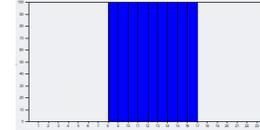
\*\*Se obtuvo del estándar Passivhaus para viviendas.

8.5.3 Parámetros de simulación

**Figura 8.36: Calendarios de ocupación para simulación**

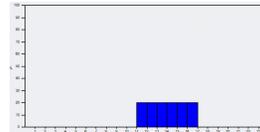
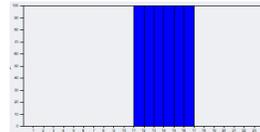
**1. ESCOLAR (Programación anual colegios en Chile)**

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	8:00 to 17:00	Off	Off				
Abr	8:00 to 17:00	Off	Off				
May	8:00 to 17:00	Off	Off				
Jun	8:00 to 17:00	Off	Off				
Jul	8:00 to 17:00	Off	Off				
Ago	8:00 to 17:00	Off	Off				
Sep	8:00 to 17:00	Off	Off				
Oct	8:00 to 17:00	Off	Off				
Nov	8:00 to 17:00	Off	Off				
Dic	8:00 to 17:00 20%	Off	Off				



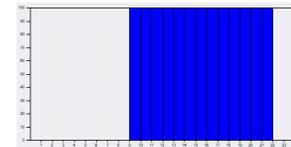
**2. HVAC Regular (Programación HVAC régimen de funcionamiento normal)**

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	11:00 to 17:00	Off	Off				
Abr	11:00 to 17:00	Off	Off				
May	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	11:00 to 17:00	Off	Off				
Dic	11:00 to 17:00 20%	Off	Off				



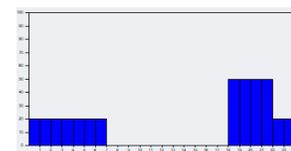
**3. EMERGENCIA (Programación funcionamiento de servicios en emergencia)**

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	9:00 to 22:00						
Feb	9:00 to 22:00						
Mar	9:00 to 22:00						
Abr	9:00 to 22:00						
May	9:00 to 22:00						
Jun	9:00 to 22:00						
Jul	9:00 to 22:00						
Ago	9:00 to 22:00						
Sep	9:00 to 22:00						
Oct	9:00 to 22:00						
Nov	9:00 to 22:00						
Dic	9:00 to 22:00						



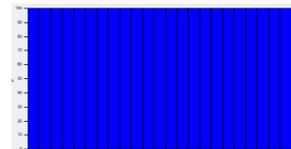
**4. EMERGENCIA (Programación funcionamiento de servicios en emergencia)**

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	50% 19:00 to 7:00						
Feb	50% 19:00 to 7:00						
Mar	50% 19:00 to 7:00						
Abr	50% 19:00 to 7:00						
May	50% 19:00 to 7:00						
Jun	50% 19:00 to 7:00						
Jul	50% 19:00 to 7:00						
Ago	50% 19:00 to 7:00						
Sep	50% 19:00 to 7:00						
Oct	50% 19:00 to 7:00						
Nov	50% 19:00 to 7:00						
Dic	50% 19:00 to 7:00						



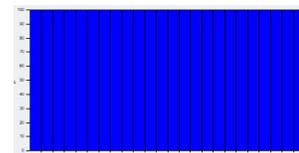
**5. VM EMERGENCIA** (Programación de ventilación mecánica en periodo de emergencia)

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Abr	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
May	On	On	On	On	On	On	On
Jun	On	On	On	On	On	On	On
Jul	On	On	On	On	On	On	On
Ago	On	On	On	On	On	On	On
Sep	On	On	On	On	On	On	On
Oct	On	On	On	On	On	On	On
Nov	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dic	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off



**5. VN EMERGENCIA** (Programación de ventilación natural en periodo de emergencia)

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	On	On	On	On	On	On	On
Feb	On	On	On	On	On	On	On
Mar	On	On	On	On	On	On	On
Abr	On	On	On	On	On	On	On
May	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	On	On	On	On	On	On	On
Dic	On	On	On	On	On	On	On



**Tabla 8.7. Parámetros de simulación para tipologías de recintos según perfil de operación**

Parámetro	Magnitud	PO 1		PO 2		PO 3	
		Valor	Calendario	Valor	Calendario	Valor	Calendario
<b>ZONA TIPO 1 (Aulas)</b>							
<b>ACTIVIDAD</b>							
Densidad ocupacional	per/m2	0,67	Escolar	0,67	Escolar	0,35	24/7
T° Calefacción	°C	16	-	16	-	16	-
T° Refrigeración	°C	25	-	25	-	25	-
Aire ext min	l/s per	5	-	5	-	5	-
	l/s m2	0,6	-	0,6	-	0,6	-
Iluminancia	lux	300	-	300	-	300	-
Computadoras	W/m2	-	-	-	-	-	-
Equipos oficinas	W/m2	12,9	Escolar	12,9	Escolar	-	-
Misceláneos	W/m2	-	-	-	-	7,5	EMER
<b>HVAC</b>							
Ventilación mecánica	-	Sí	Escolar	Sí	Escolar	Sí	VM Emer
Caudal aire ext	-	Aire ext min/pers.		Aire ext min/pers		Aire ext min/pers	
Refrigeración	-	Sí	HVAC Reg	Sí	HVAC Reg	No	-
Combustible	-	Electricidad		Electricidad		-	-
COP	factor	1	-	1	-	-	-
ACS	-	Escolar		Escolar		No	-
Tipo	-	Inst. hot water only		Inst. hot water only		-	
Combustible	-	Electricidad		Electricidad		-	
COP	factor	1	-	1	-	-	-
T° Suministro	°C	41	-	41	-	-	-

T° Entrada	°C	14,7	-	14,7	-	-	-
Ventilación Natural		-	-	-	-	Sí	VN Emer
		-	-	-	-	<i>Aire ext min/pers</i>	
<b>Iluminación</b>							
Dens Normalizada.	W/m2-100lux	3,75	Escolar	3,75	Escolar	3,75	ILUM Emer
Control iluminac.		Sí		Sí		Sí	
Tipo luminaria		Superficial		Superficial		Superficial	
H plano trabajo	m	0,8	-	0,8	-	0,8	-
<b>ZONAS TIPO 2 (Biblioteca, auditorio, comedor, gimnasio, sala de profesores)</b>							
<b>ACTIVIDAD</b>							
Densidad ocupacional.	per/m2	1,3	Escolar	0,35	24/7	0,35	24/7
T° Calefacción	°C	16	-	16	-	16	-
T° Refrigeración	°C	25	-	25	-	25	-
Aire ext min	l/s per	5	-	2,5	-	5	-
	l/s m2	0,6	-	0,3	-	0,6	-
Iluminancia	lux	300	-	200	-	300	-
Computadoras	W/m2	-	-	-	-	-	-
Equipos oficinas	W/m2	17,2	Escolar	-	-	-	-
Misceláneos	W/m3	-	-	7,5	EMER	7,5	EMER
<b>HVAC</b>							
Ventilación. mecánica		Sí	Escolar	Sí	VM Emer	Sí	VM Emer
Caudal aire ext		<i>Aire ext min / pers.</i>		<i>Aire ext min / pers.</i>		<i>Aire ext min/pers</i>	
Refrigeración		Sí	HVAC Reg	No	-	No	-
Combustible		Electricidad		-		-	
COP	factor	1	-	-	-	-	-
ACS		Sí	Escolar	Sí	EMER	No	-
Tipo		<i>Inst. hot water only</i>		<i>Inst. hot water only</i>		-	
Combustible		Electricidad		Electricidad		-	
COP	factor	1	-	1	-	-	-
T° Suministro	°C	41	-	41	-	-	-
T° Entrada	°C	14,7	-	14,7	-	-	-
Ventilación. Natural		No	-	Sí	VN Emer	Sí	VN Emer
Caudal aire ext		No	-	<i>Aire ext min / pers.</i>		<i>Aire ext min/pers</i>	
<b>Iluminación</b>							
Densidad Normalizada.	W/m2-100lux	3,75	Escolar	3,75	ILUM Emer	3,75	ILUM Emer
Control iluminación.		Sí	-	Sí	-	Sí	
Tipo luminaria		Superficial		Superficial		Superficial	
H plano trabajo	m	0,8	-	0,8	-	0,8	-
<b>ZONAS TIPO 3 (Oficinas y primeros auxilios)</b>							
<b>ACTIVIDAD</b>							
Densidad ocupacional.	per/m2	0,14	Escolar	0,14	EMER	0,14	EMER
T° Calefacción	°C	16	-	16	-	16	-
T° Refrigeración	°C	25	-	25	-	25	-
Aire ext min	l/s per	5	-	5	-	5	-
	l/s m2	0,6	-	0,6	-	0,6	-
Iluminancia	lux	300	-	300	-	300	-
Computadoras	W/m2	-	-	-	-	-	-
Equipos oficinas	W/m2	21,5	Escolar	21,5	EMER	21,5	EMER
Misceláneos	W/m3	-	-	-	-	-	-
<b>HVAC</b>							
Ventilación mecánica		Sí	Escolar	Sí	VM Emer	Sí	VM Emer
Caudal aire ext		<i>Aire ext min/pers.</i>		<i>Aire ext min/pers</i>		<i>Aire ext min/pers</i>	
Refrigeración							
Combustible		Electricidad		-		-	
COP	factor	1	HVAC Reg	-	-	-	-
ACS		Sí	Escolar	No	-	No	-
Tipo		<i>Inst. hot water only</i>		-		-	
Combustible		Electricidad		-		-	
COP	factor	1	-	-	-	-	-

T° Suministro	°C	41	-	-	-	-	-
T° Entrada	°C	14,7	-	-	-	-	-
Ventilación Mecánica		No		Sí	VN Emer	Sí	VN Emer
Caudal aire ext			-		Aire ext min/pers		Aire ext min/pers
<b>Iluminación</b>							
Densidad Normalizada.	W/m2-100lux	3,75	Escolar	3,75	ILUM Emer	3,75	ILUM Emer
Control iluminación.		Sí	-	Sí	-	Sí	-
Tipo luminaria		Superficial		Superficial		Superficial	
H plano trabajo	m	0,8	-	0,8	-	0,8	-
<b>ZONAS TIPO 4 (Cocina, baños y camarines)</b>							
<b>ACTIVIDAD</b>							
Densidad ocupacional.	m2/per	0,07	Escolar	0,07	24/7	0,07	24/7
T° Calefacción	°C	16	-	16		16	
T° Refrigeración	°C	25	-	25		25	
Aire ext min	l/s per	10	-	10		10	
	l/s m2	3,5	-	3,5		3,5	
Iluminancia	lux	200	-	200		200	
Computadoras	W/m2	-	-	-	-	-	-
Equipos oficinas	W/m2	-	-	-	-	-	-
Misceláneos	W/m2	5,3	Escolar	5,3	EMER	5,3	EMER
<b>HVAC</b>							
Ventilación mecánica		Sí	Escolar	Sí	VM Emer	Sí	VM Emer
Caudal aire ext		Aire ext min/pers.		Aire ext min/pers		Aire ext min/pers	
Refrigeración		No	-	No	-	No	-
ACS		Sí	Escolar	No	-	No	-
Tipo		<i>Inst. hot water only</i>		-	-	-	-
Combustible		Electricidad		-	-	-	-
COP	factor	1	-	-	-	-	-
T° Suministro	°C	41	-	-	-	-	-
T° Entrada	°C	14,7	-	-	-	-	-
Ventilación Natural		No	-	Sí	VN Emer	Sí	VN Emer
Caudal aire ext		-	-		Aire ext min/pers		Aire ext min/pers
<b>Iluminación</b>							
Densidad Normalizada.	W/m2-100lux	3,75	Escolar	3,75	ILUM Emer	3,75	ILUM Emer
Control iluminación.		Sí	-	Sí	-	Sí	-
Tipo luminaria		Superficial		Superficial		Superficial	
H plano trabajo	m	0,8	-	0,8	-	0,8	-
<b>ZONA TIPO 5 (Bodegas)</b>							
<b>ACTIVIDAD</b>							
Densidad ocupacional.	m2/per	0,025	Escolar	0,025	EMER	0,025	EMER
T° Calefacción	°C	16	-	16	-	16	-
T° Refrigeración	°C	25	-	25	-	25	-
Aire ext min	l/s per	2,5	-	2,5	-	2,5	-
	l/s m2	0,3	-	0,3	-	0,3	-
Iluminancia	lux	150	-	150	-	150	-
Computadoras	W/m2	-	-	-	-	-	-
Equipos oficinas	W/m2	-	-	-	-	-	-
Misceláneos	W/m3	8,6	Escolar	8,6	EMER	8,6	EMER
<b>HVAC</b>							
		No	-	No	-	No	-
<b>Iluminación</b>							
Densidad Normalizada.	W/m2-100lux	3,75	Escolar	3,75	ILUM Emer	3,75	ILUM Emer
Control iluminación.		Sí	-	Sí	-	Sí	-
Tipo luminaria		Superficial		Superficial		Superficial	
H plano trabajo	m	0,8	-	0,8	-	0,8	-
<b>ZONA TIPO 6 (Circulaciones)</b>							
<b>ACTIVIDAD</b>							
Densidad ocupacional.	m2/per	0,1	Escolar	0,2	EMER	0,2	EMER

T° Calefacción	°C	16	-	16	-	16	-
T° Refrigeración	°C	25	-	25	-	25	-
Aire ext min	l/s per	2,5	-	2,5	-	2,5	-
	l/s m2	0,3	-	0,3	-	0,3	-
Iluminancia	lux	150	-	150	-	150	-
Computadoras	W/m2	-	-	-	-	-	-
Equipos oficinas	W/m2	-	-	-	-	-	-
Misceláneos	W/m3	-	-	-	-	-	-
<b>HVAC</b>							
		No	-	No	-	No	-
<b>Iluminación</b>							
Densidad Normalizada.	W/m2-100lux	3,75	Escolar	3,75	ILUM Emer	3,75	ILUM Emer
Control iluminación.		Sí	-	Sí	-	Sí	-
Tipo luminaria		Superficial		Superficial		Superficial	
H plano trabajo	m	0,8	-	0,8	-	0,8	-

Tabla 8.8. Parámetros de simulación de construcción del edificio

1 MUROS EXTERIORES			2 VENTANAS		
Material	Magnitud	e	Material	Magnitud	e
0,75 in Siding	mm	19	Generic Clear Glass	mm	6
OSB	mm	15	Air gap	mm	13
Cellulose	mm	370	Generic coated Poly-55	mm	55
OSB	mm	15	Air gap	mm	6
Air gap	mm	100	Generic Clear Glass	mm	6
Plasterboard	mm	25			
<b>Total Thickness</b>	<b>mm</b>	<b>610</b>	<b>Total U-value</b>	<b>W/m2K</b>	<b>1,74</b>
Total U-value	W/m2K	0,099			
Heat Capacity	KJ/m2-K	62,72			
3 TECHUMBRE			4 PISOS INTERIORES		
Material	Magnitud	e	Material	Magnitud	e
Asphalt Refl. coat	mm	13	Timber Flooring		12,3
Hardboard	mm	13	Polyurethane		5
OSB	mm	15	Hardboard		13
Cellulose	mm	370	OSB		15
OSB		15	Cellulose		370
<b>Total Thickness (m)</b>	<b>mm</b>	<b>410</b>	OSB		15
Total U-value	W/m2K	0,1	<b>Total Thickness (m)</b>		<b>430,3</b>
Heat Capacity	KJ/m2-K	31,36	Total U-value	W/m2K	0,133
			Heat Capacity	KJ/m2-K	41,24

<b>5 PISO INTERIOR CONCRETO</b>		
<b>Material</b>	<b>Magnitud</b>	<b>e</b>
Timber Flooring	mm	12,3
Polyurethane	mm	5
Cast Concrete Dense	mm	300
Air	mm	400
Cast Concrete Dense		300
<b>Total Thickness</b>	<b>mm</b>	<b>1017,3</b>
Total U-value	W/m <sup>2</sup> K	1,176
Heat Capacity	KJ/m <sup>2</sup> -K	175,43

<b>6 PISO SUBTERRANEO</b>		
<b>Material</b>	<b>Magnitud</b>	<b>e</b>
Timber Flooring	mm	12,3
Polyurethane	mm	5
Cast Concrete Dense	mm	200
Earth Gravel	mm	200
<b>Total Thickness (m)</b>	<b>mm</b>	<b>417,3</b>
Total U-value	W/m <sup>2</sup> K	1,284
Heat Capacity	KJ/m <sup>2</sup> -K	175,43

<b>7 MURO DE CONCRETO</b>		
<b>Material</b>	<b>Magnitud</b>	<b>e</b>
Cast Concret Dense	mm	400
<b>Total Thickness</b>	<b>mm</b>	<b>400</b>
Total U-value	mm	2,194
Heat Capacity	mm	176,4

8.5.4 Resultados de simulación energética

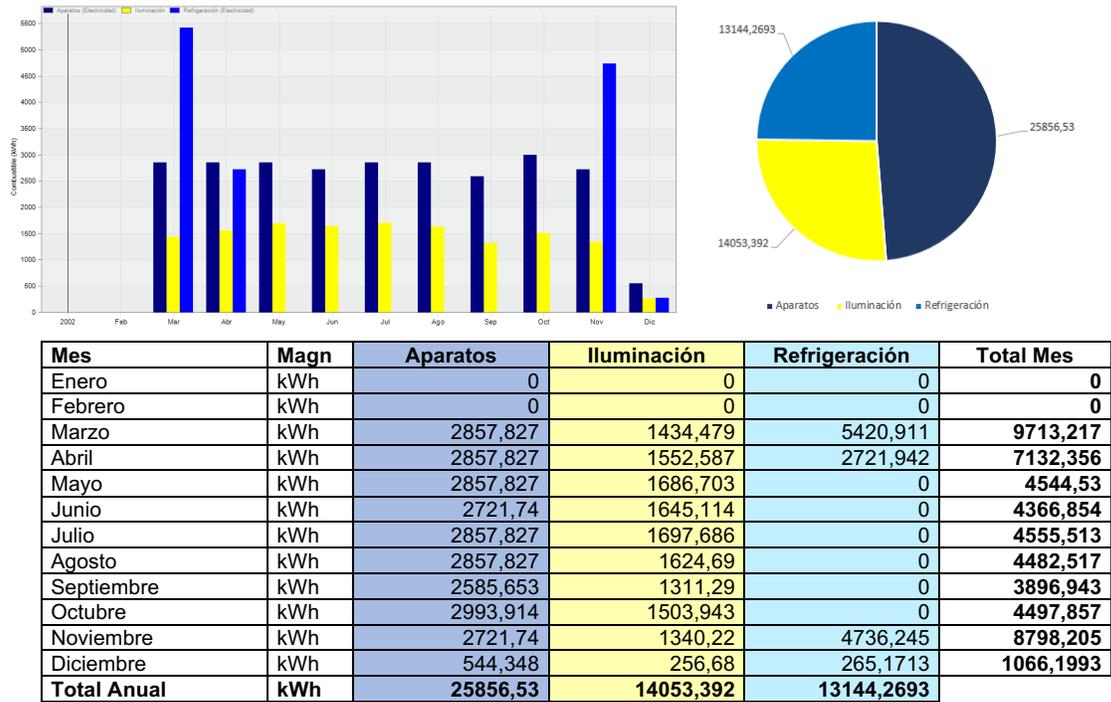


Figura 8.37:: Resultados demanda energética Perfil Operación 1. (Fuente: elaboración propia)

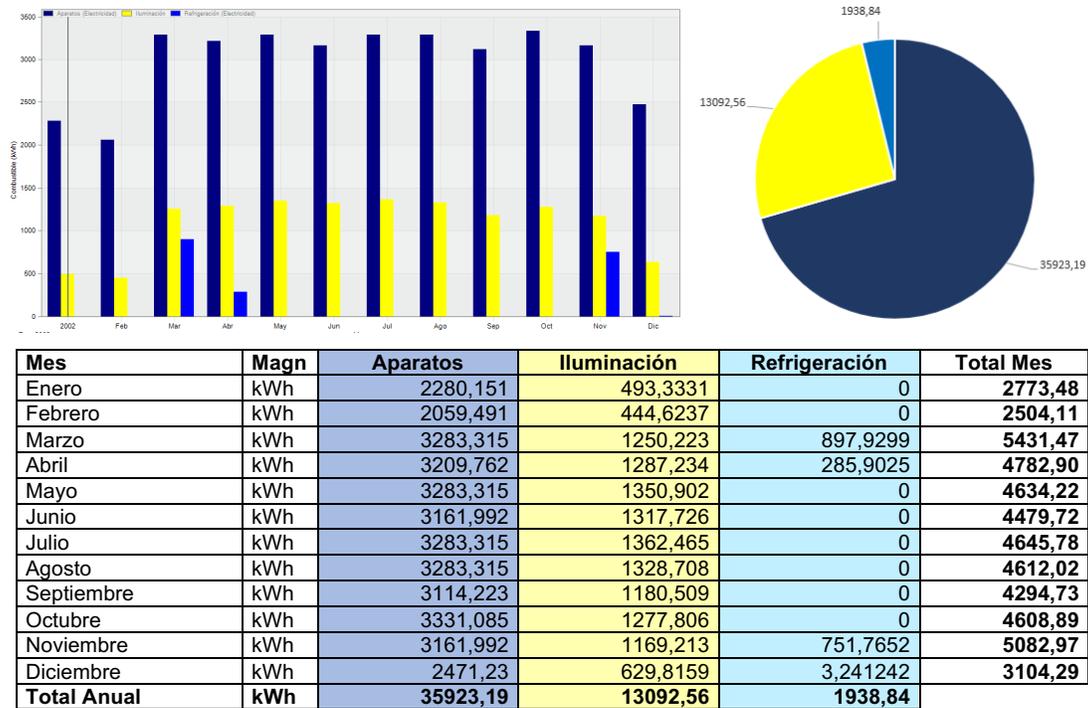


Figura 8.38:: Resultados demanda energética Perfil Operación 2. (Fuente: elaboración propia)

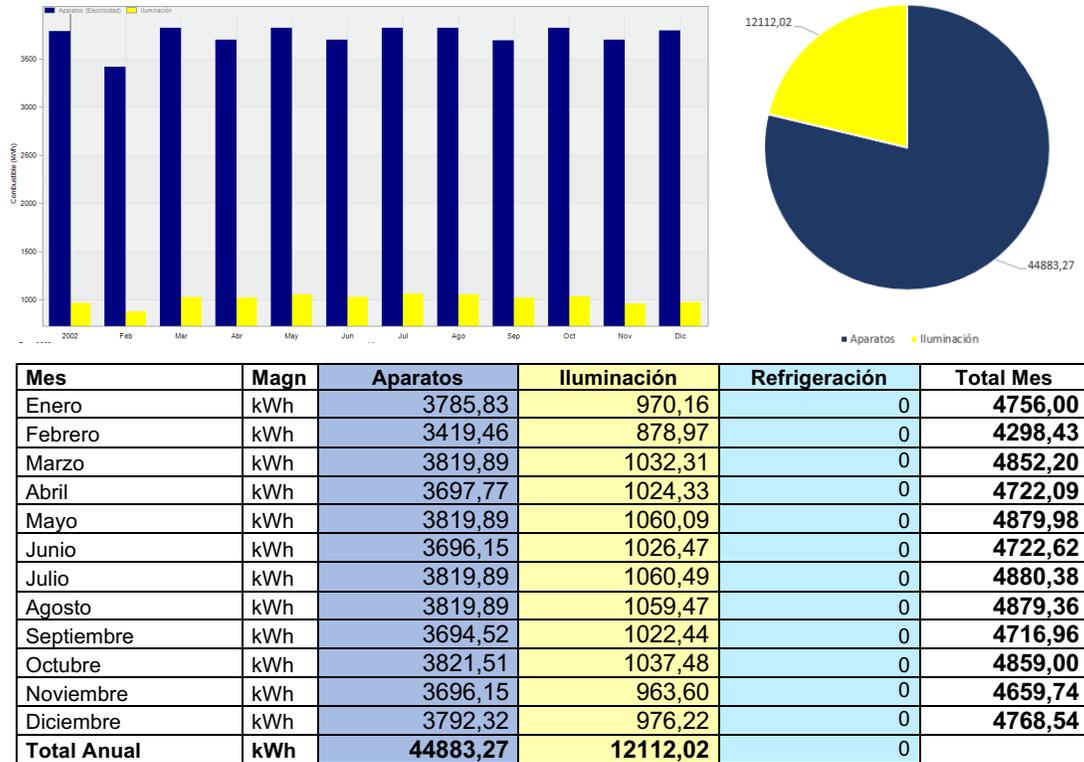


Figura 8.39:: Resultados demanda energética Perfil Operación 3. (Fuente: elaboración propia)

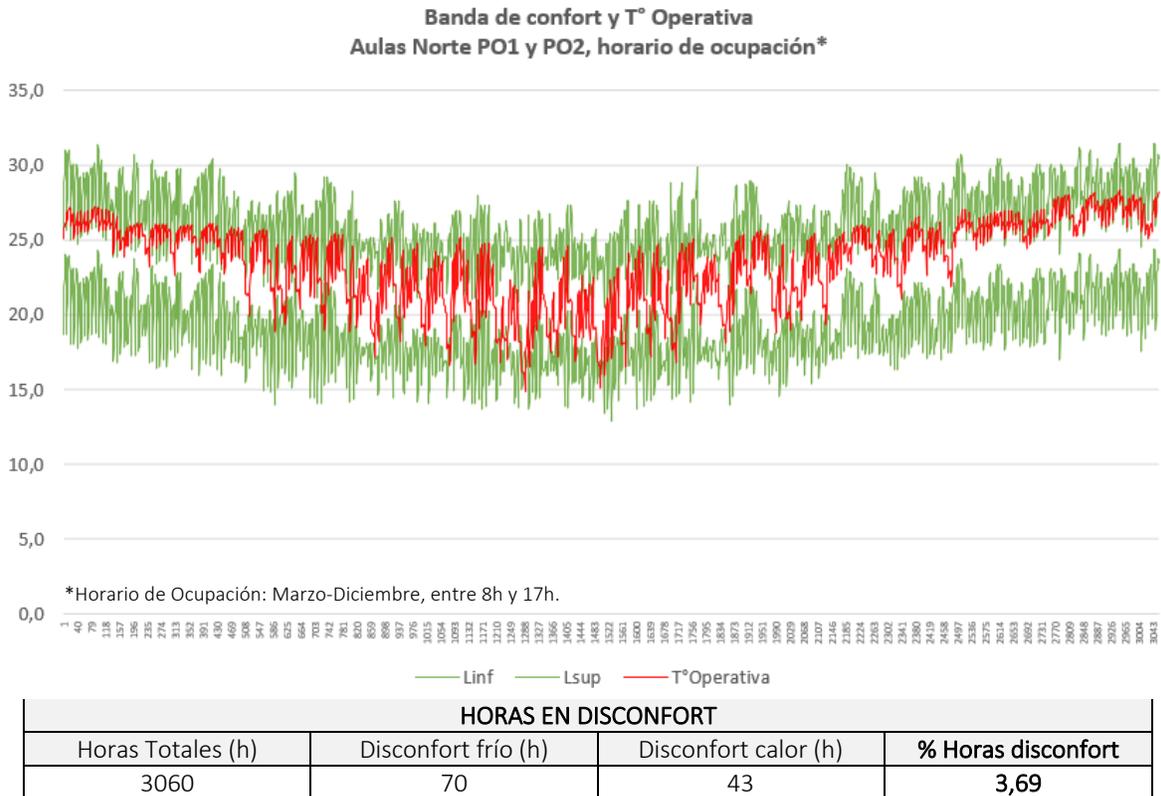
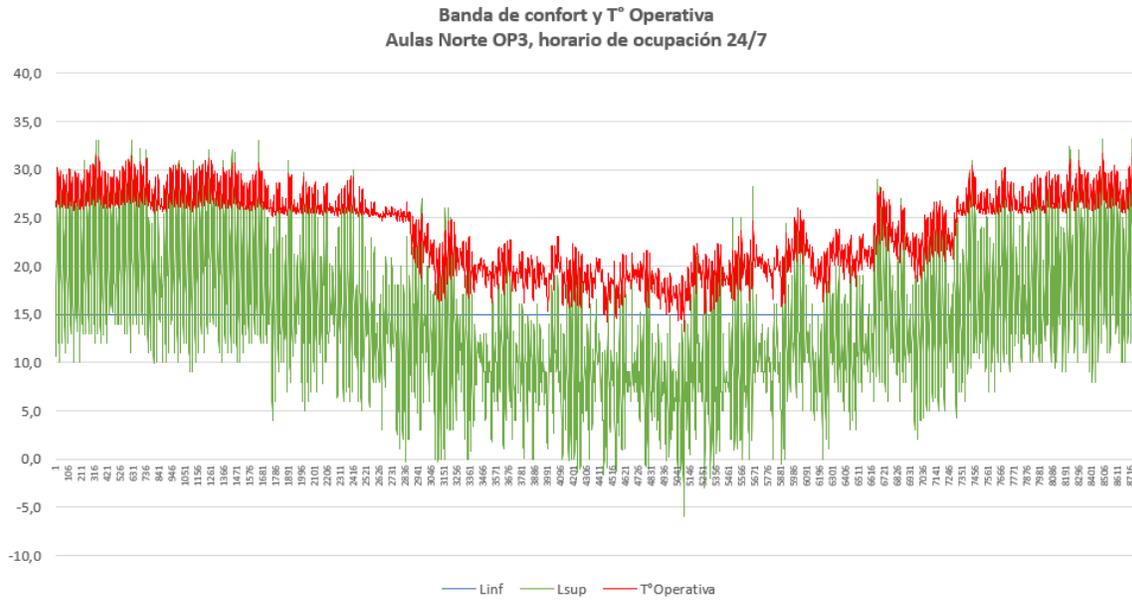
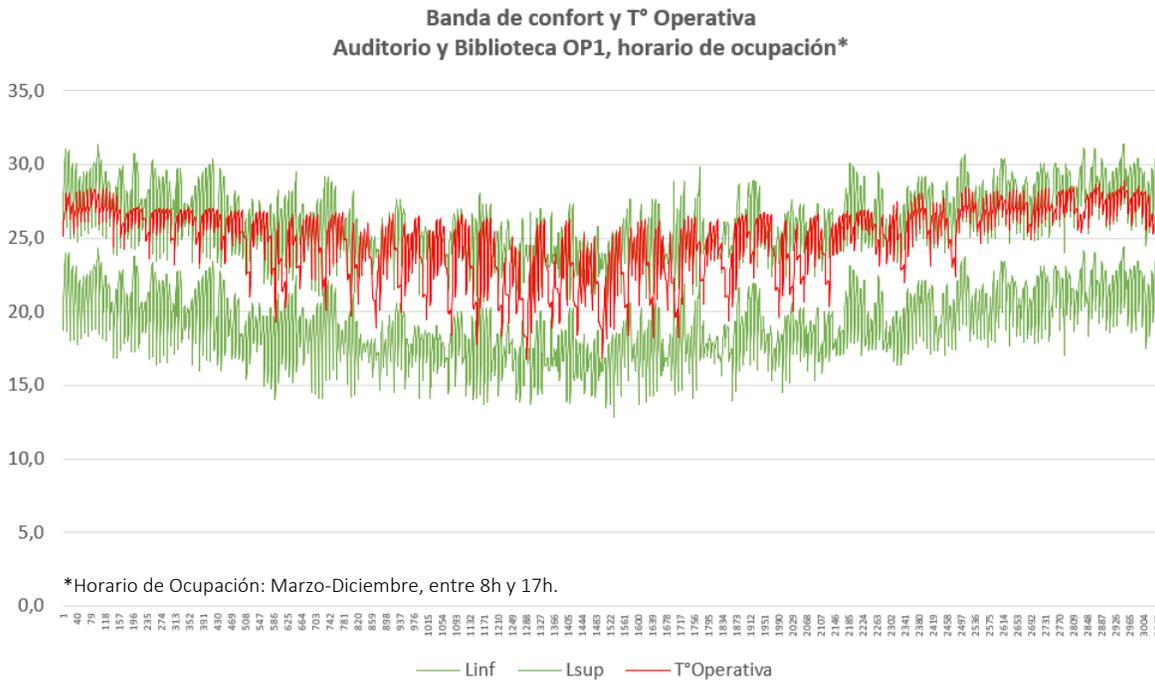


Figura 8.40:: Resultados confort térmico Aula norte, en ambos regímenes de operación.



HORAS EN DISCONFORT			
Horas Totales (h)	Disconfort frío (h)	Disconfort calor (h)	% Horas disconfort
8760	28	8601	98,5

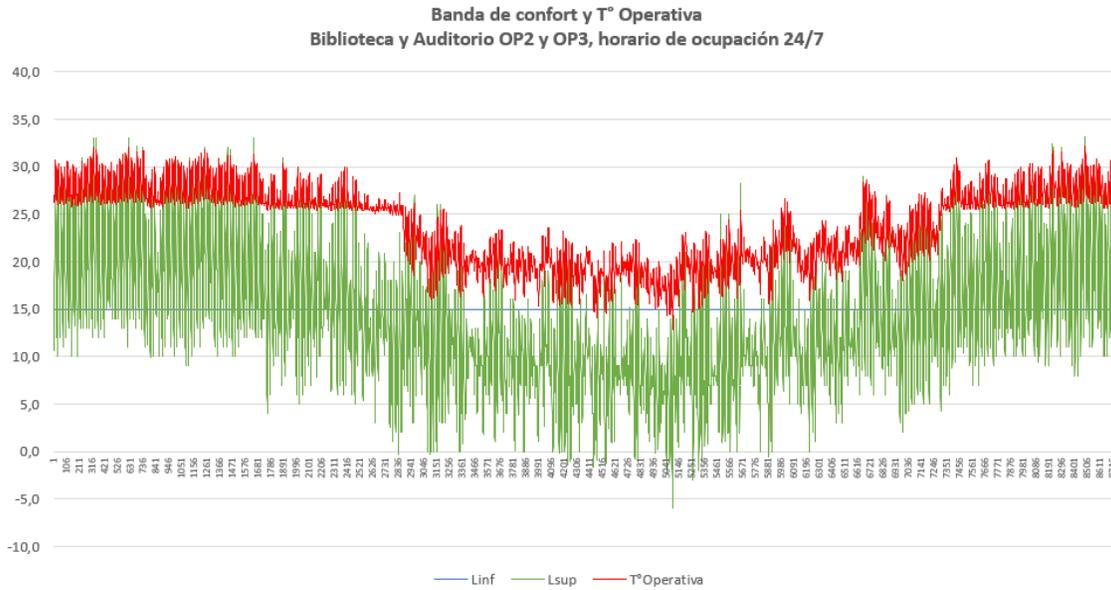
**Figura 8.41:: Resultados confort térmico aulas norte, Régimen de operación normal (OP3)**



\*Horario de Ocupación: Marzo-Diciembre, entre 8h y 17h.

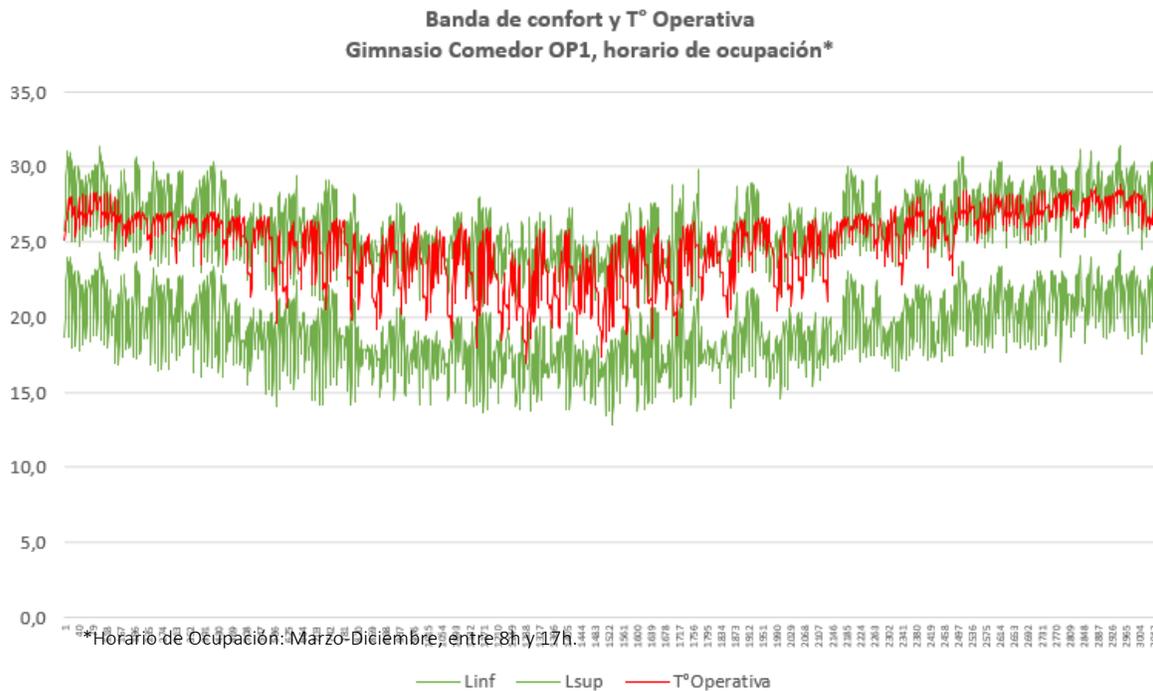
HORAS EN DISCONFORT			
Horas Totales (h)	Disconfort frío (h)	Disconfort calor (h)	% Horas disconfort
3060	1	518	17,1

**Figura 8.42:: Resultados confort térmico Auditorio y Biblioteca, Régimen de operación normal (OP1)**



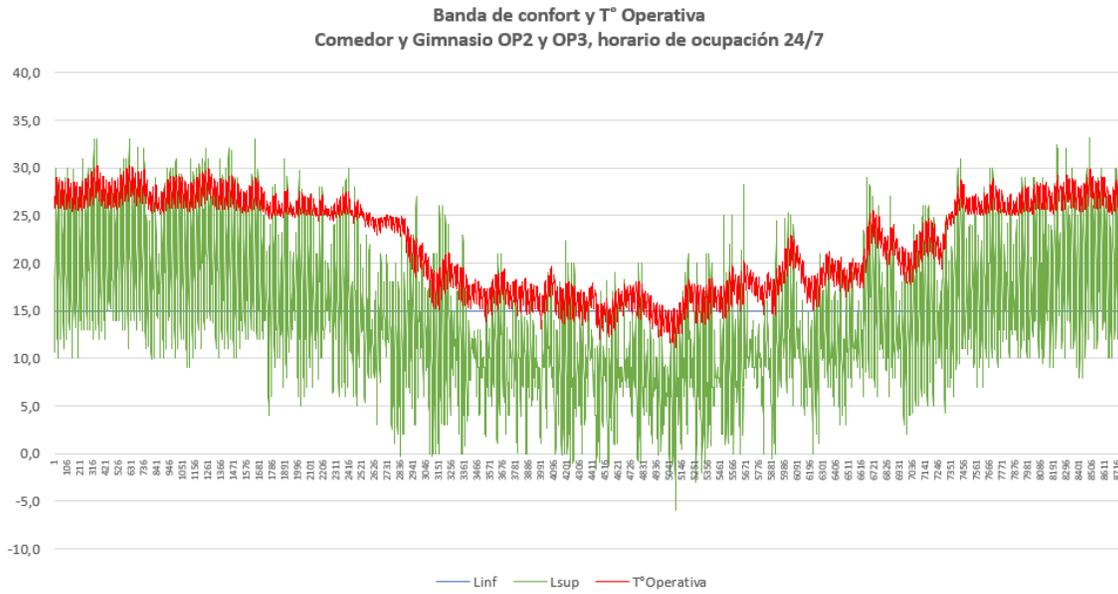
HORAS EN DISCONFORT			
Horas Totales (h)	Disconfort frío (h)	Disconfort calor (h)	% Horas disconfort
8760	29	8661	99,2

**Figura 8.43:: Resultados confort térmico biblioteca y auditorio en régimen de emergencia.**



HORAS EN DISCONFORT			
Horas Totales (h)	Disconfort frío (h)	Disconfort calor (h)	% Horas disconfort
3060	1	483	15,8

**Figura 8.44:: Resultados confort térmico Comedor y Gimnasio, Régimen de operación normal (OP1)**



HORAS EN DISCONFORT			
Horas Totales (h)	Disconfort frío (h)	Disconfort calor (h)	% Horas disconfort
3060	523	8154	99,1

**Figura 8.45:: Resultados confort térmico Comedor y Gimnasio, Régimen de emergencia (PO1 y PO2)**

- 8.6 ANEXO F- Artículo Conferencia Intersecciones 2018: “Integración de criterios de Resiliencia y Sustentabilidad para el diseño de edificios educacionales en Chile”.**  
(Intersecciones 2018 Proceedings, (PUC, 2019) ISBN ISBN: N° 978-956-9571-66-4)