

Esta guía se realizó en el marco del proyecto
**“Future Edu Space: Generación de Capacidades Tecnológicas
para la Construcción de Espacios Educativos Escolares
Vanguardista y Sustentables desde la Región del Biobío”**

Iniciativa financiada por el Fondo para la Innovación y
Competitividad Regional FIC-r del Gobierno Regional del Biobío.

AUTORAS

Dra. Maureen Trebilcock Kelly, Arquitecta
Dra. Beatriz Piderit Moreno, Arquitecta
Miriam Vidal Torres, Arquitecta

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Paula Lobiano Barría, Diseñadora

PROYECTO FUTURE EDU SPACE:

Generación de Capacidades Tecnológicas para la Construcción de Espacios Educativos Escolares Vanguardistas y Sustentables desde la Región del Biobío

Iniciativa financiada por el Fondo de Innovación para la Competitividad Regional FIC-r del Gobierno Regional del Biobío.

Contacto / eduspace@ubiobio.cl

ARQUITECTURA Y ESPECIALIDADES

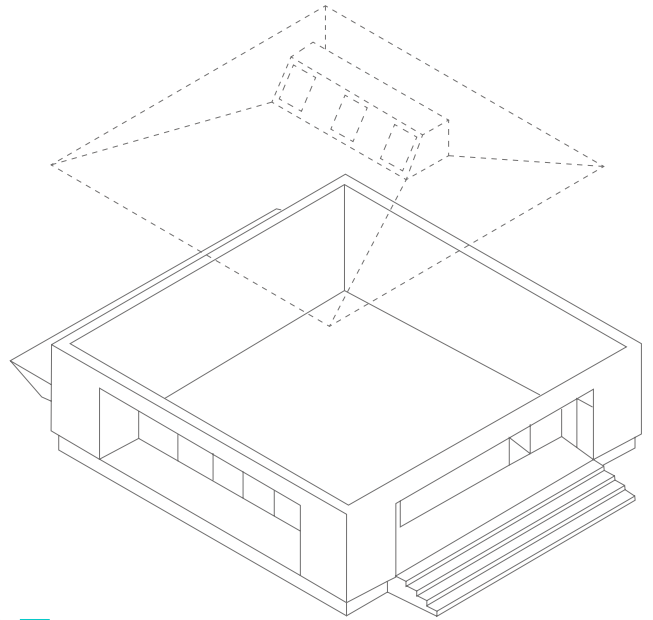
Alejandra Bancalari Cornejo, Arquitecta, Proyecto de arquitectura
Carlos Coronado Plasencio, Arquitecto, Proyecto de arquitectura
Valentina Chandía Arriagada, Arquitecta, Proyecto de arquitectura
Cecilia Palarino Vico, Arquitecta, Proyecto térmico y lumínico
Constanza Ipinza Olatte, Arquitecta, Proyecto acústico
Ariel Bobadilla Moreno, Proyecto climatización
Cristián Muñoz Viveros, Arquitecto, Proyecto climatización
Franco Benedetti Leonelli, Ingeniero Civil, Proyecto de estructuras
Alan Jara Cisterna, Ingeniero Civil, Proyecto de estructuras
Sebastián Giraldi Romero, Arquitecto, Proyecto BIM y realidad virtual
Evelyn Larraguibel Olgún, Diseñadora Industrial, Proyecto de mobiliario escolar

ISBN

978-956-6118-21-3

Concepción, 2022





GUÍA DE DISEÑO DE ESPACIOS EDUCATIVOS ESCOLARES INNOVADORES



Proyecto future edu space: espacios de aprendizaje confortables y sustentables que propicien la innovación pedagógica

índice

01. introducción	10
> Sobre esta guía	15
• ¿A quién va dirigida?	15
• ¿Por qué?	15
• ¿Qué contiene?	15
• ¿Cómo nace?	16
> El Proyecto “Future Edu Space”	16
• Equipo Proyecto Future Edu Space	20
02. criterios de diseño arquitectónico	22
> Proceso de diseño	26
> Flexibilidad para el aprendizaje	28
• Muros activos	40
• Extensión de actividades pedagógicas	42
• Mobiliario flexible	48
03. desde la fabricación al diseño	58
> Diseño en madera	61
> Modularización y agrupación	67
• Variante 1: Edu Space Front	68
• Variante 2: Edu Space Next	72
• Variante 3: Edu Space Up	76

04. confort ambiental	80
> Iluminación natural	84
> Envolvente térmica	96
> Acondicionamiento acústico	104
> Ventilación y climatización	114
palabras finales	120
referencias	124



01.



introducción

A pesar de los enormes esfuerzos desde el mundo público, privado y de la sociedad civil por desarrollar los aprendizajes que Chile ha comprometido en su Currículum Nacional de Educación Escolar, esto continúa siendo un desafío. Si bien Chile ha destacado a nivel latinoamericano por sus indicadores de educación, el país experimenta un estancamiento en los aprendizajes en todos los niveles. Considerando tanto las opiniones del estudiantado respecto a su capacidad de aprender, como los aprendizajes en las áreas de comprensión lectora y matemáticas, los resultados que se observan muestran una realidad preocupante. Un estudio realizado por la Agencia de Calidad de la Educación el año 2017 indicó que en 4° básico, el 49% de los niños cree que *“hay ciertas cosas que simplemente no soy capaz de aprender”*, porcentaje que alcanza el 59% en el grupo socioeconómico bajo. Por otro lado, al revisar los resultados en comprensión lectora y en matemáticas en este mismo curso, se puede observar un estancamiento en el promedio nacional entre el año 2010 y el 2017. El desafío está entonces en innovar en los métodos pedagógicos, mejorar los ambientes de aprendizaje y transformar la experiencia en el aula, donde los estudiantes de entre 4 y 17 años pasan al menos el 70% de su tiempo.

Los establecimientos educacionales como institución necesitan repensarse. El mundo ha cambiado; el acceso a la información, las formas de producción del conocimiento y las relaciones sociales ya no son las mismas de hace 20, 10 o inclusive 5 años atrás. Sin embargo, los espacios educativos permanecen inmutables. Se construyen nuevas escuelas, pero la sala de clases conserva características que promueven una educación frontal, impidiendo las dinámicas tendientes a un aprendizaje interactivo que busca desarrollar nuevas habilidades. Las opciones de aprendizaje se ven limitadas por la escasa innovación en el diseño del aula escolar.

Es así como desde los inicios del siglo XXI se ha promovido que la forma de enseñar y de concebir los espacios educativos mute desde desde una enseñanza centrada en el profesor, a través de la organización frontal del mobiliario

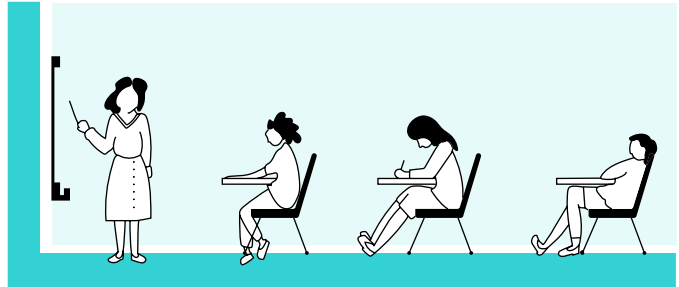
Las y los niños
pasan el

70%

de su **tiempo** en un
aula escolar

para la enseñanza instruccional organizada en filas, hacia un aprendizaje centrado en los estudiantes (Nair, 2014). Los espacios educativos deben ser repensados para promover distintas modalidades de aprendizaje, buscando personalizar las formas de aprender de niños y niñas en base a los planes educativos de cada comunidad escolar (Barrett et al., 2019).

APRENDIZAJE CENTRADO EN EL PROFESOR



APRENDIZAJE CENTRADO EN LOS / LAS ALUMNAS

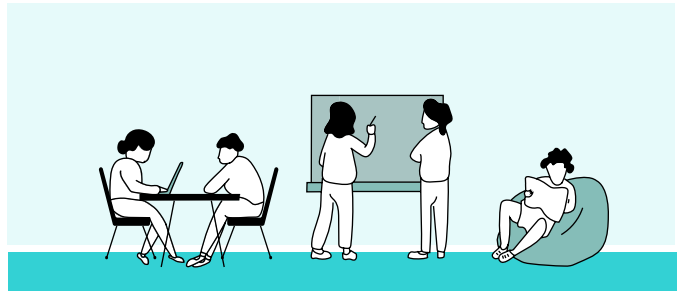


Figura 1: Cambios en la modalidad de aprendizaje

➤ SOBRE ESTA GUÍA

• ¿A quién va dirigida?

Esta guía está destinada a todos los actores involucrados en el diseño y construcción de la infraestructura escolar: arquitectos, diseñadores, constructores, empresas de manufactura en madera, entre otros. Está dirigida también a todas las personas interesadas en la infraestructura escolar en el ámbito de la gestión, investigación, desarrollo, innovación y formación.

• ¿Por qué?

El propósito de esta guía es orientar a los actores interesados en innovar en el diseño de espacios educativos, permitiendo reconocer los requerimientos funcionales y espaciales que demandan las nuevas modalidades de aprendizaje escolar, las estrategias de diseño para el confort ambiental, la prefabricación en madera y el diseño del mobiliario.

• ¿Qué contiene?

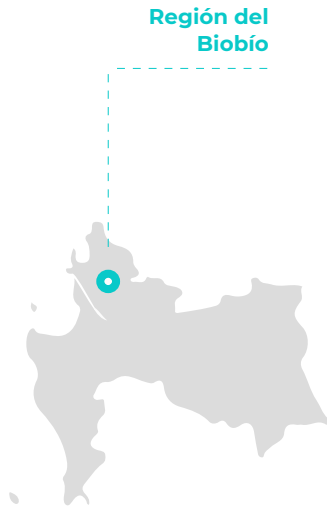
La guía contiene información teórica y práctica sobre el diseño de espacios educativos escolares para modalidades de aprendizaje flexibles, cubriendo aspectos de funcionalidad, confort y materialidad. Además, contiene información detallada sobre el prototipo demostrativo Future Edu Space que ha sido diseñado para la innovación pedagógica en establecimientos de educación escolar, con énfasis en los espacios educativos para niños entre 5° y 8° año de enseñanza básica.

- **¿Cómo nace?**

La guía es resultado del proyecto de innovación y transferencia *Future Edu Space: Capacidades Tecnológicas para la Construcción de Espacios Educativos Escolares Vanguardistas y Sustentables desde la Región del Biobío* que ha sido financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad Regional FIC-r del Gobierno Regional del Biobío.

➤ **EL PROYECTO “FUTURE EDU SPACE”**

El proyecto Future Edu Space se ha propuesto repensar los espacios educativos para acoger las modalidades de aprendizaje necesarias para desarrollar las habilidades del siglo XXI en niños y niñas. Esta nueva infraestructura escolar debiese promover la flexibilidad, adaptabilidad y variedad en el uso del espacio con el fin de desarrollar diversas metodologías o estrategias para generar nuevas habilidades de aprendizaje. Se desarrolló desde un enfoque interdisciplinario que vincula la arquitectura con el diseño, la educación y la ingeniería, y que vincula también a la academia con entidades públicas y privadas que desde sus saberes particulares contribuyen en la búsqueda de soluciones específicas.



El principal resultado de este proyecto de innovación ha sido el diseño de un **prototipo de espacio educativo escolar flexible** de adaptarse a distintas realidades de establecimientos educacionales. Se creó un espacio interior libre y amplio, que posibilita el desarrollo de diversas dinámicas educativas y escenarios pedagógicos. Además, este nuevo espacio educativo entrega las condiciones adecuadas tanto en estructura física como en aspectos

ambientales: temperatura, calidad del aire, acústica e iluminación, lo que significa un espacio no sólo flexible sino también cómodo y saludable. El prototipo demostrativo se construirá en el campus Concepción de la Universidad del Bío-Bío. Se trata de un espacio educativo de 70 m² libres que conforma una unidad que puede repetirse para conformar un edificio escolar.

Esta guía se vincula y complementa con la **Guía para la Innovación escolar: nuevas prácticas pedagógicas en espacios flexibles** desarrollada en el marco del mismo proyecto.



Figura 2: Proyecto de prototipo de espacio educativo escolar Future Edu Space





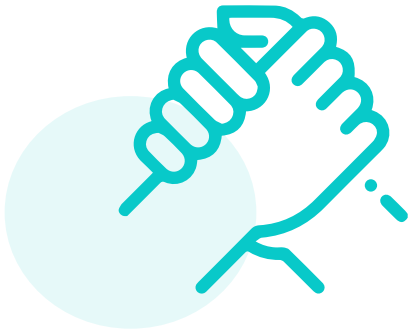
Figura 3: Proyecto de prototipo de espacio educativo escolar
Future Edu Space

• Equipo Proyecto Future Edu Space

En el proyecto “Future Edu Space” participa un amplio equipo interdisciplinario de investigadores/as y profesionales de la Universidad del Bío-Bío e instituciones asociadas.

Investigadores

- ♦ **Beatriz Piderit.** Arquitecta. Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura. UBB.
- ♦ **Maureen Trebilcock.** Arquitecta. Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura. UBB
- ♦ **Alejandra Bancalari.** Arquitecta. Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura. UBB
- ♦ **Pia Lindemann.** Diseñadora Industrial. Departamento Arte y Tecnología del Diseño. UBB
- ♦ **Ariel Bobadilla.** Ingeniero Civil Mecánico. Departamento Ciencias de la Construcción. UBB
- ♦ **Magaly Mella.** Antropóloga. Centro de Estudios Territoriales Interdisciplinarios,. UBB
- ♦ **Mario Ramos.** Ingeniero Civil Mecánico. Departamento de Ingeniería en Madera. UBB
- ♦ **Carolina Meyer.** Profesora. Asesora en Innovación Escolar.
- ♦ **Alejandra Arratia.** Psicóloga. Fundación Educación 2020.
- ♦ **Esteban Montenegro.** Arquitecto. Dirección de Educación Pública.



Equipo Apoyo Administrativo

- ♦ **Miriam Vidal Torres.** Arquitecta.
- ♦ **Laura Marín Restrepo.** Arquitecta.
- ♦ **Pedro Concha.** Contador.

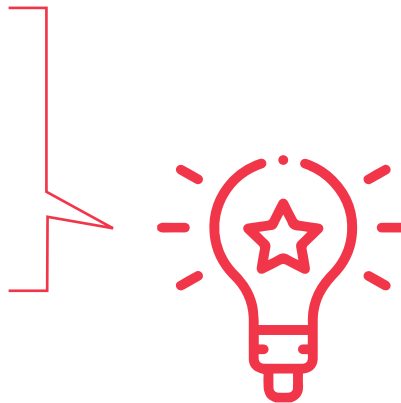


02.



**critérios de
diseño
arquitectónico**

La OCDE define los espacios educativos como *“aquellos espacios físicos que alojan diversas pedagogías y programas de enseñanza y aprendizaje, incluso tecnologías actuales; un espacio que demuestra rendimiento y funcionamiento óptimos y rentables a lo largo del tiempo; que respeta y está en armonía con el medio ambiente; y que anima a la participación social, proporcionando un entorno sano, cómodo, seguro, protegido y estimulante para sus usuarios”* (Kuuskorpi, K. y González, N. 2011). El estudio *Clever Classrooms* de Barret et al (2015) indica que los espacios educativos bien diseñados en términos de calidad del aire, colores y luz, entre otros, estimulan el rendimiento académico de los estudiantes. Otras instalaciones de las escuelas no son tan importantes en ese sentido como el espacio educativo.



Los expertos en el área reconocen que el aula tradicional con los estudiantes mirando en una sola dirección hacia los docentes durante toda la clase no fomenta la innovación pedagógica. Las metodologías activas de aprendizaje, tal como el aprendizaje basado en proyectos o la clase invertida, requieren cambios en el diseño del aula para permitir movimiento y flexibilidad (Bannister, 2017). Un diseño innovador del espacio educativo puede influir positivamente en el aprendizaje, pero no debería por sí mismo determinar los métodos de enseñanza, sino permitir que las ideas de la escuela sean puestas en práctica (MINEDUC, 2020).

Este capítulo presenta los criterios más relevantes para la concepción arquitectónica de espacios educativos escolares que propicien la innovación pedagógica, tal como la flexibilidad y la multifuncionalidad espacial. Se basa en criterios de diseño consensuados por expertos internacionales en la materia, aplicados al proyecto Future Edu Space como caso de estudio.

➤ PROCESO DE DISEÑO

El concepto de proceso de diseño integrado es esencial para articular una visión común entre los distintos profesionales que conforman el equipo de diseño, de manera de comenzar con un trabajo integrado interdisciplinariamente desde las primeras etapas del proyecto (*Trebilcock, 2009*). De esta forma, por ejemplo, los objetivos acústicos pueden abordarse a través del diseño arquitectónico y del diseño del mobiliario, articulando el trabajo de especialistas acústicos, arquitectos y diseñadores.

Además, la participación de actores relevantes del área de la educación escolar es esencial para la concepción de espacios educativos pertinentes y arraigados a la realidad local. El diálogo permanente con quienes tienen la experiencia en aula permite integrar al diseño aspectos estratégicos y prácticos. Se ha comprobado que el diseño de nuevas escuelas resulta mucho más exitoso cuando sus principios reflejan las prácticas de los futuros profesores, especialmente cuando han sido integrados en un proceso de consulta inclusivo (*Daniels et al, 2019*).

Por otro lado, en la actualidad es importante considerar el rol de las nuevas metodologías y tecnologías para el proceso de diseño integrado. La metodología Building Information Management (BIM) permite que los profesionales colaboren a través de un modelo digital de información, lo que facilita la planificación y la detección de interferencias entre las especialidades (*Forcael, Pacheco y Soto, 2021*). En Chile, la política pública ha incorporado esta metodología a través del Estándar BIM para Proyectos Públicos (*PlanBIM, 2019*).

El diseño del prototipo de espacio educativo escolar Future Edu Space se desarrolló en base a un trabajo interdisciplinario y colaborativo, a través de una serie de Talleres de Diseño Participativo e Integrado, donde participaron actores de las áreas de educación, diseño, arquitectura, construcción e industrialización en madera. A partir de estos talleres surgieron los principios del diseño del espacio educativo, tal como la modularidad, flexibilidad, conexión con el entorno e iluminación natural, esenciales para el bienestar de los estudiantes.

Además, el proyecto Future Edu Space utilizó la metodología BIM durante todo el proceso de diseño, articulada con herramientas de realidad virtual. La generación de ambientes inmersivos de realidad virtual permitió la visualización de los proyectos arquitectónicos y el abordaje eficiente de problemas, ya que el equipo interdisciplinario de diseño pudo generar reuniones virtuales inmersivas en tiempos de pandemia Covid 19, lo que permitió avanzar de forma efectiva en el proyecto.



Figura 4: Equipo de trabajo con cascos de realidad virtual. Proyecto Future Edu Space

*Plataforma de VR facilitada por Prospect de IrisVR



Figura 5: Reunión de trabajo mediante realidad virtual. Proyecto Future Edu Space

*Plataforma de VR facilitada por Prospect de IrisVR

➤ FLEXIBILIDAD PARA EL APRENDIZAJE

Un espacio educativo escolar debe permitir y motivar a docentes y estudiantes a crear, investigar, desarrollar, presentar, interactuar e intercambiar ideas, desarrollando habilidades y destrezas propias de las metodologías activas.

Los espacios educativos, por lo general, tienden a ser jerárquicos, unifocales, homogéneos e invariables; donde el alumno es un receptor pasivo de la actividad pedagógica. Rompiendo con los esquemas tradicionales de ordenamiento espacial, los nuevos espacios educativos deben ser amplios y flexibles, de manera de propiciar múltiples escenarios educativos en su interior, y de esta forma promover en los estudiantes un mayor compromiso y autonomía, aumentando los niveles de reflexión, colaboración y motivación (*Attai et al., 2020*).

Adicionalmente, el diseño de los espacios educativos debe ser suficientemente adaptable para responder a los cambios



Figura 6: Aula tradicional frontal



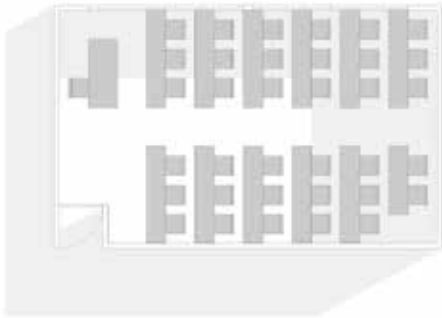
Figura 7: Aula flexible

de modelos educativos que pueda tener un establecimiento escolar a través del tiempo. Las escuelas deben ser más bien sitios para la práctica que determinantes de la práctica (Daniels et al, 2019). Un mismo diseño puede ser percibido y usado de muy diferentes maneras de acuerdo a las diferentes prácticas de los individuos o grupos escolares.

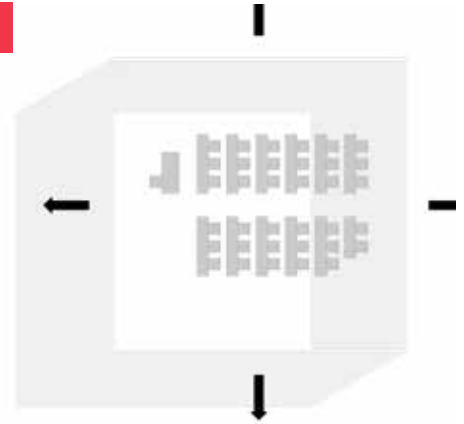
Una **planta cuadrada** se basa en una forma neutra, que rompe la jerarquía frontal de las tradicionales aulas escolares de planta rectangular. Esta forma neutra permite dar flexibilidad al espacio para utilizarlo de distintas formas, no solo en modalidad tradicional de presentación, sino también para investigar e interactuar, entre otras.

Otra característica importante de un espacio educativo flexible es el **tamaño**, ya que resulta muy difícil realizar

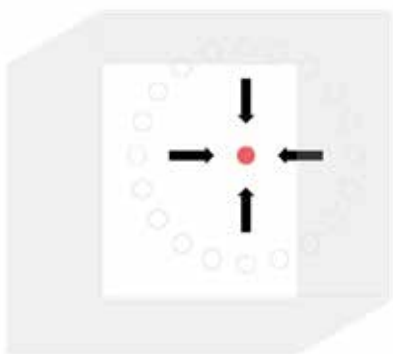
1



2



3



4

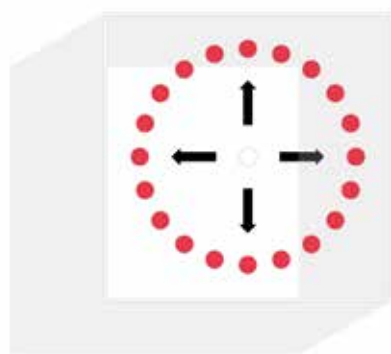
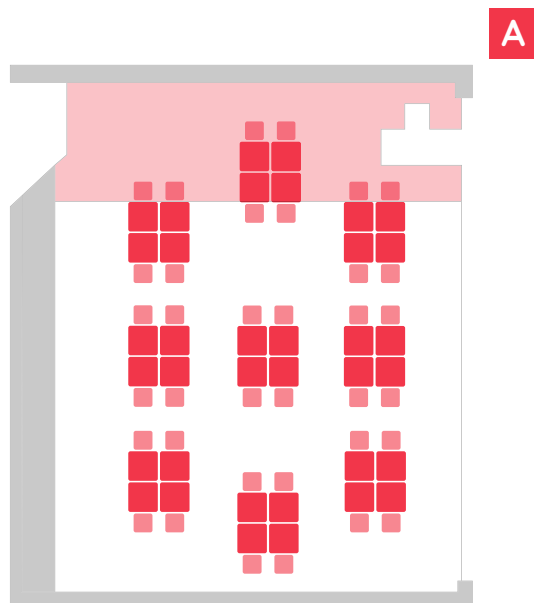


Figura 8: Evolución de la planta rectangular a la planta cuadrada

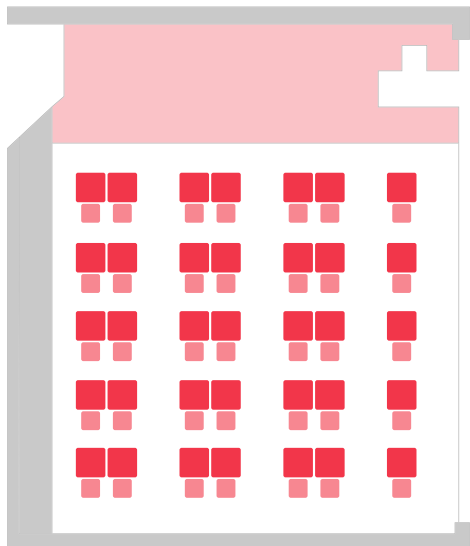
modalidades de aprendizaje activas cuando el espacio es muy pequeño en relación al número de estudiantes. El estándar mínimo normativo exigido en la actualidad es de 1,1 m² por estudiante (OGUC Artículo 4.5.6). Sin embargo, atendiendo a que este estándar no entrega el espacio necesario para el correcto desarrollo de la actividad pedagógica, el Ministerio de Educación en su guía “Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos”, propone mejorar el estándar según la capacidad de cada establecimiento. Se recomienda un estándar mínimo de 1,5m² por estudiante considerando 45 alumnos por aula, cifra máxima aún permitida por la Ley de Subvenciones. Idealmente se sugiere que para las aulas con capacidad menor a 36 alumnos se considere 2m² por alumno y para las aulas con capacidad mayor a 35 alumnos establecer superficie de 70m² (Ministerio de Educación de Chile, 2018).

La flexibilidad del espacio también depende de **elementos multifuncionales** que permitan desarrollar las metodologías

2m² / Al
Estándar: 2m² / Alumno
Capacidad: 35 alumnos
Superficie útil: 70m²



B



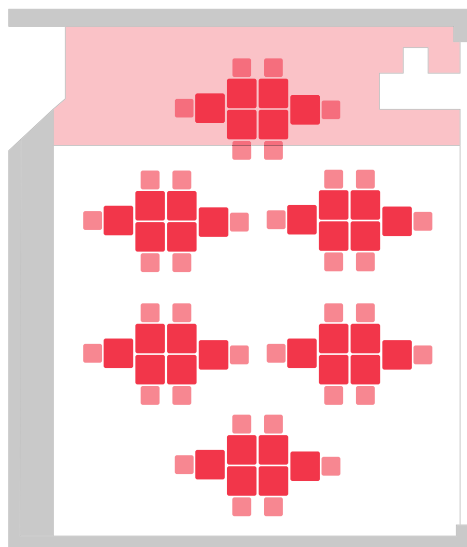
2m² / Al

Estándar: 2m² / Alumno

Capacidad: 35 alumnos

Superficie útil: 70m²

C



2m² / Al

Estándar: 2m² / Alumno

Capacidad: 35 alumnos

Superficie útil: 70m²

Figura 9: Distintas alternativas de ocupación del aula con un estándar de 2m² por alumno

activas; tal como tabiques móviles, mobiliario diverso, flexible y apilable, espacios de almacenaje, etc. De esta forma el espacio educativo se transforma en un espacio multifuncional que permite crear diferentes instancias de aprendizaje dentro del aula.

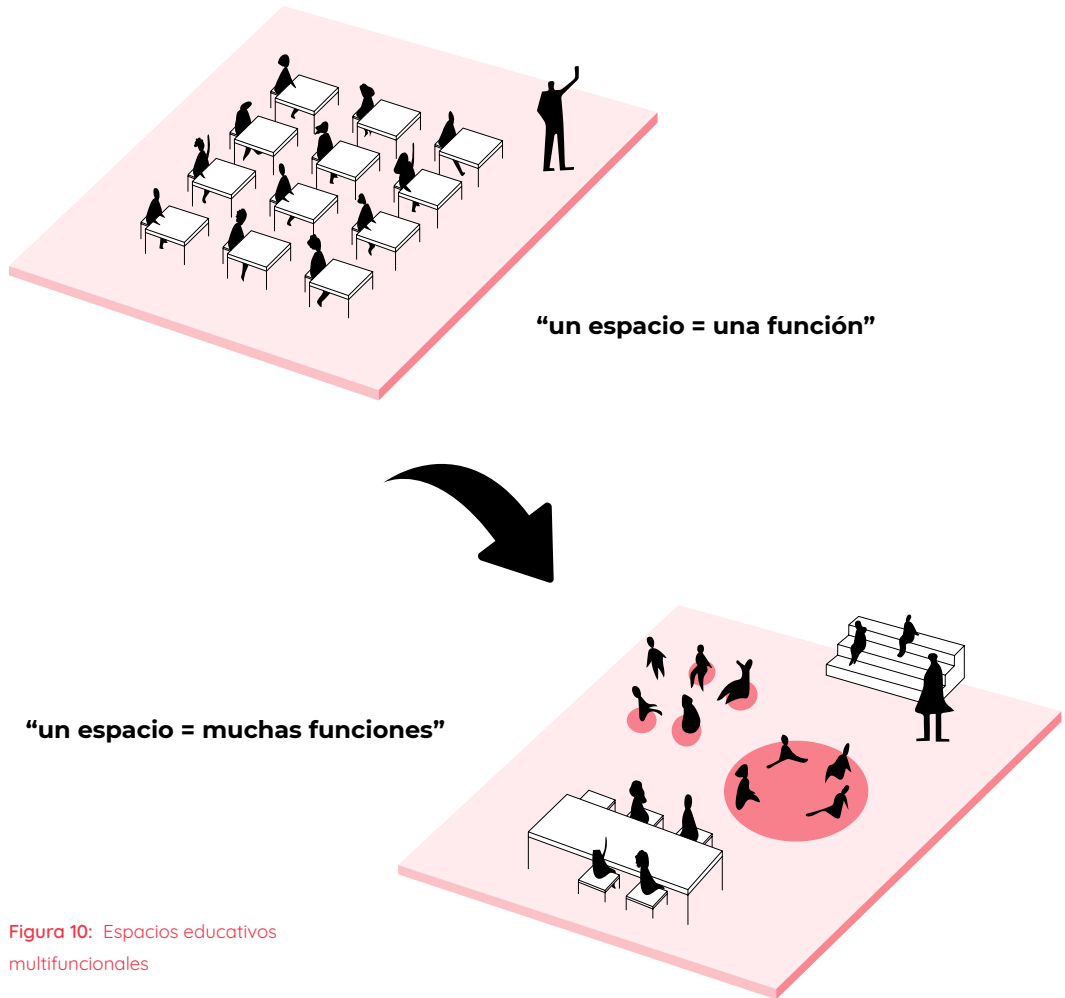
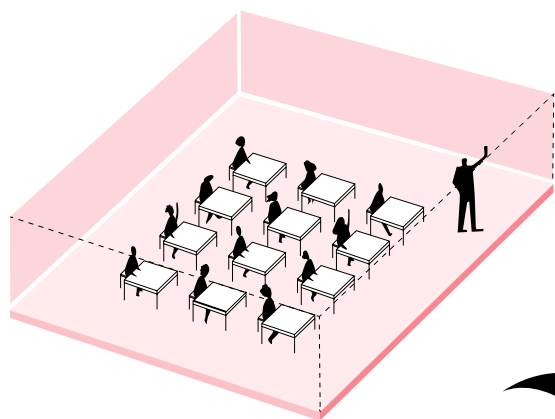


Figura 10: Espacios educativos multifuncionales



“aula”:
se aprende sólo en la clase,
espacio jerárquico,
homogéneo e
invariable



“paisaje de aprendizaje”:
se aprende en toda
la escuela, consiste
en un espacio
horizontal,
diverso y cambiante.

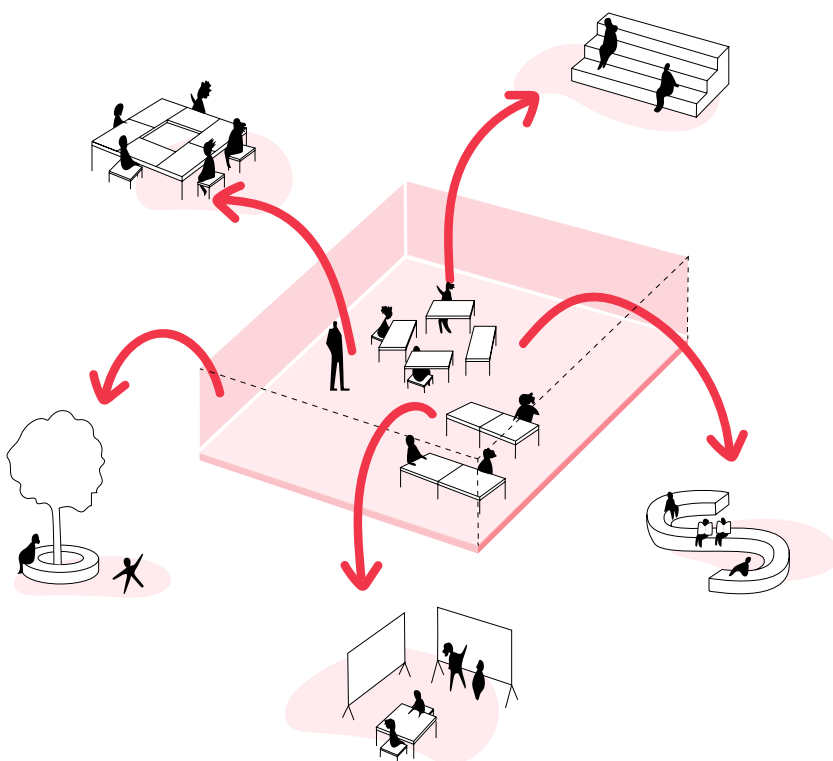
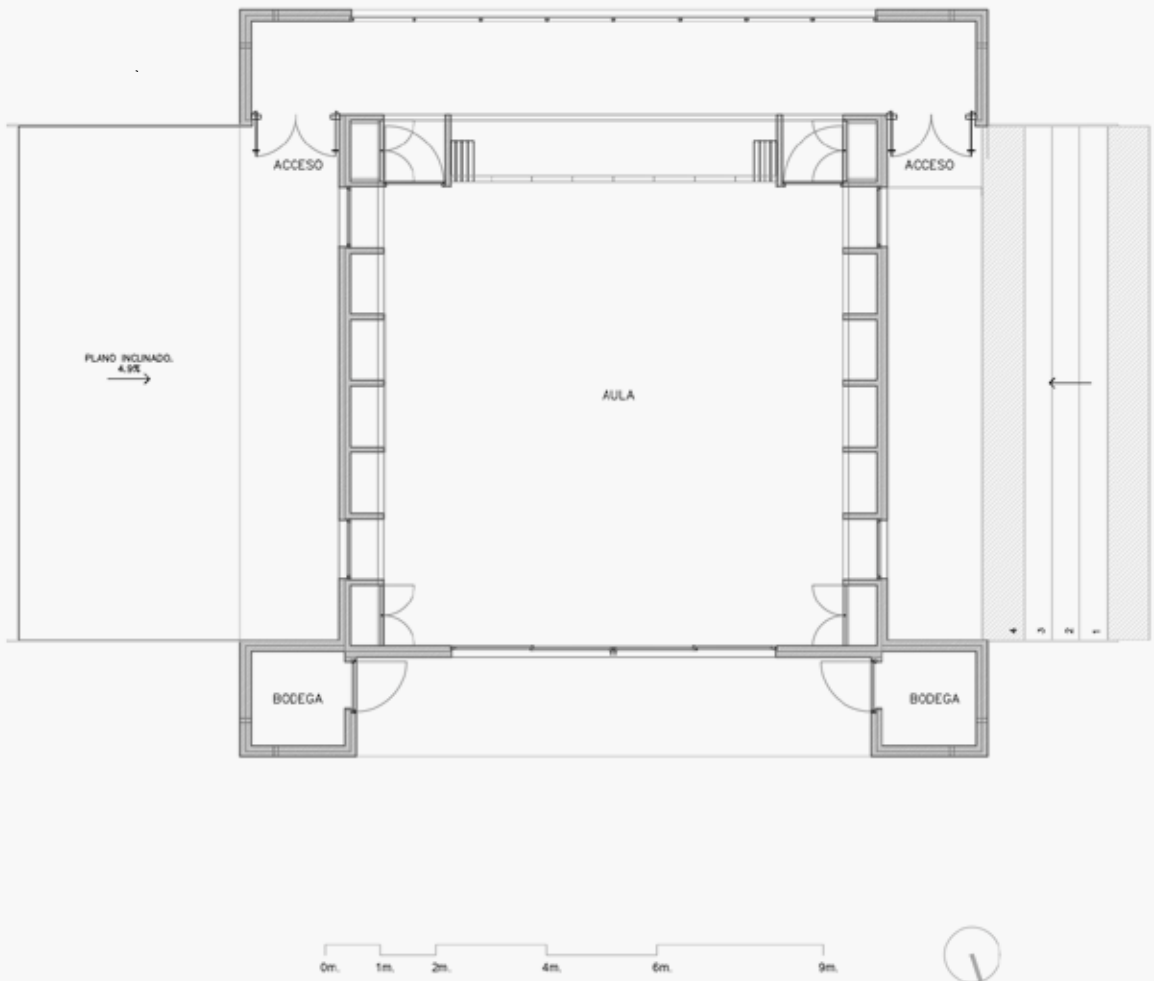


Figura 11 : Desde el aula al paisaje de aprendizaje

El espacio educativo Future Edu Space fue desarrollado para **promover las metodologías activas en un espacio flexible y multifuncional**. Por ello, las primeras decisiones de diseño apuntaron a una planta cuadrada que tiende a la neutralidad, permitiendo usar el aula en diferentes sentidos, apoyando la flexibilidad y la multifuncionalidad. Además, se propone una amplitud espacial dada por una capacidad máxima de 35 estudiantes en 70m², considerando el estándar de 2m² por estudiante.



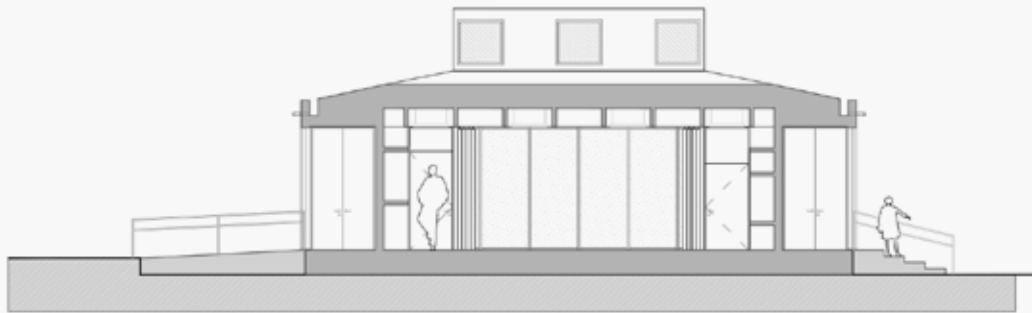
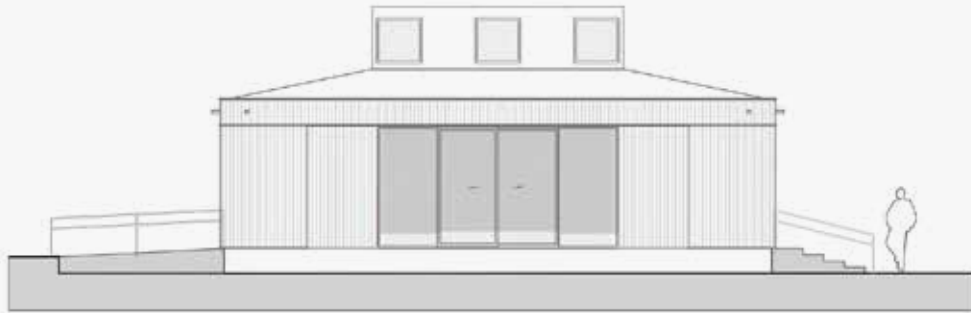


Figura 12: Planta, elevación y corte del prototipo espacio educativo Future Edu Space

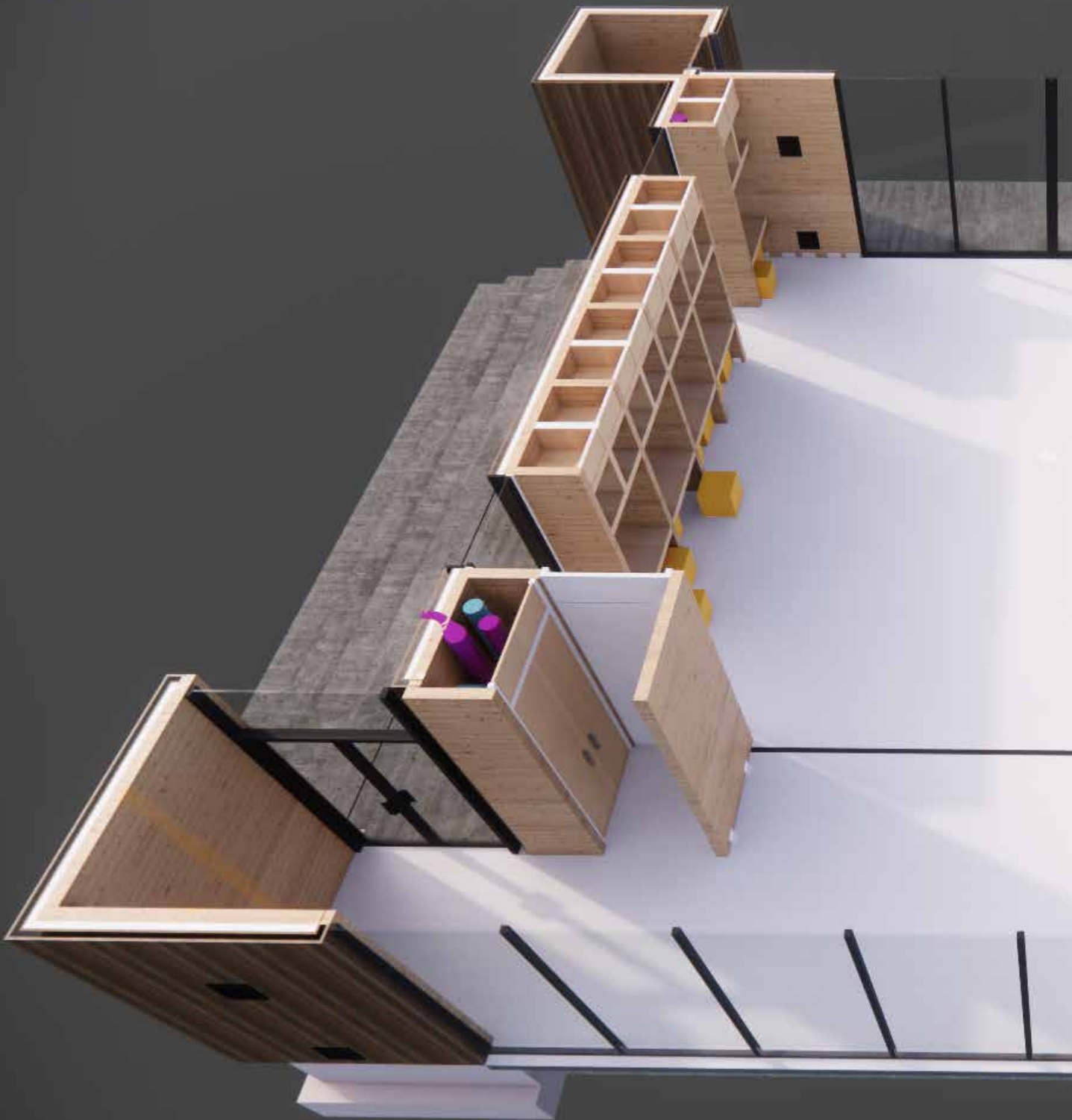
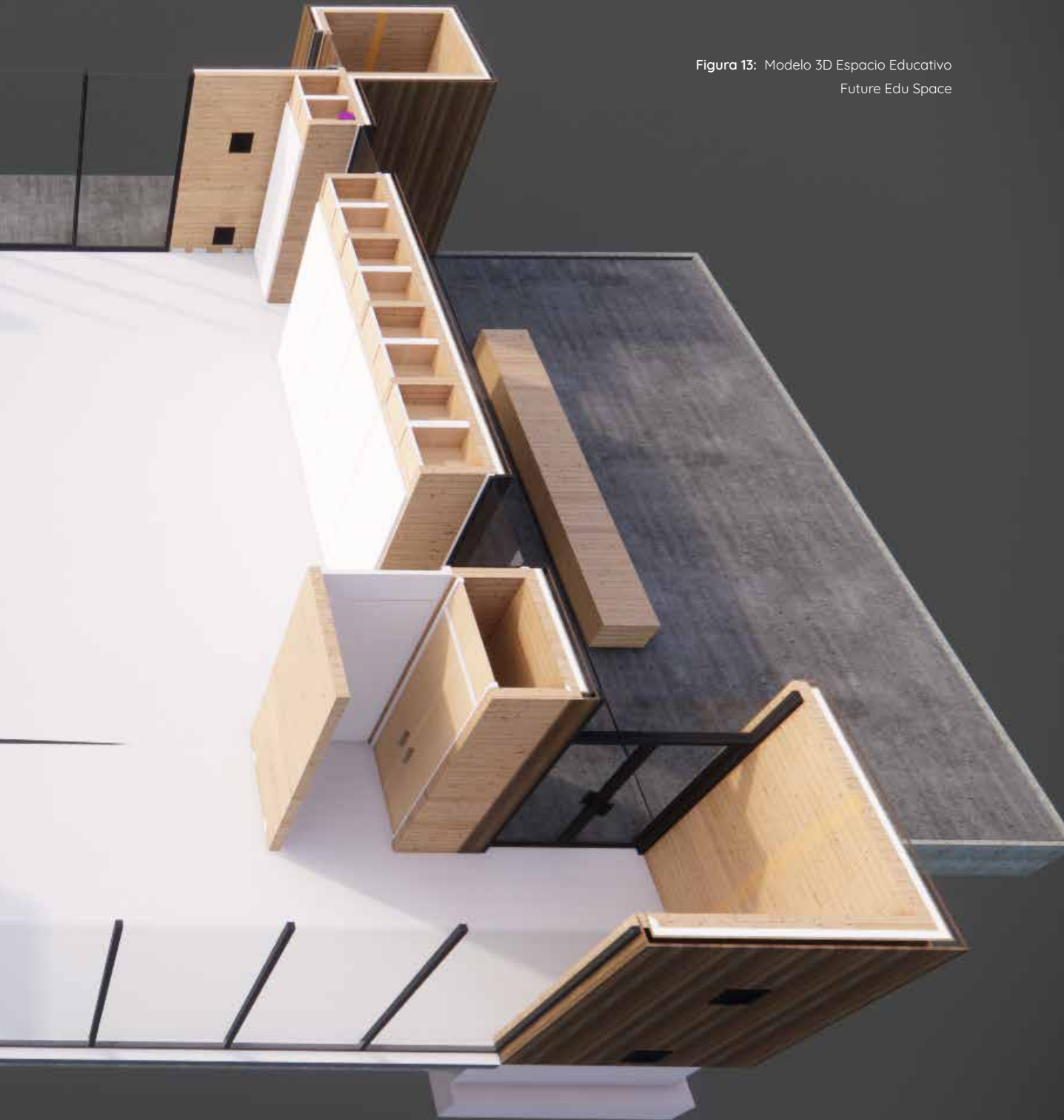


Figura 13: Modelo 3D Espacio Educativo
Future Edu Space



• Muros activos

Los configurantes son elementos claves para apoyar las actividades pedagógicas. El concepto de “muro activo” surge en el proyecto Future Edu Space con el fin de integrar el mobiliario a la arquitectura. El prototipo contiene dos muros laterales que no solo configuran el espacio sino que propician las distintas modalidades de aprendizaje: pueden contener mobiliario para el desarrollo de actividades de aprendizaje individual, pizarras interactivas para la presentación, espacio de almacenaje para liberar el espacio y crear instancias de escenario pedagógico, etc.

Uno de los muros activos contiene 5 escritorios integrados con asientos de poufs que permiten que estudiantes puedan realizar trabajo individual en su propio “rincón” del aula. Los poufs se pueden guardar bajo los mismos escritorios. Posee además una serie de repisas en madera para guardar material didáctico u otros, con una fila superior cerrada por puertas de madera con absorción acústica.

El otro muro activo contiene espacios de guardado cuyas puertas poseen revestimiento de pizarra blanca. El espacio de guardado es muy importante ya que permite que el material pedagógico esté disponible en las salas para una clase más dinámica, donde no sea necesario que cada profesor/a cargue con material por el establecimiento.

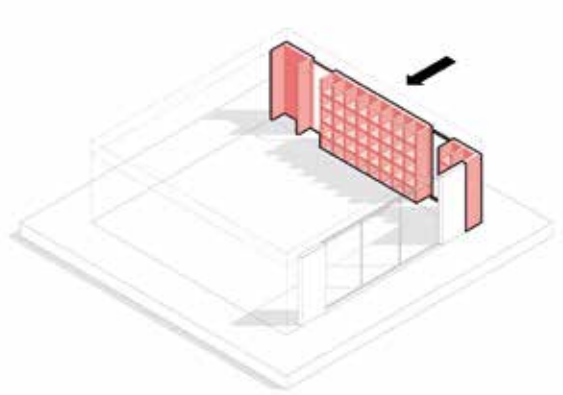
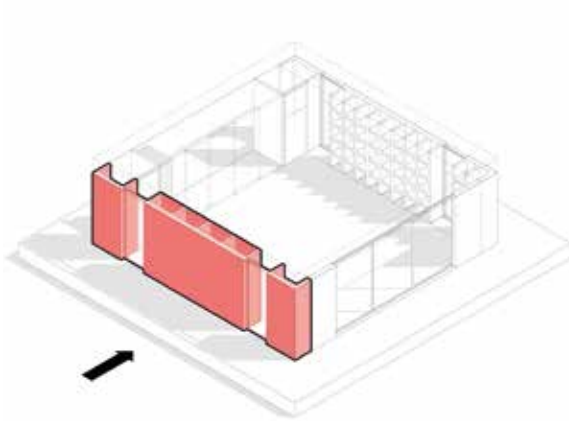


Figura 14: Muros activos permiten flexibilizar y dinamizar el espacio educativo. Proyecto Future Edu Space

• **Extensión de actividades pedagógicas**

Los espacios educativos por lo general confinan las actividades pedagógicas al interior del aula. En la actualidad se recomienda extender las actividades pedagógicas a espacios contiguos o espacios exteriores. Se busca abrir el aula y generar límites cada vez más difusos y flexibles.

El espacio educativo Future Edu Space, siguiendo este principio, propone crear límites dinámicos y flexibles a través de un muro plegable que permite extender las actividades hacia el espacio contiguo que podría ser un corredor o un patio techado interior, dependiendo del proyecto de edificio escolar. En estos casos, se genera un espacio de extensión de la clase.

Los espacios intermedios entre interior y exterior son también relevantes al momento de organizar una clase. Permiten la conexión con la naturaleza, entendida no solo como vegetación sino también como el cielo, sol, brisa, etc. En general todos los espacios educativos contienen al menos un muro configurante exterior, que en el caso del proyecto Future Edu Space es vidriado de piso a cielo, propiciando la iluminación natural y las vistas. La estructura de techumbre genera un gran alero que configura este espacio intermedio entre interior y exterior que permite extender las actividades educativas en conexión con los elementos de la naturaleza.

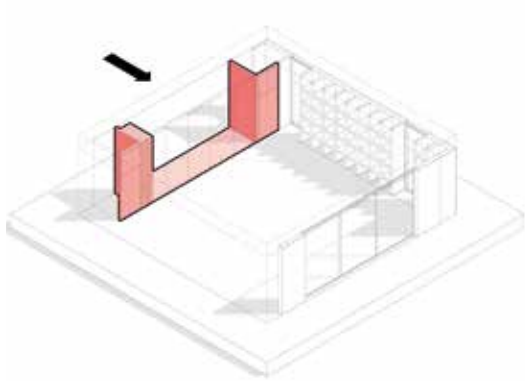


Figura 15: Tabique plegable hacia corredor o patio techado interior. Proyecto Future Edu Space

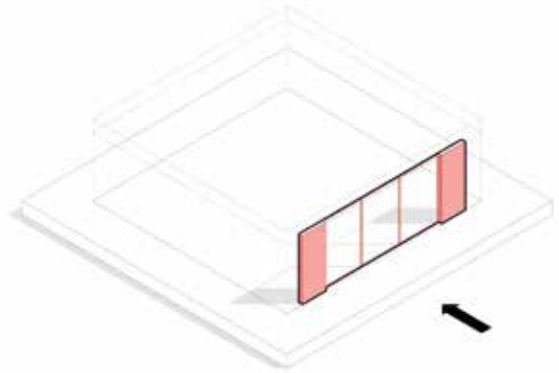


Figura 16: Muro vidriado conecta visual y físicamente el interior con el exterior. Proyecto Future Edu Space

1er y 2do Taller de Diseño Participativo e Integrado

MODULACIÓN

El principio de modularidad se basa en la necesidad de diseñar un espacio flexible que se adapte a las distintas realidades de los establecimientos educacionales.

3er Taller de Diseño Participativo e Integrado

GEOMETRÍA

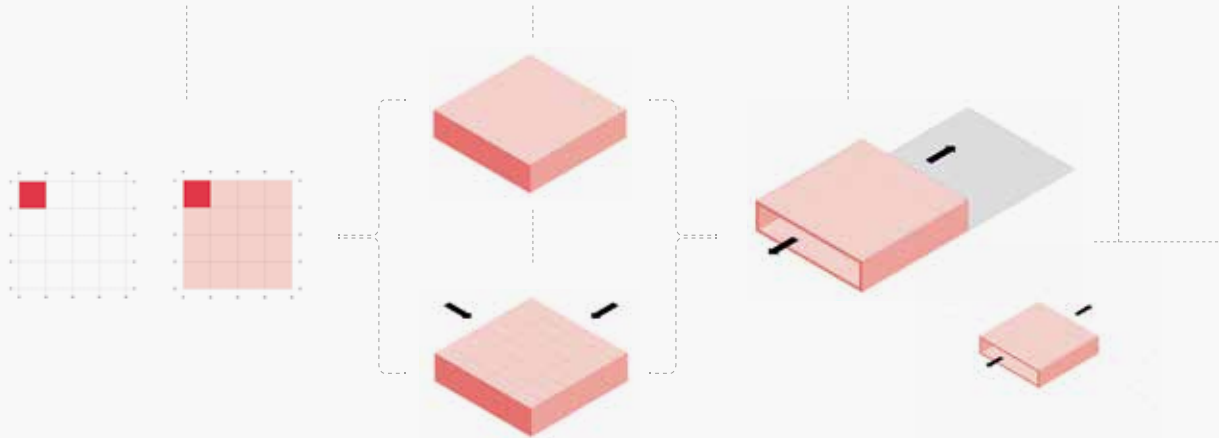
La geometría se obtiene, a partir de proceso de modulación y a la capacidad tecnológica constructiva que se utilizará, permitiendo una ocupación consciente, eficiente y sustentable de la madera.

Taller de Diseño Participativo e Integrado / Presentación de Avances Área Técnica

CERRAMIENTOS

El diseño de muros laterales permite que sean ocupados como lugar de almacenamiento para el mobiliario. Vinculan espacios de transición entre el exterior y el interior y favorecen la iluminación y ventilación natural.

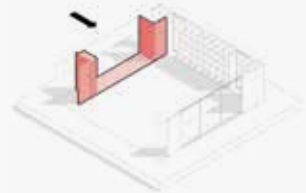
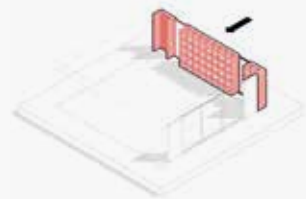
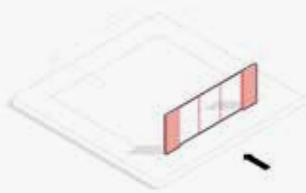
4to Taller de Diseño Participativo e Integrado / Muestra de Avances



➤ ¿CÓMO SE DISEÑÓ EL PROTOTIPO DEMOSTRATIVO?

El diseño del Prototipo de Espacio Educativo se desarrolló en base a un trabajo interdisciplinario y colaborativo entre actores del área de la educación, del diseño y la construcción. Un espacio flexible, adaptable y que reúne las mejores condiciones de confort ambiental interior. El prototipo demostrativo cuenta con 100 m² aprox. en total y estará ubicado en la Universidad del Bio-Bío.

El prototipo demostrativo se habilitará con mobiliario y elementos de diseño interior diseñado en base a las necesidades expresadas en Talleres y Encuestas por los profesores y profesoras participantes de las 3 provincias de la región del Biobío. El prototipo se utilizará para capacitación de profesores en estrategias didácticas con el apoyo de la Red Regional de Innovación en Espacios Educativos.



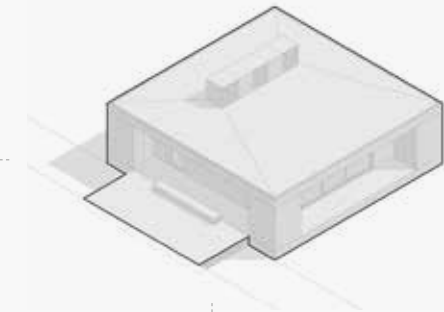
INTERIORES

Se diseña un espacio interior libre y amplio, capaz de acoger diversas actividades y escenarios pedagógicos, que se desprenden de las modalidades del aprendizaje (Habilidades del S.XXI) detectadas en encuesta y Talleres realizados



▶ ESPACIO FLEXIBLE

Luego de un levantamiento de información de los distintos actores educativos y una reflexión técnico pedagógica, se crea un espacio educativo para brindar a alumnos y profesores un lugar para desplegar experiencias de enseñanza y aprendizaje acordes con las Habilidades del S XXI. Permite, fomenta y motiva a docentes y alumnos a crear, investigar, desarrollar, presentar, interactuar e intercambiar ideas y contenidos, desarrollando habilidades propias de metodologías activas concordantes con las necesidades de los y las niñas.



CUBIERTA

La cubierta responde a la construcción de estrategias de diseño bioclimático que favorecen la iluminación y ventilación natural del aula, lo que significa un espacio no solo flexible, sino también cómodo y saludable.

PROTOTIPO FINAL

El Espacio diseñado entrega las condiciones ideales tanto en estructura física como en la acústica, iluminación, temperatura, etc. El mobiliario y la cantidad de espacio adecuado por alumno.

Reunión Mobiliario
y Educación

5to Taller de Diseño
Participativo e Integrado
/ Presentación Virtual
Prototipo Demostrativo



Figura 17: Espacio educativo Future Edu Space

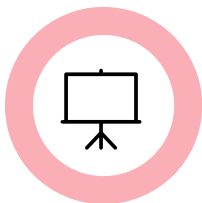


• **Mobiliario flexible**

El mobiliario escolar cumple un rol esencial para promover la coexistencia de distintas modalidades de aprendizaje en el aula. La iniciativa European Schoolnet propone diferentes zonas de aprendizaje en el espacio educativo: investigar, crear, presentar, interactuar/intercambiar y desarrollar (*Bannister, 2017*).

Cada una de ellas requiere de distintas formas de organización del mobiliario para permitir actividades grupales o individuales, expositivas e interactivas, por lo que el mobiliario debe ser flexible y dinámico para permitir esta amplia diversidad de usos.

Si queremos trabajar lo multifuncional, debemos tener un espacio educativo que permita múltiples formatos: para presentaciones individuales, en grupo, para trabajo en equipos o trabajo individual, con combinación simultánea de formatos. Por ejemplo, cuando el profesor es protagonista, el espacio y el mobiliario se usan de una manera, mientras que cuando los estudiantes son protagonistas las mesas se agrupan para dar paso al trabajo grupal. Además, el espacio educativo debe considerar opciones de apilamiento y/o almacenamiento del mobiliario para liberar el espacio interior cuando se requiera generar una actividad dinámica.



PRESENTAR

Hacer puesta en común o dar cuenta de su trabajo potenciando la escucha activa y la valoración de los compañeros de sala.



INVESTIGAR

Descubrir a través de la participación activa en forma autónoma o grupal.



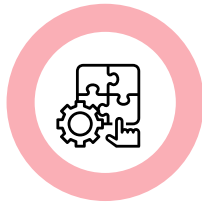
CREAR

Usar la imaginación para planificar, diseñar y producir su propio trabajo más allá de la asimilación de contenido.



INTERCAMBIAR / INTERACTUAR

Potenciar el trabajo colaborativa con la participación activa en un aprendizaje de los alumnos fomentando la comunicación, el desarrollar ideas y la toma de decisiones.

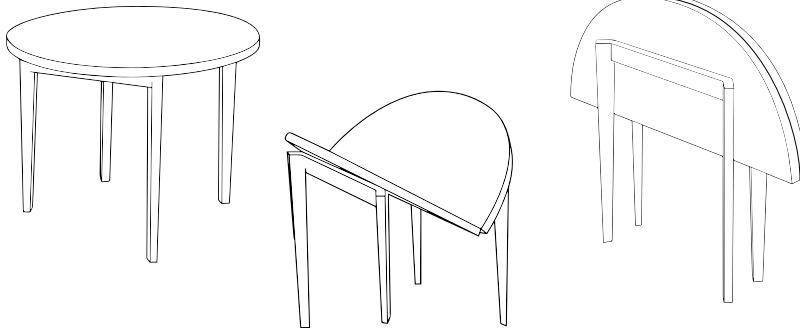
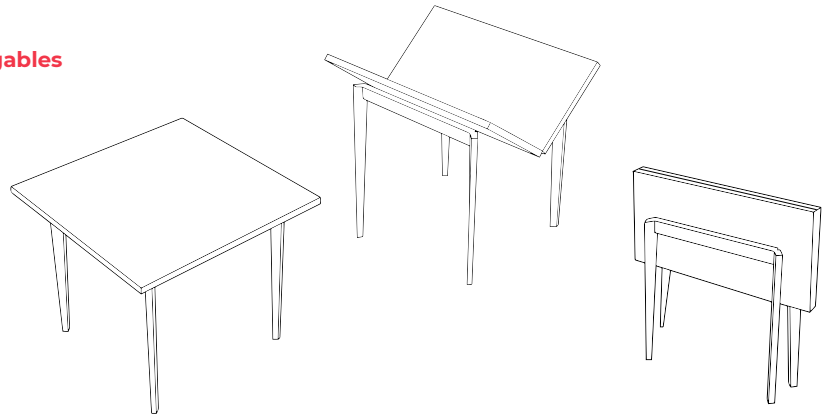


DESARROLLAR

Reflexión en contexto de informalidad con un ritmo propio de manera independiente o grupal centrado en un producto.

El proyecto Future Edu Space considera mobiliario especialmente diseñado para propiciar las distintas modalidades de aprendizaje, que consiste en mesas plegables (o apilables), sillas, poufs y paneles configurantes móviles. La flexibilidad del mobiliario permitirá hacer cambios de manera fácil y rápida para realizar actividades participativas, pasar de un espacio expositivo a uno participativo, crear distintas áreas de aprendizaje, etc.

1. mesas plegables cuadradas



2. mesas plegables redondas

Figura 18: Mesas plegables o apilables permiten almacenarse para liberar el espacio

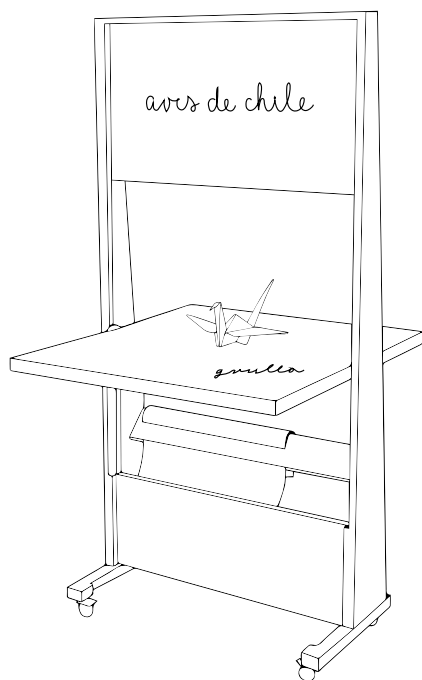
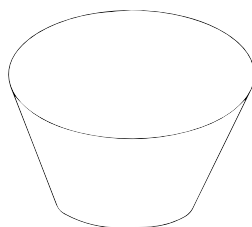


Figura 19: Tabiques plegables móviles.
Proyecto Future Edu Space

3. paneles configurantes móviles

Los paneles configurantes móviles son los elementos más novedosos, por cuanto permiten dividir el espacio general en subespacios de trabajo, funcionando además como pizarras o mesas. Además, cumplen un rol de atenuador acústico entre los grupos de estudiantes.



4. pouf modulares

La combinación entre sillas y poufs resulta interesante, ya que estos últimos permiten actividades más relajadas e informales, complementando el trabajo estructurado que realizan los estudiantes en las mesas. En el proyecto Future Edu Space los poufs se integran perfectamente a los espacios inferiores del muro interactivo, lo que genera rincones de trabajo individual.

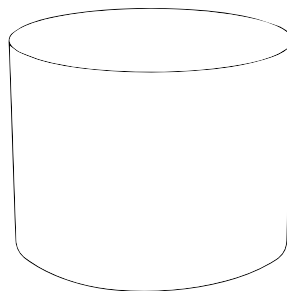




Figura 20: Propuesta de mobiliario diverso.
Proyecto Future Edu Space

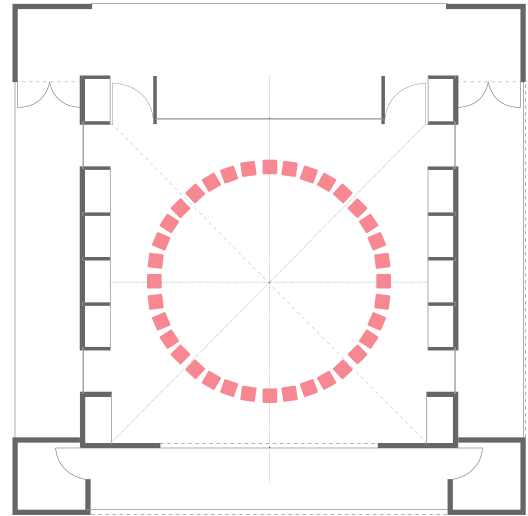




Figura 21: Propuesta de mobiliario diverso.
Proyecto Future Edu Space

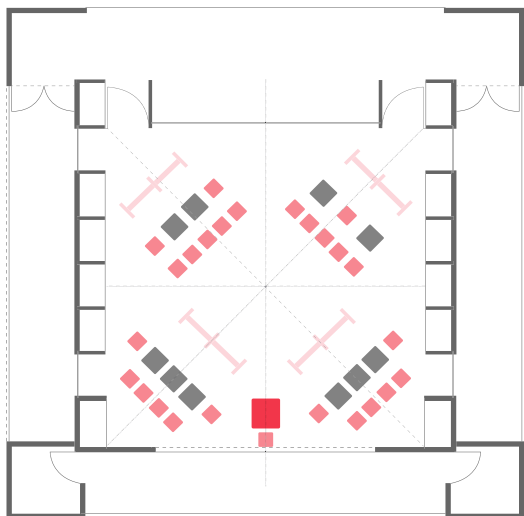


En la figura se muestran 3 alternativas de uso del espacio a través de diferentes disposiciones del mobiliario. Cada una de ellas permite realizar una o más modalidades de aprendizaje. La Guía para la Innovación escolar: nuevas prácticas pedagógicas en espacios flexibles (Meyer, Arratia y Piderit, 2022) presenta un número mayor de opciones de uso del espacio Future Edu Space.



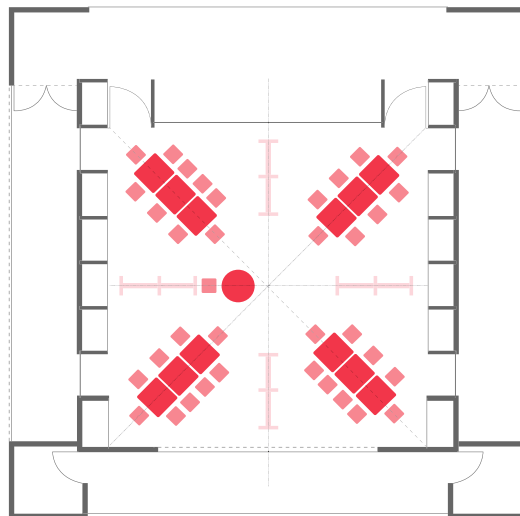
INTERACTUAR / PRESENTAR

Salas dispuestas en círculo, sólo sillas y pufs, para generar actividades de interacción entre los alumnos ya que no se consideran mesas, lo que permite generar espacios más cercanos entre los alumnos.



**CREAR / DESARROLLAR / INVESTIGAR /
INTERACTUAR / PRESENTAR**

La sala se dispone dividida en 4 grupos los cuales apoyan su trabajo con paneles individuales para cada uno de ellos, puede ser mirando hacia los vértices de la sala generando espacios de reflexión individuales para cada grupo, con los paneles en el centro o una mezcla entre ambas disposiciones.



**CREAR / DESARROLLAR / INVESTIGAR /
INTERACTUAR**

La sala se divide en 4 grandes grupos, situándose el profesor en la mitad de la sala con su escritorio, con el fin de monitorear el trabajo de ellos. Los grupos se separan a través de paneles que pueden ser usados como elemento de aprendizaje.



03.



**desde la
fabricación al di-
seño**

Los espacios educativos innovadores, además de amplios y flexibles para permitir el desarrollo de múltiples actividades pedagógicas, deben poseer cualidades tectónicas y materiales que otorgan significado y vida al espacio en vinculación con sus ocupantes. Esto permite, por un lado, estimular a los niños en su proceso de enseñanza-aprendizaje, y por otro lado, asegurar su bienestar emocional y su seguridad.

El proyecto Future Edu Space se propuso el desafío de la prefabricación en madera con el fin de promover la arquitectura en madera en el área educación e impulsar la innovación en las empresas madereras de la región del Biobío. Este capítulo se centra principalmente en el diseño modular en madera del prototipo Future Edu Space.

➤ DISEÑO EN MADERA

La madera es considerada uno de los mejores materiales de construcción debido a su carácter ecológico, su aspecto cálido, su capacidad aislante y su textura. La madera se asocia al concepto de diseño biofílico (amor a la naturaleza) que enfatiza la necesidad de restaurar la experiencia positiva de la naturaleza en los espacios construidos (*Kellert, Heerwagen y Mador, 2008*), para alcanzar mayor bienestar físico, psicológico y social. Estudios recientes han enfatizado la importancia de incorporar principios de diseño biofílico en espacios educativos, especialmente después de la pandemia Covid 19, con el fin de promover el bienestar de los niños (*Ghaziani, Lemon y Atmodiwirjo, 2021*). Evidentemente, el diseño biofílico va más allá que el solo uso de la madera como material natural, incorporando aspectos como la conexión visual con la naturaleza, estímulos sensoriales, dinámicas lumínicas, entre otros.

El proceso de diseño del espacio educativo Future Edu Space contó con la participación de profesores y directivos de la educación escolar, quienes a través de varios talleres retroalimentaron el trabajo del equipo de diseño. En los primeros talleres surgió la idea de que los espacios educativos debieran tener “aroma a hogar”, lo que llevó a priorizar el uso de la madera por sus cualidades sensoriales. En estos talleres también surgió el principio de promover la conexión de los estudiantes con la naturaleza, mencionado anteriormente.

Por otro lado, la región del Biobío es una zona forestal, con numerosas empresas dedicadas a generar productos para la construcción en madera. De esta forma, la propuesta promueve la innovación en las PYMES madereras de la zona para fabricar los elementos constitutivos del prototipo.

La prefabricación en madera implica una concepción arquitectónica reversa: desde la fabricación al diseño. El módulo se determina a partir de las capacidades manufactureras de las empresas madereras locales, de la facilidad de transporte, y de los requerimientos del espacio arquitectónico. La geometría se obtiene a partir del proceso de modulación y la capacidad tecnológica constructiva que se utilizará permitiendo una ocupación consciente, eficiente y sustentable de la madera. Es así como el módulo de Future Edu Space es un panel de madera maciza CLT (Cross Laminated Timber) de 1,2m x 3m que configura los muros laterales. La estructura de techo también se genera a partir de un módulo de vigas laminadas en madera que forma casetones de 1,2m x 1,2m.

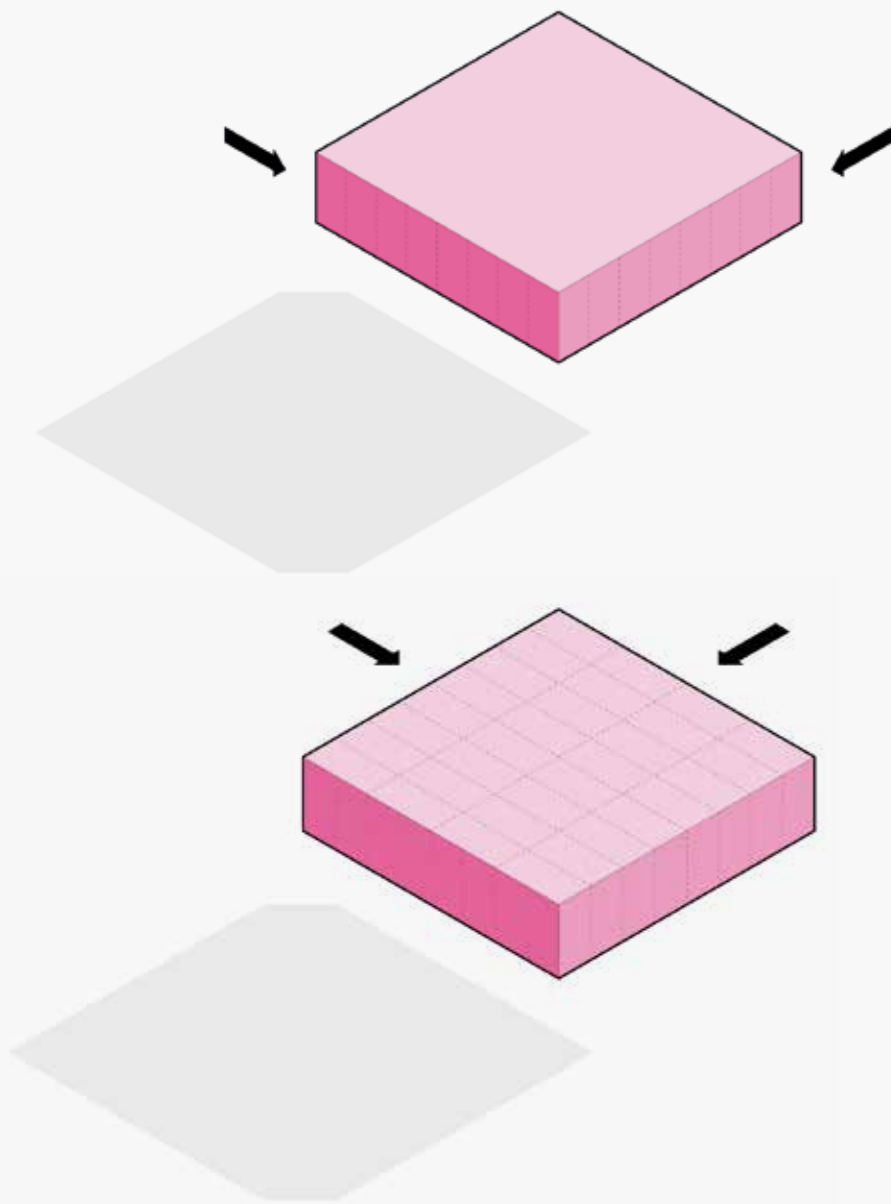


Figura 22: Modulación en base a la dimensión de paneles de CLT (Cross Laminated Timber) de 1,2m x 3m. Proyecto Future Edu Space



Figura 23: Imagen de la estructura en CLT y vigas laminadas. Proyecto Future Edu Space



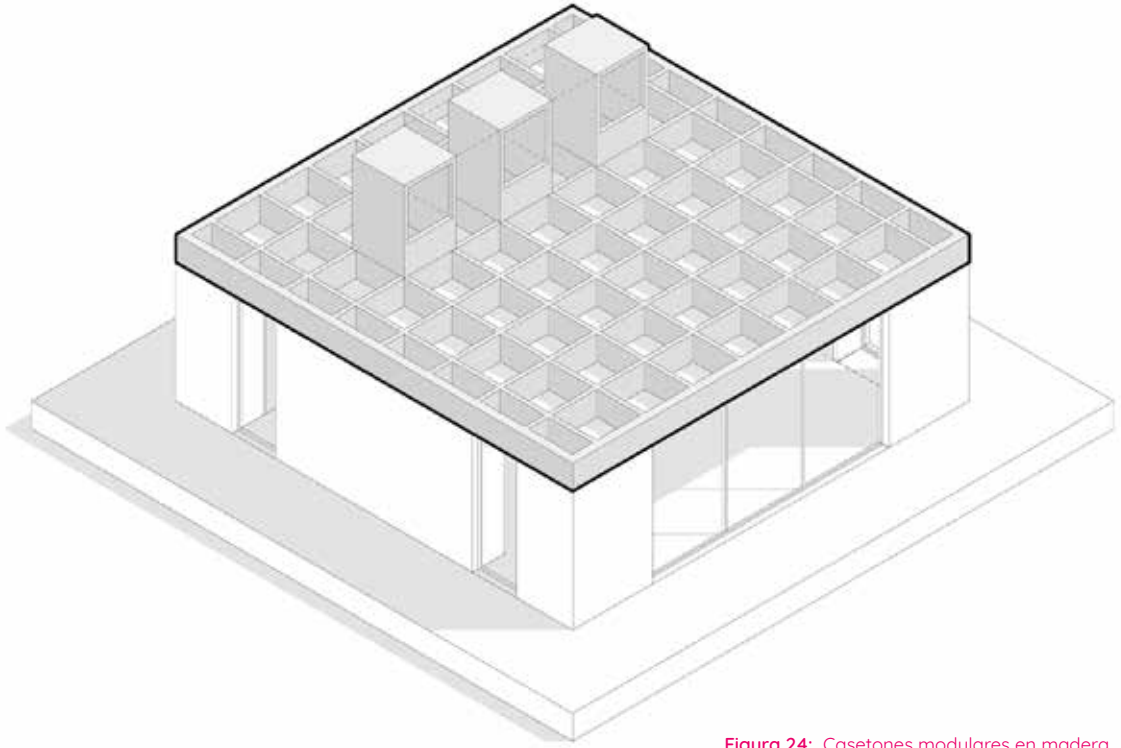


Figura 24: Casetones modulares en madera laminada configuran el techo. Proyecto Future Edu Space

La estructura del espacio educativo se compone de 9 marcos de CLT de 100 mm de espesor con vigas laminadas de 600mm de alto, dispuestos cada 1,2m. Los machones de los marcos forman parte de los muros activos laterales, mientras que las vigas forman parte de la estructura de casetones del cielo. Entre los marcos se disponen muros arriostrantes de CLT. Los muros no poseen revestimiento interior, por lo que la terminación es el mismo muro de CLT de pino. El revestimiento exterior es de madera machihembrada modificada térmicamente de 1x4”.

➤ MODULARIZACIÓN Y AGRUPACIÓN

La arquitectura modular y prefabricada ha ido evolucionando debido a su eficiencia y sustentabilidad, ya que permite un proceso constructivo rápido, adaptable, liviano y de calidad. El cambio climático ha impulsado el desarrollo de edificaciones modulares y prefabricadas que minimizan el impacto ambiental debido a la naturaleza de la modularidad, donde las edificaciones se basan en una grilla estructural que logra su resistencia gracias a la inteligente disposición de sus elementos livianos, en vez de fuerzas intensivas en energía (*Smith y Quale, 2017*). Los sistemas constructivos de madera sólida (CLT) permiten la prefabricación de edificaciones de varios pisos a través de módulos estructurales horizontales y verticales. El módulo se piensa como una unidad que al repetirse o combinarse se transforma en el principio fundamental de la prefabricación.

El espacio educativo escolar es por definición un espacio modular, ya que normalmente un aula se repite numerosas veces dentro de un edificio escolar. El módulo del prototipo Future Edu Space concibe el espacio del aula como un sistema unitario que puede ser repetido y combinado para generar nuevas opciones y combinaciones arquitectónicas.

El prototipo tiene dos elementos principales: el módulo esencial que conforma el espacio interior del aula, y el anillo independiente que lo rodea conformando un espacio intermedio. El segundo elemento modular es la lucarna/chimenea de la techumbre, que puede ser extraída sin causar variación en la estructura principal. Estos elementos permiten hacer diferentes combinaciones, tanto extrayéndose como replicándose en cualquier sentido, generando de esta forma diferentes variantes.

En este capítulo se presentan tres propuestas de agrupación del módulo, que permiten visualizar las formas en que podrían constituir un pabellón de edificio escolar.

• **Variante 1 / EDU SPACE FRONT**

La variante Edu Space Front une dos módulos del prototipo base a través del corredor de manera que los dos espacios educativos se enfrentan. Si se pliegan los tabiques móviles de ambos espacios es posible crear un gran espacio que permita realizar otro tipo de actividades. De esta manera es posible contar con un espacio educativo de mayor superficie para realizar actividades pedagógicas con un mayor número de estudiantes, o bien, utilizar el espacio para actividades más dinámicas, entre otras.



Figura 25: Variante Edu Space Front une dos espacios por el frente, generando un espacio educativo mayor



Figura 26: Variante Edu Space Front une dos espacios por el frente, generando un espacio educativo mayor



- **Variante 2 / EDU SPACE NEXT**

La variante Edu Space Next une dos módulos en forma lateral asimilando un pabellón tradicional de aulas. Lo interesante acá es que la estructura propuesta permite ubicar los muros de CLT arriostrantes en distintos puntos, por lo que en este caso los paneles arriostrantes se disponen en los bordes para liberar la zona central que conecta ambos espacios educativos. Ambos espacios educativos son independientes entre si, pero conectados por el centro.

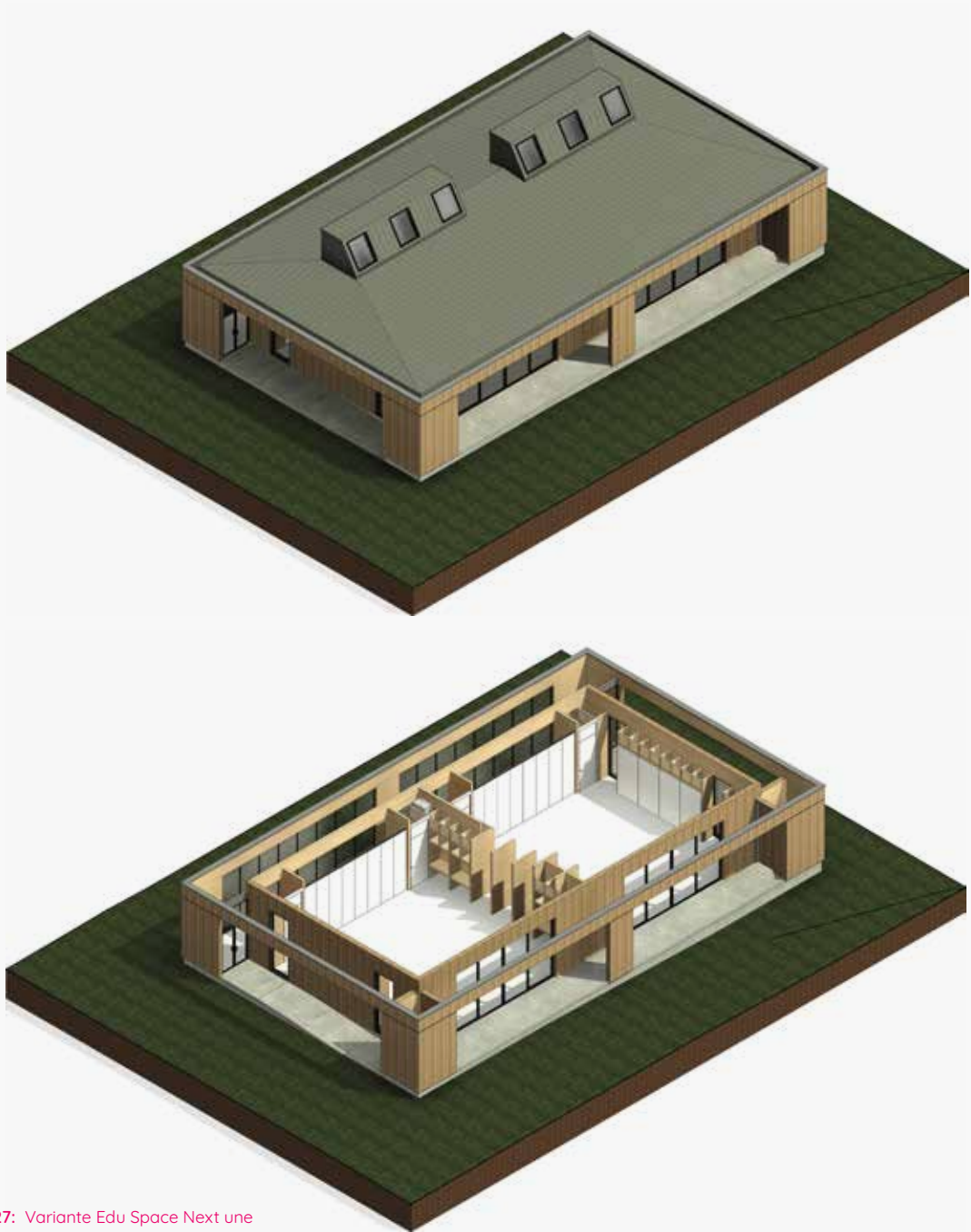


Figura 27: Variante Edu Space Next une dos espacios lateralmente, generando independencia y continuidad



Figura 28: Variante Edu Space Next une dos espacios lateralmente, generando independencia y continuidad



• **Variante 3 / EDU SPACE UP**

La variante Edu Space Up genera un volumen de dos pisos a través de la unión de dos módulos en forma vertical. En este caso, el espacio educativo superior conserva el elemento de lucarna, para luz cenital y la chimenea de ventilación. El aula del primer piso se ilumina sólo con la luz natural que ingresa por el gran ventanal, pero se han realizado los cálculos que comprueban que la iluminación es suficiente para cumplir con los estándares propuestos para el diseño. Esta variante considera además un módulo lateral para la circulación vertical.



Figura 29: Variante Edu Space Up considera la replicabilidad del módulo de espacio educativo en la vertical



Figura 30: Variante Edu Space Up considera la replicabilidad del módulo de espacio educativo en la vertical





04.



**confort
ambiental**

Se estima que entre los 4 y 17 años, los estudiantes pasan al menos un 70% de su tiempo en un aula escolar. Por lo tanto, los espacios educativos deben proveer de condiciones ambientales adecuadas para que niños y adultos realicen sus actividades de manera confortable, mejorando su capacidad de concentración, audición y aprendizaje (Freitag et al, 2002).

El confort depende de estrategias que apunten a una buena calidad del ambiente interior en aspectos térmicos, lumínicos, acústicos y de calidad del aire. Las normativas chilenas actuales en esta materia son aún limitadas, circunscritas al DS 548 y al DS 560 que establecen requisitos mínimos que las aulas escolares deben cumplir en material de iluminación, temperatura y ventilación, entre otros. Sin embargo, la División de Educación Pública del Ministerio de Educación (2020) se ha planteado el desafío de que la infraestructura escolar tenga el sello de cumplimiento de elevados estándares de confort y eficiencia energética. Para ello, los establecimientos educacionales públicos se rigen principalmente por los estándares de la Certificación de Edificio Sustentable (CES), como también por los Términos de Referencia Estandarizados en Eficiencia Energética del Ministerio de Obras Públicas (TDRé) que abarcan todas las dimensiones del confort ambiental, con estándares mucho más exigentes que aquellos estipulados en las normativas obligatorias.

El confort ambiental está asociado al desempeño energético de la edificación. Las edificaciones en Chile son responsables de un 26% del consumo de energía y de un 33% de las emisiones de gases efecto invernadero, por lo que resulta imperativo diseñar edificaciones que demanden la energía mínima óptima posible. Para ello es necesario establecer estrategias de diseño adecuadas al clima local complementadas con tecnologías y sistemas eficientes, que apunten a alcanzar buenos estándares de calidad del ambiente interior.

Las edificaciones en Chile son responsables de un

26%

del consumo de energía y de un

33%

de las emisiones de gases de efecto invernadero

El espacio educativo Future Edu Space se basó en los estándares de CES y TDR para proponer estrategias de iluminación natural, ventilación, acondicionamiento acústico y envolvente térmica apropiadas al contexto del Gran Concepción, región del Biobío. Las estrategias propuestas son posibles de aplicar en otros contextos mediante algunas modificaciones centradas principalmente en el espesor del aislante térmico, protecciones solares y/o orientación de la lucarna superior.

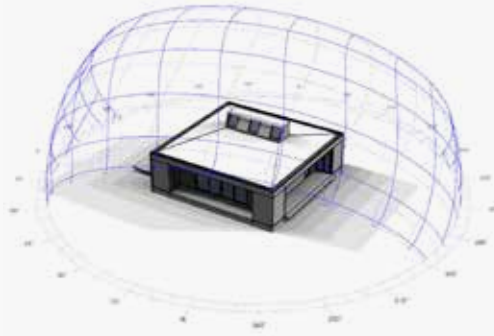
➤ ILUMINACIÓN NATURAL

La luz natural es una tecnología gratuita que tiene un impacto importante en la experiencia educativa de los estudiantes; si la aplicamos de manera adecuada es posible mejorar las condiciones ambientales en las aulas (*Piderit B. 2011*). Numerosos autores han estudiado el efecto de la iluminación natural sobre la salud, el bienestar y el rendimiento escolar. El grupo Heschong-Mahome (2002) estableció una correlación entre la luz natural disponible en las aulas y el rendimiento escolar en pruebas estandarizadas. Además, cabe mencionar que la luz no incide sólo en el confort visual y el rendimiento, ya que es igualmente importante en aspectos biológicos. Küller y Lindsten (1992) confirmaron la importancia de la luz natural en la producción de la hormona cortisol en los estudiantes y la capacidad de concentración de los mismos. Este estudio demostró una correlación entre la cantidad de luz natural, el nivel hormonal y el comportamiento de los estudiantes.

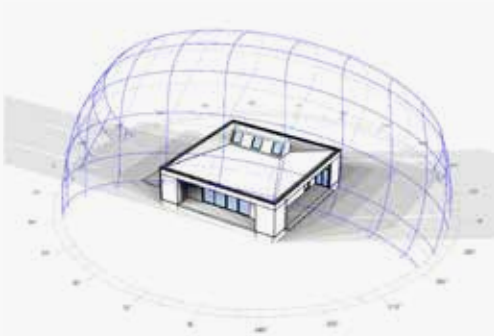
El Laboratorio Lighting Research Center de New York, demostró la importancia de la luz natural en el ciclo circadiano. La luz de la mañana, con longitud de ondas cortas (azules) proporciona más estimulación en el ciclo circadiano, específicamente en los espacios educativos. Se probó que los estudiantes que no están expuestos a la luz de

la mañana experimentaron una fase circadiana retrasada más pronunciada, que daría como resultado trastornos del sueño y estrés, afectando su estado de ánimo (*Leslie, Smith, Radetsky, Figueiro, & Yue, 2011*). A través de estos estudios se muestran pruebas consistentes de la importancia de la luz natural en el diseño arquitectónico de las aulas escolares.

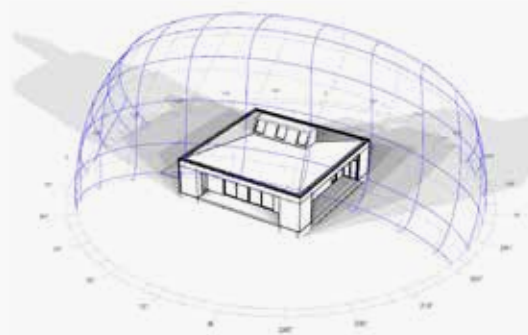
La estrategia de iluminación natural del espacio educativo Future Edu Space combina iluminación lateral con iluminación cenital para alcanzar niveles suficientes para realizar las actividades pedagógicas en todo el espacio. Usualmente, las aulas escolares se iluminan a través de superficies vidriadas laterales (ventanas), lo que genera altos niveles de iluminación junto a la ventana y bajos niveles hacia el interior. Debido a esto, se propone un elemento cenital (lucarna) que aporte luz natural con el fin de aumentar los niveles de confort visual y disminuir los consumos energéticos en iluminación artificial. El muro vidriado exterior está orientado hacia el norte, lo que permite captar radiación solar en invierno, pero protegerse de la incidencia solar en verano a través de una proyección del alero (Figura 31).



21 de diciembre / solsticio de verano



21 de septiembre / equinoccio

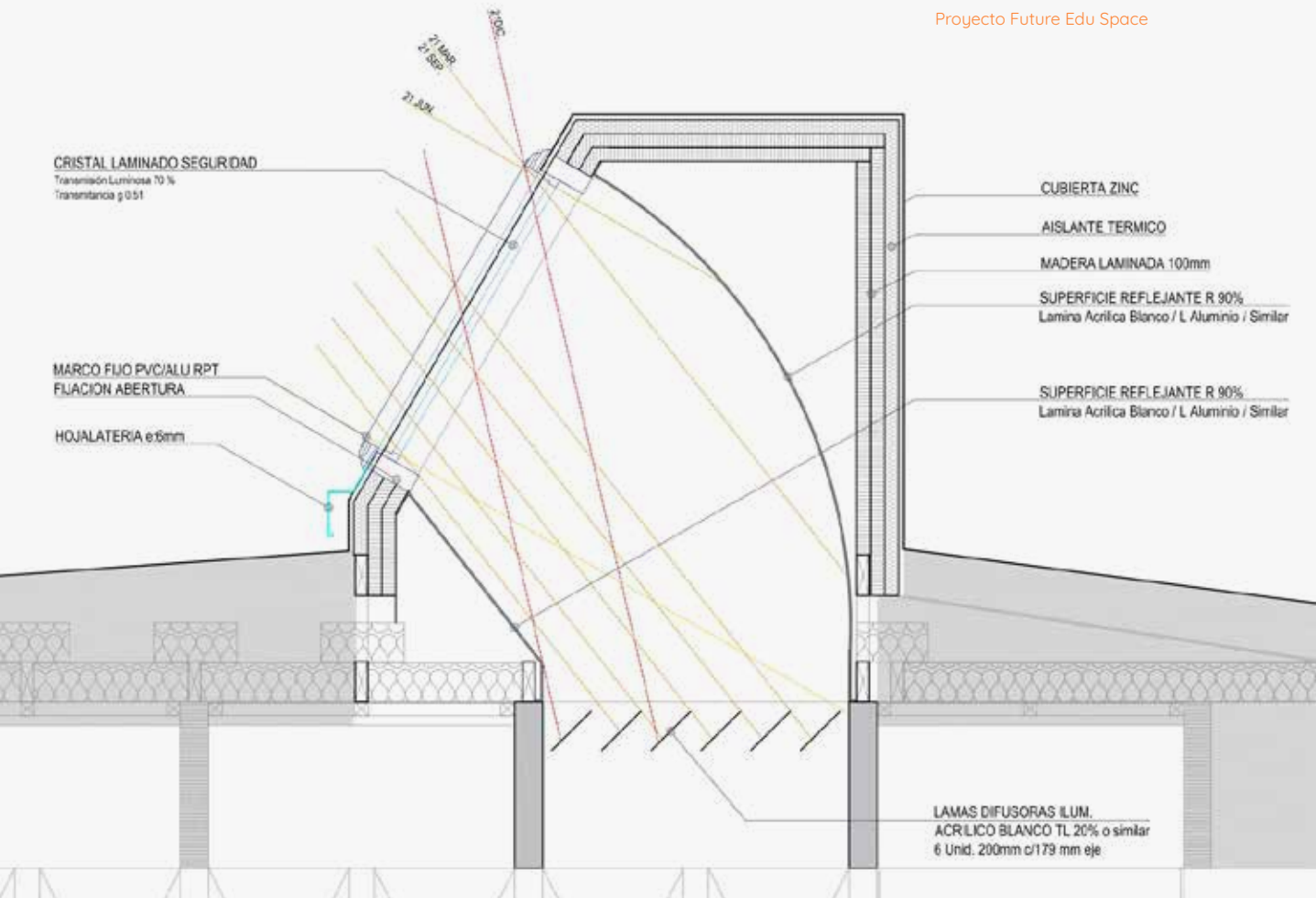


21 de junio / solsticio de invierno

Figura 31: Asoleamiento del espacio educativo Future Edu Space

El elemento superior del prototipo de espacio educativo contiene 3 lucarnas que se orientan hacia el norte con una inclinación de 60° mediante una ventana tipo Velux o similar. Posee un pequeño alero que ha sido calculado para la latitud de Concepción (37°S), pero puede ser adaptado a otras latitudes. La conducción de la luz se da a través de una superficie reflejante de policarbonato blanco o similar. En la parte inferior se propusieron elementos difusores de policarbonato blanco, con el fin de controlar el deslumbramiento en el interior (Figura 32).

Figura 32: Detalle de lucarna.
Proyecto Future Edu Space





21 de junio / 12 hrs.



21 de septiembre / 12 hrs.



21 de diciembre / 12 hrs.

Figura 33: Visualización de la iluminación natural por la lucarna en solsticio de invierno (izq), equinoccios (centro) y solsticio de verano (der).
Proyecto Future Edu Space

El desempeño de la estrategia de iluminación natural se determinó mediante simulación dinámica con el software especializado Rhinoceros-Grasshopper-DIVA (Design Iterate Validate Adapt) que utiliza como motor de cálculo RADIANCE, validado para estudios lumínicos. Se modeló el prototipo y definió una grilla de análisis ubicada a 80 cm. de altura, suponiendo un plano de trabajo (mesa).

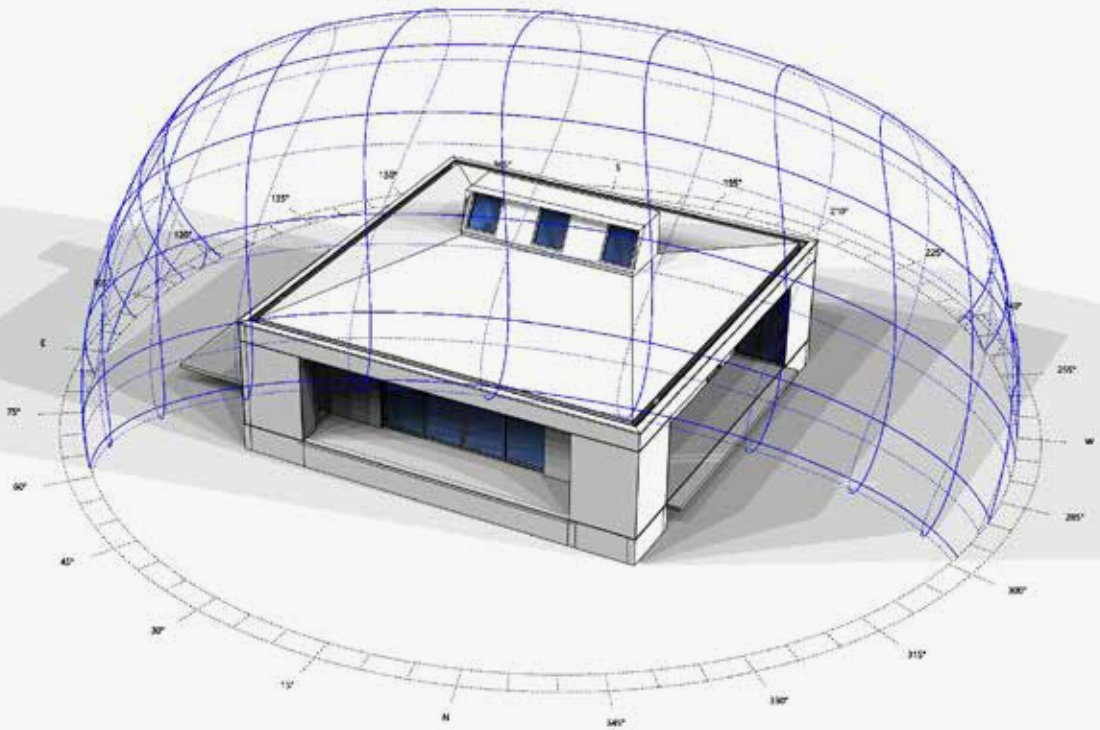
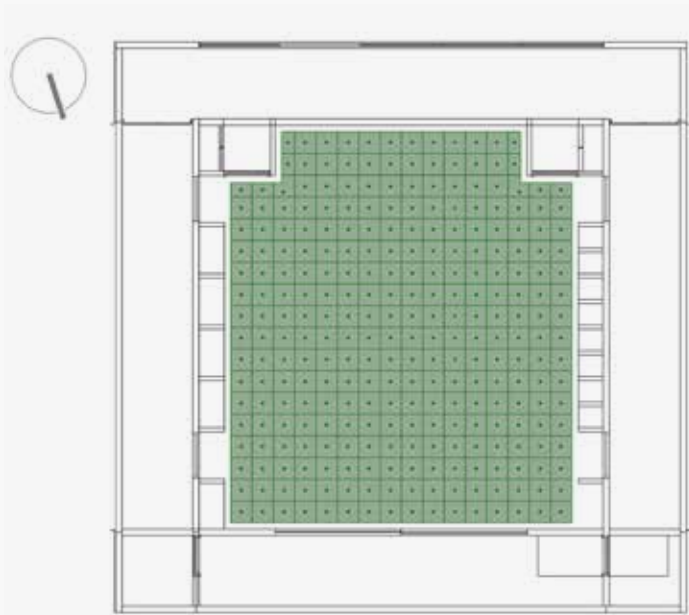
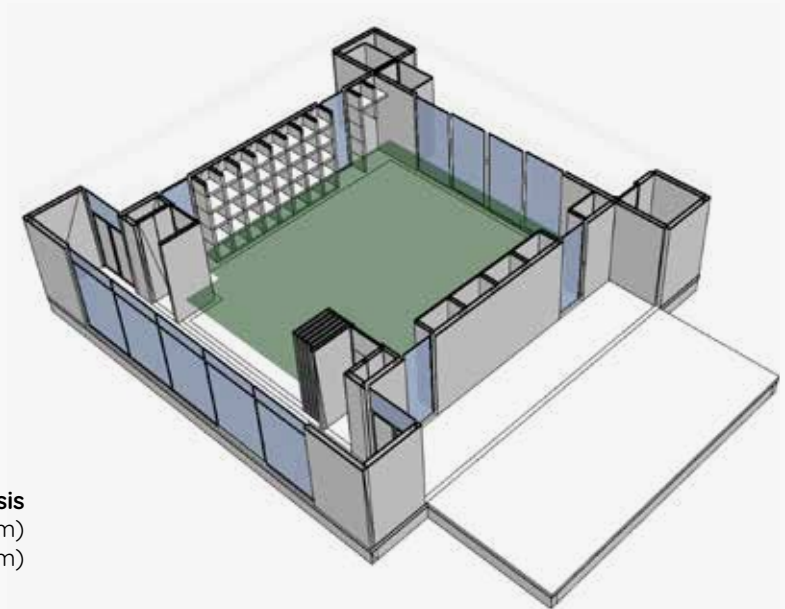


Figura 34: Análisis de asoleamiento
Proyecto Future Edu Space



Plano de Evaluación
(área útil)



Sensores / Grilla de análisis
Distanciamento (0,5x0,5 m)
Altura Sobre NPT (0,80 m)

Figura 35: Planta e Isométrica grilla de análisis
Proyecto Future Edu Space

La definición de objetivos lumínicos se basa en las exigencias para la Certificación de Edificios Sustentables (CES) y Términos de Referencia Estandarizados (TDRé) (CITEC UBB, 2012) con lo exigido para la zona de Concepción. El indicador utilizado para la evaluación y validación del desempeño de la lucarna fue la Iluminancia Útil (Useful Daylight Illuminance - UDI) que determina el porcentaje de tiempo en que el plano de trabajo evaluado (mesas) está dentro de un rango de iluminancia recomendada para la tarea visual (Tabla 1). Sin embargo, en función de las discrepancias de cumplimiento de rango de ambos estándares, se adaptaron según la actualización internacional del indicador (EFA, 2011), en Tabla 1.

TABLA 1. / ESTÁNDARES DE CONFORT VISUAL

Iluminancia Útil (UDI)	
CES	100 a 2000 lux - al menos 40% del horario de ocupación del año
TDRé MOP	200 a 3000 lux - al menos 50% del horario de ocupación del año
Future Edu Space	300 a 3000 lux - al menos 50% del horario de ocupación del año

El análisis integrado de la iluminación natural del espacio educativo considerando los aportes tanto de la lucarna como de todos los elementos transparentes de la envolvente que proveen luz natural al espacio educativo contempla las 3 configuraciones de aula de acuerdo con las diferentes posiciones de los muros laterales. Esto considera el prototipo original que contiene superficies vidriadas en todas las orientaciones; el espacio con el muro plegable cerrado; y el espacio educativo adosado por ambos lados y con el muro plegable cerrado, que muestra el caso más desfavorable pero realista en una situación de edificación escolar. Todos los casos analizados determinan un alto desempeño

lumínico del espacio educativo, con niveles que superan el objetivo mínimo establecido UDI 50%. Incluso el caso más desfavorable logra niveles del UDI 53% mostrando que el aporte de la lucarna es necesario para proveer luz natural en las partes lejanas a la abertura de fachada, y permiten una iluminancia homogénea.

Como complemento de la luz natural se propuso un diseño de iluminación artificial eficiente, considerando lograr un nivel de iluminancia nominal entre 400-500 lux. Se realiza una distribución de luminarias suspendidas entre los casetones del cielo del prototipo.

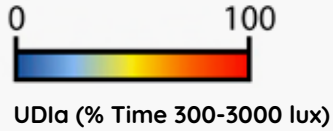


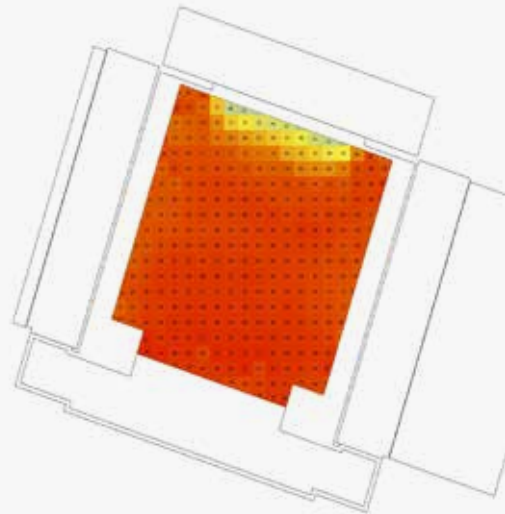
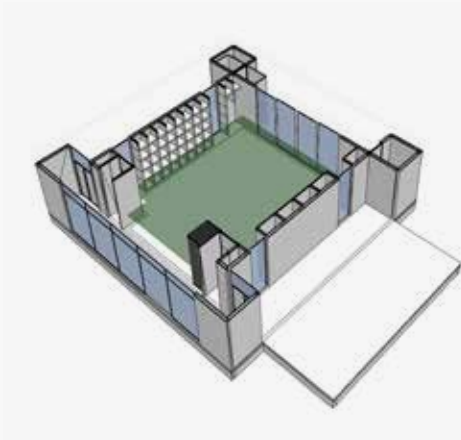
Figura 36: Simulación de la iluminación natural del espacio educativo. Iluminancia útil UDI entre 300 y 3000 lux. Proyecto Future Edu Space.

ESPACIO ABIERTO

PROTOTIPO CON TABIQUE ACUSTICO ABIERTO:

Iluminancia Útil (UDI)= 80%

- Certificación CES - Muy Bueno (>60%)
- TDRe MOP - Muy Bueno (>75%)



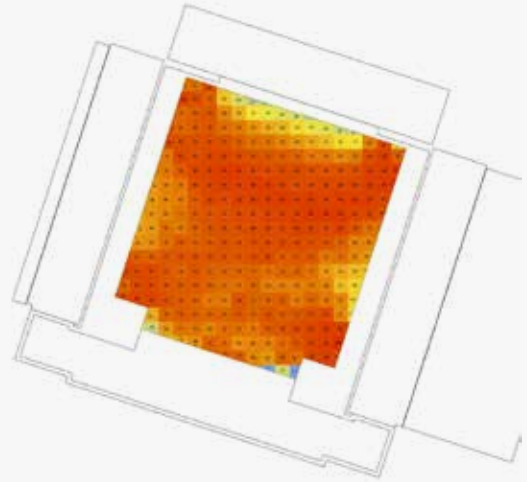
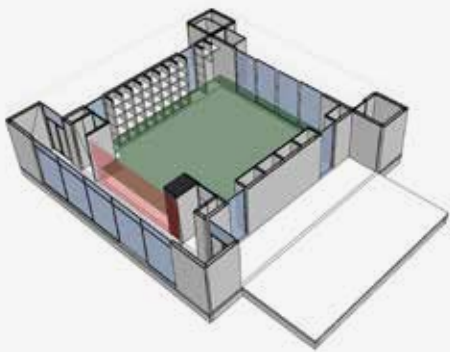
UDI 300-3.000 lx = 80%

ESPACIO CON MURO PLEGABLE CERRADO

PROTOTIPO CON TABIQUE ACUSTICO CERRADO (en rojo):

Iluminancia Útil (UDI)= 70%

- Certificación CES - Muy Bueno (>60%)
- TDRé MOP - Muy Bueno (>75%)



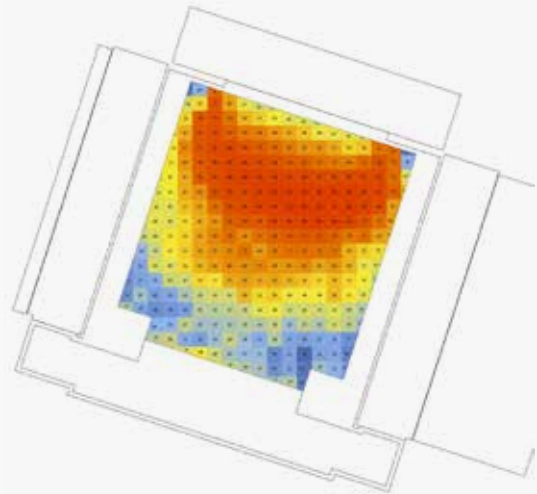
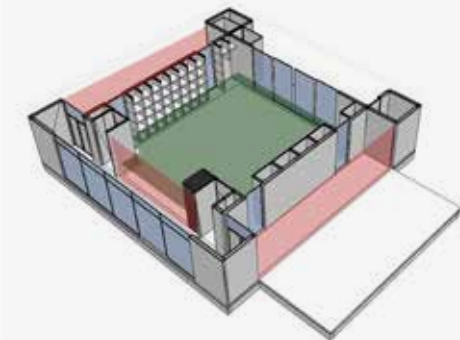
UDI 300-3.000 lx = 70%

ESPACIO ADOSADO Y CON MURO PLEGABLE CERRADO

PROTOTIPO CON TABIQUE ACUSTICO CERRADO + ADOSAMIENTO LATERAL (en rojo):

Iluminancia Útil (UDI)= 53%

- Certificación CES - Bueno (>50%)
- TDRé MOP - Aceptable (>50%)



UDI 300-3.000 lx = 53%

La iluminación artificial interior del **Aula Prototipo FES** corresponde a un diseño que dialoga con la estructura principal del espacio, acompañando el cielo de **casetones de madera con una luminaria led suspendida**, dispuesta de manera alternada entregando una luz cálida blanca, a través de su forma lineal.

En el espacio de acceso al aula se disponen focos de luz empotrados en el cielo falso iluminando de manera puntual este recinto dando un sentido de transición entre el interior y exterior del edificio.

Desde el exterior se ilumina a través de una **línea de luz adosada y continua, con difusor opal de policarbonato** jerarquizando los muros de fachada dando realce al revestimiento de madera.





➤ ENVOLVENTE TÉRMICA

La envolvente térmica constituye una estrategia esencial para mantener niveles de confort térmico adecuados para las actividades educativas. Estudios realizados en escuelas chilenas han reportado mediciones de temperatura interior muy bajas en invierno y muy altas en verano, como resultado de la mala calidad de la envolvente (Trebilcock *et al*, 2017). Este problema se torna aún más grave en establecimientos educacionales que albergan a niños provenientes de contextos socioeconómicos bajos, quienes deben adaptarse a condiciones térmicas interiores tan deficientes que pueden dañar su salud y su rendimiento académico.

Una envolvente de alto desempeño permite controlar las pérdidas y las ganancias de calor, aislando el interior de las temperaturas exteriores. Con ello se espera que en aquellos espacios educativos que no disponen de ningún sistema de acondicionamiento ambiental, las temperaturas interiores se mantengan en un rango de confort durante la mayor parte del tiempo en que permanecen ocupadas. Y por otro lado, si el espacio dispone de un sistema de acondicionamiento ambiental, se espera que con una buena envolvente térmica la demanda de energía disminuya notablemente, en línea con los desafíos de eficiencia energética y mitigación de emisiones de gases efecto invernadero.

En Chile existen diferentes normas y sistemas de certificación voluntarios que establecen valores de transmitancia térmica que deberían cumplir los distintos elementos de la envolvente, tal como techo, muros, pisos y ventanas. La transmitancia térmica (valor U) expresa la cantidad de calor que es capaz de ser transmitido a través de un elemento constructivo y corresponde al inverso de la resistencia térmica. La Tabla 2 muestra las exigencias para la ciudad de Concepción donde se emplaza el prototipo demostrativo de Future Edu Space,

que está localizada en la zona climática Sur Litoral (SL). Es importante resaltar que los estándares indicados para CES son solo aquellos correspondiente al rango mínimo, pero el sistema de certificación considera también rangos más exigentes para la certificación. La calidad de la envolvente térmica debería variar de acuerdo al clima local, con mayor capacidad aislante en los climas más fríos.

TABLA 2. / TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA PARA LA ENVOLVENTE DE EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN CONCEPCIÓN

	Transmitancia térmica (Valor U) máximo (W/m ² K)				
	Techo	Piso	Muro ventilado	Piso terreno	Ventanas
NCh 1079-2019 (zona E)	0,33	0,45	0,60	N/A	3,00
CES (zona SL)	0,70	2,90	0,70	3,85	3,00
OGUC Art. 4.1.10 (zona 4)	0,38	1,7	0,60	N/A	varía
TDRe (zona 6 SL)	0,40	0,60	0,80	0,6	1,9 a 2,9

Los muros envolventes del prototipo Future Edu Space constan de un panel de madera maciza CLT (Cross Laminated Timber) de 100mm de espesor; aislación térmica de 50mm de espesor; terciado estructural de 18mm; membrana hidrófuga; cámara de aire entre listones de pino de 2"; y revestimiento exterior de entablado machihembrado de pino 1"x5" por el exterior (Figura 33). La madera maciza aporta bastante aislación a la envolvente (conductividad térmica de madera de pino 0,13 W/mK), pero el principal aporte lo genera el material aislante térmico, cuya conductividad puede variar entre 0,026 y 0,042 W/mK, dependiendo del material. Para el prototipo se evaluaron distintas alternativas de aislante térmico, desde opciones ecológicas como lana de oveja y corcho, hasta aislantes tradicionales como lana de vidrio y poliestireno expandido. La cámara de aire ventilada bajo el revestimiento exterior permite proteger el revestimiento de madera frente a la humedad, como también evitar el sobrecalentamiento.

La techumbre contempla una envolvente térmica de colchonetas de lana de vidrio sobre el cielo, con un espesor total de 150mm para cumplir con las normas. En este caso es importante que la aislación sea continua, minimizando los puentes térmicos.

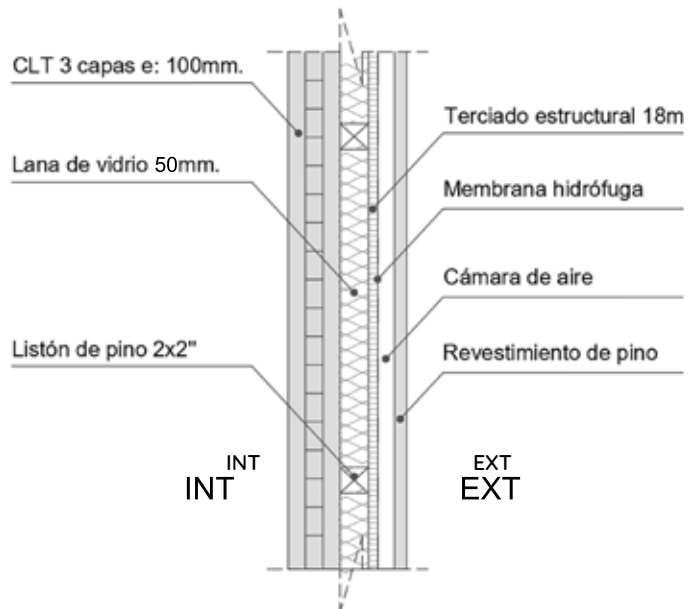


Figura 37: Detalle muro envolvente.
Proyecto Future Edu Space

Figura 38: Render de muro
envolvente de CLT con aislamiento exterior.
Proyecto Future Edu Space



TABLA 3. / TRANSMITANCIA TÉRMICA (VALOR U) DE MUROS Y TECHUMBRE DE FUTURE EDU SPACE

Muros	Valor U (W/m ² K)
CLT pino 100mm + lana de vidrio 50mm + terciado estructural 18mm + cámara de aire ventilada + revestimiento madera de pino	0,45 (*)
Techumbre	
Cielo OSB 11,1mm + lana de vidrio 120mm	0,32

(*) valor U de acuerdo a ensayo en cámara térmica CITEC UBB

El muro envolvente fue ensayado en la cámara térmica del CITEC UBB con el fin de determinar su transmitancia térmica utilizando aislante de lana de vidrio, que con un valor de 0,45 (W/m²K) cumple con lo establecido en todas las normas (Figura 35).

El diseño de las ventanas constituye un desafío en las aulas escolares ya que cumplen una gran diversidad de funciones, desde el contacto visual y físico con el exterior, hasta la captación de radiación solar para iluminación y calor. La principal desventaja de las ventanas es que pierden calor por conducción y convección, por lo que es importante que sean aislantes y herméticas. Las ventanas principales del espacio educativo Future Edu Space son tipo corredera con vidrio doble vidriado hermético (DVH) laminado, con el fin de propiciar la extensión del espacio interior al espacio intermedio, favorecer la ventilación natural y la aislación térmica. Aparte de la protección solar que se genera por el alero, la ventana considera también cortinas interiores tipo roller para control de la iluminación.

El diseño de las ventanas constituye un desafío en las aulas escolares ya que cumplen una gran diversidad de funciones, desde el contacto visual y físico con el exterior, hasta la captación de radiación solar para iluminación y calor. La principal desventaja de las ventanas es que pierden calor por conducción y convección, por lo que es importante que sean aislantes y herméticas. Las ventanas principales del espacio

educativo Future Edu Space son tipo corredera con vidrio doble vidriado hermético (DVH) laminado, con el fin de propiciar la extensión del espacio interior al espacio intermedio, favorecer la ventilación natural y la aislación térmica. Aparte de la protección solar que se genera por el alero, la ventana considera también cortinas interiores tipo roller para control de la iluminación.

Además de la capacidad aislante, es importante que la envolvente cumpla estándares de hermeticidad al aire apropiados al clima. Para ello, tanto el proceso de diseño como el proceso constructivo debe considerar la incorporación de sellos laminares (membranas) y de sellos lineales (adhesivos) que cubran todas las posibles grietas. El sistema constructivo de madera maciza es de por sí más hermético que los sistemas de plataforma, ya que posee menos uniones, pero aún así es importante considerar los sellos en las uniones. La hermeticidad al aire de la edificación solo se puede comprobar una vez que esté construida, a través del método del Blower Door Test a alta presión (*Trebilcock, 2014*). El estándar de hermeticidad esperado para Concepción es de 3 renovaciones de aire/hora a 50 Pa, de acuerdo a los TDRé, y de 2,5 renovaciones de aire/hora a 50 Pa, de acuerdo a CES. Ambos requerimientos aplican a espacios con ventilación mecánica, ya que para espacios ventilados solo en forma natural el requerimiento es menos estricto.

Estas estrategias de aislación térmica de la envolvente genera una importante reducción en la demanda de energía y mejoramiento del confort térmico del espacio. De acuerdo al procedimiento establecido en el Manual de CES para calcular la reducción de la demanda de energía, el espacio educativo FutureEduSpace reduce la demanda total de energía para calefacción, enfriamiento e iluminación en un 50,9% con respecto a un caso base, lo que se califica como Muy Bueno en el sistema de certificación (requerimiento voluntario ARQ. Energía 5 de CES). La simulación térmica se realizó con el software de análisis dinámico IES.

Para adaptar el prototipo a otros climas de Chile, es posible modificar el espesor de la aislación térmica de la envolvente y especificar ventanas con desempeños térmicos apropiados al clima local en base a los estándares detallados en los TDRé o en el manual de CES. Además, la Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (AChEE, 2012) proporciona recomendaciones de envolvente térmica para todas las zonas climáticas del país.



Figura 39: Ventana principal del espacio educativo Future Edu Space



➤ ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

La calidad acústica es un aspecto muy importante en los espacios educativos para asegurar la comunicación oral como medio fundamental para la construcción de los conocimientos. Los principales aspectos acústicos a tener en cuenta son el ruido de fondo, la acústica del espacio y la aislación acústica. El exceso de ruido en el aula interfiere con la retención de conocimiento, concentración, salud mental y el desempeño de estudiantes y profesores. Estudios muestran que el exceso de ruido de fondo puede incluso causar desinterés académico en los escolares (*Gelfand y Corey, 2010*). Cuando el ruido de fondo es excesivo, los estudiantes deben esforzarse demasiado para escuchar y comprender lo que profesores y estudiantes están diciendo, perjudicando la inteligibilidad de la palabra.

En el caso de espacios educativos flexibles que promueven las metodologías activas el desafío es aún mayor, ya que el ambiente interior es más ruidoso. Hoy en día, se ha demostrado que un espacio de aprendizaje flexible al promover la interacción es propenso a la generación de altos niveles de ruido en su interior y puede inducir a una falta de privacidad y distracción, generando estrés en estudiantes y profesores (*Alterator & Deed, 2013*). Además, el ruido intrusivo de otras clases o grupos de trabajo, puede afectar en la inteligibilidad de la palabra y provocar molestias debido a la asociación de significado que tiene el ruido generado por conversación (*Zhang et al, 2019*).

La reverberancia es la persistencia de un sonido en un espacio después de que la fuente ha cesado. Depende del tamaño de la sala y de los materiales de las superficies, por lo que se puede controlar limitando la superficie de materiales reflectantes acústicos, o bien, incorporando materiales absorbentes acústicos (*Gelfand y Corey, 2010*). La aplicación de materialidades con coeficientes de absorción adecuados en cielos y muros permite obtener un tiempo de reverberación y una inteligibilidad de la palabra adecuada. La aislación acústica es también muy importante por cuanto es necesario aislar cada espacio del ruido proveniente del

exterior o de un espacio contiguo.

El proyecto Future Edu Space aborda la aislación y acondicionamiento acústico del espacio interior a través de diversas estrategias, usando tanto productos que existen en el mercado como diseñando elementos especiales para el control de la reverberación.

El aislamiento acústico se genera a través de las soluciones constructivas de la envolvente que deben cumplir con las recomendaciones del Ministerio de Educación. Los indicadores corresponden al aislamiento al ruido aéreo R_w y al aislamiento acústico de fachada expuestas a vías vehiculares L_d , donde el R_w debe considerar una aislación acústica mínima de 50 dB(A) entre recintos, a excepción de los paramentos que separen áreas comunes en las cuales la aislación debe ser de un mínimo de 30 dB(A), mientras que el L_d se debe igualar o mejorar la aislación acústica mínima de fachadas exteriores en función del Nivel Equivalente Diurno (NED), cuya aislación mínima con un NED menos o igual a 65 dB, debe ser de 30 dB (Tabla 4).

El proyecto Future Edu Space propone una envolvente que cumple con las recomendaciones del Ministerio de Educación. Los valores se calcularon mediante el software de predicción para el aislamiento acústico INSUL, en bandas de frecuencia de octavas de cada solución constructiva. La propuesta para la techumbre corresponde a un cielo acústico de placa de yeso-cartón perforada de 12,5 mm de espesor con lana de vidrio de espesor 140mm [d:48 Kg/m³]. Este cielo aporta además al acondicionamiento acústico del espacio e incluye mineral volcánico zeolita para reducir compuestos volátiles orgánicos y malos olores en recintos cerrados. La solución de muro de madera maciza CLT mostrada anteriormente, así como las ventanas con doble vidriado hermético, aportan al aislamiento acústico y cumplen con los requisitos establecidos en las normas.

Además del cielo, la propuesta de acondicionamiento

acústico incluye dos elementos diseñados especialmente para ello: un tabique acústico plegable y puertas acústicas abatibles.

El tabique acústico plegable de madera perforada separa el espacio educativo del corredor/patio interior y está compuesto de 8 puertas, cada una de 0,7m x 2,9m, articuladas por un sistema de riel. Las 8 puertas enchapadas terminación haya están perforadas por la cara interior del recinto y con terminación lisa hacia el área exterior del aula. Por el interior contemplan aislación de lana de vidrio de 50mm con velo negro (Figura 37).

TABLA 4. / NIVEL DE RUIDO TRANSMITIDO

	Nivel de Ruido Transmitido R_w (dB)		
	Muro L_d	Ventanas L_d	Cielo L_d
Ministerio Educación (*)	30 dB	30 dB	N/A
Future Edu Space	39 dB +/- 3 dB	41 dB +/- 3 dB	49 dB +/- 3 dB

(*) Guía de Diseño para Espacios Educativos

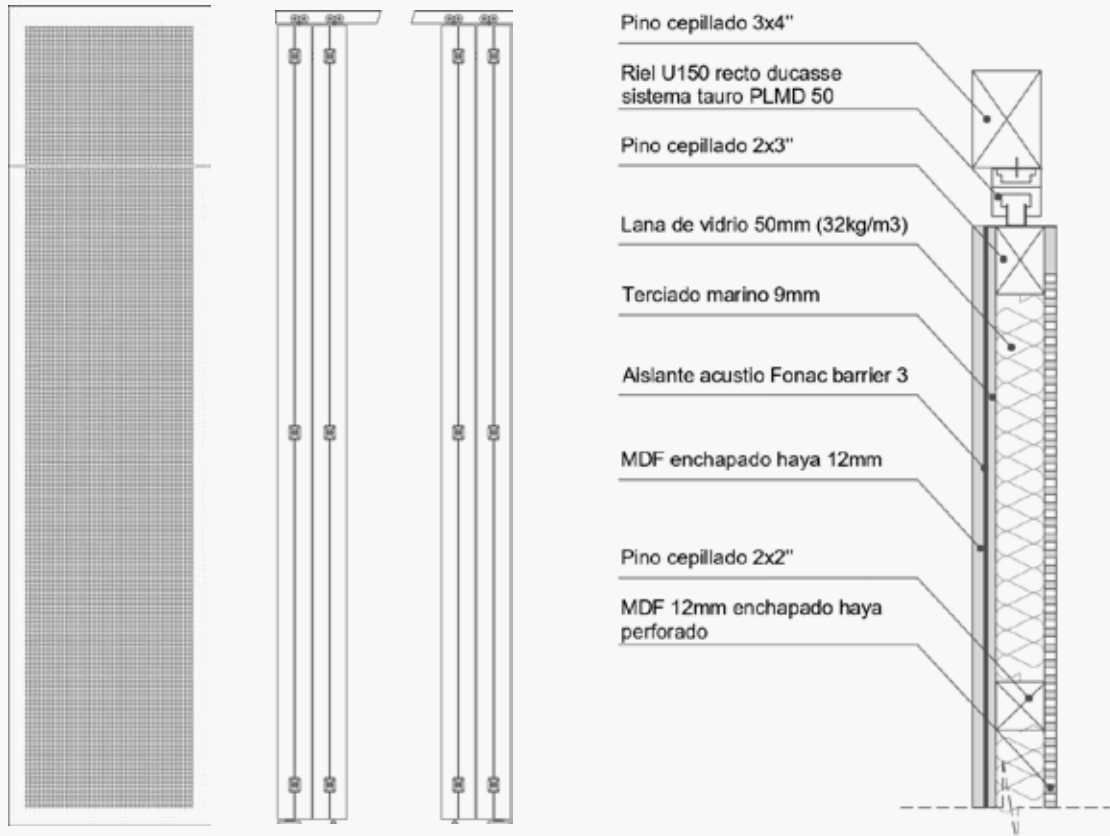


Figura 40: Detalle del tabique acústico plegable que separa el espacio educativo del corredor

Las puertas acústicas abatibles de madera perforada están ubicadas en la parte superior de los muros activos laterales. Cada una es de 0,5m x 0,5m de MDF 12mm enchapado haya, con una cara perforada y otra lisa (Figura 38).

El tiempo de reverberación del espacio educativo se calculó según la fórmula de Sabine y considerando todos los coeficientes de absorción de las superficies de pisos, muros, ventanas, puertas y cielos. Los elementos de acondicionamiento acústico poseen los valores de absorción acústica más relevantes: cielo acústico (NCR 0,76); tabique acústico plegable (NCR 0,67) y las puertas acústicas abatibles (NCR 0,5). El tiempo de reverberación RT_{mid} resultante es de 0,56 con el tabique acústico móvil cerrado y de 0,65 con el tabique acústico móvil abierto. Asimismo, en la gráfica se puede observar la condición de mejora del tiempo de reverberación del aula con acondicionamiento acústico y sin acondicionamiento acústico, lo que demuestra la efectividad de las estrategias propuestas.

Además, las soluciones acústicas diseñadas a partir de placas de MDF perforadas fueron sometidas a ensayo según la Norma ISO 10354-2, el cual entrega valores de absorción sonora a incidencia normal dependiente de la frecuencia. La muestra fue montada en el Tubo de Impedancia del Área Acústica del Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, CITEC UBB (Tabla 5).

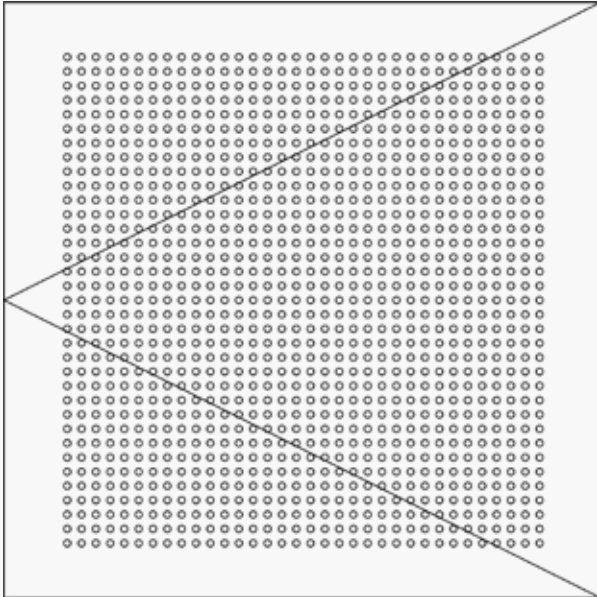


Figura 41: Corte y elevación del puertas acústicas abatible. Proyecto Future Edu Space

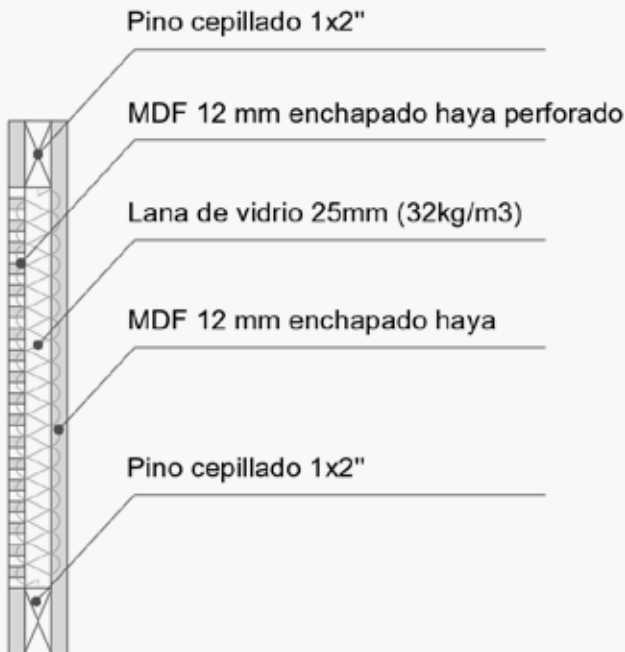


TABLA 5. / ENSAYOS DE ABSORCIÓN ACÚSTICA DE SOLUCIONES PROPUESTAS. PROYECTO FUTURE EDU SPACE

Solución acústica

Absorción acústica

Resonador acústico en base a placa perforada de madera MDF de espesor $e=11\text{mm}$, perforaciones de diámetro 6mm espaciadas a 12mm de sus ejes centrales. Cavidad rellena de lana de vidrio ISOFOX espesor 50mm , densidad 33kg/m^3 recubierta de tela arpillera.

Curva de absorción sintonizada en la banda de tercios de octava de 500 Hz , con máximo de coeficiente de absorción a incidencia normal de $0,96$.

El elemento califica como absorbente acústico de frecuencias medias.

Resonador acústico en base a placa perforada de madera MDF de espesor $e=11\text{mm}$, perforaciones de diámetro 6mm espaciadas a 12mm de sus ejes centrales. Cavidad rellena de lana de vidrio ISOFOX espesor 25mm , densidad 33kg/m^3 recubierta de tela arpillera.

Curva de absorción sintonizada en la banda de tercios de octava de 800 Hz , con máximo de coeficiente de absorción a incidencia normal de $0,96$.

El elemento califica como absorbente acústico de frecuencias medias.

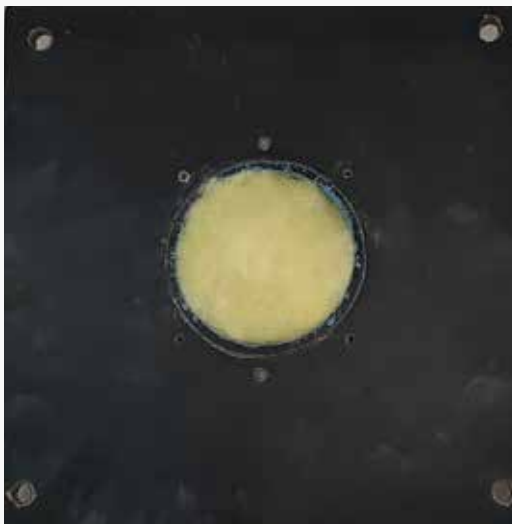
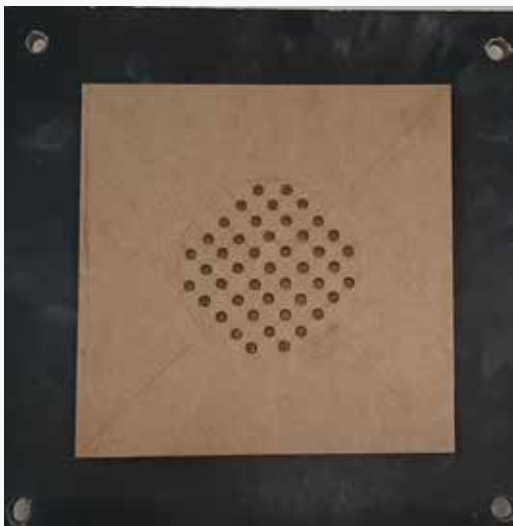


Figura 42: Piezas de ensayo acústico.
Proyecto Future Edu Space



Figura 43: Vista interior del proyecto espacio educativo Future Edu Space



➤ VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

La ventilación es un aspecto crítico en las aulas escolares debido a que están sujetas a una alta densidad de ocupación durante periodos de tiempo prolongados. Una inadecuada estrategia de ventilación puede resultar en una calidad del aire deficiente, con alta concentración de contaminantes tal como CO², compuestos volátiles orgánicos (COV) y otros. La mala calidad del aire interior genera efectos perjudiciales sobre la salud de los ocupantes, tales como asma, alergias y enfermedades infecciosas. Los niños son más susceptibles al daño permanente a la salud producto de una mala calidad ambiental (*Haverinen-Shaughnessy et al, 2015*).

Estudios realizados en Chile constataron que la concentración de CO² al interior de aulas escolares superan los niveles aceptables la mayor parte del tiempo, con peaks de hasta 5.000 ppm en invierno, lo que es considerado perjudicial para la salud. Se demostró que la calidad del aire depende de la temperatura exterior, por cuanto en invierno las ventanas permanecen cerradas y los contaminantes interiores aumentan (*Díaz et al, 2021*).

La calidad del aire interior está determinada por aspectos tales como la calidad del aire exterior, el tipo y volumen de fuentes contaminantes, el diseño del sistema de ventilación y de sus condiciones de operación y mantenimiento, la permeabilidad al aire de la construcción, y de manera muy importante, la capacidad del ambiente natural para ventilar (*ACHEE, 2021*).

Los estándares de ventilación para aulas escolares se basan en referencias internacionales que han sido definidas para asegurar una adecuada renovación del aire interior, reemplazando el aire viciado por aire fresco. Las aulas demandan una renovación de aire mucho mayor a otro tipo de espacios para mantener una buena calidad del aire (concentración de CO² bajo 1000ppm).

La ventilación usualmente entra en conflicto con aspectos térmicos y acústicos, ya que la apertura de ventanas para

**TABLA 6. / ESTÁNDARES DE VENTILACIÓN
PARA AULAS ESCOLARES**

**ESTÁNDARES DE VENTILACIÓN PARA AULAS ESCOLARES
(9 AÑOS EN ADELANTE)**

	Rangos mínimos de ventilación	
	L/s por persona	L/s por m ²
ASHRAE 62.1 / CES / TDR _e	5	0,6

ventilación natural implica el ingreso de aire exterior que podría estar muy frío o muy caliente, lo que conflictúa con el confort térmico. Por otro lado, la apertura de ventanas es inviable cuando el espacio educativo se localiza junto a una fuente de ruido externo, tal como una calle muy transitada. Todo ello repercute en ventanas cerradas y una mala calidad del aire interior.

Debido a ello, el diseño de una estrategia de ventilación efectiva para espacios educativos es complejo; debe considerar aspectos climáticos tal como temperatura y vientos, así como localización y orientación, para adecuarse al contexto y sus variaciones estacionales.

En consideración al clima de la ciudad de Concepción, que tiene temperaturas bajas en invierno y templadas en verano y estaciones intermedias, además de importantes velocidades de viento durante todo el año, el proyecto Future Edu Space ha propuesto una estrategia de ventilación híbrida que combina ventilación natural y ventilación forzada con recuperación de calor. De esta forma, el espacio educativo se ventila en forma natural cuando las temperaturas exteriores son templadas, pero utiliza un sistema de ventilación forzada con recuperación de calor cuando las temperaturas son bajas, lo que además de ventilar permite acondicionar la temperatura interior. La ventilación natural tiene la ventaja de que no consume energía, mientras que el sistema forzado utiliza muy

poca energía, y sólo cuando la primera estrategia no es suficiente.

La estrategia de ventilación natural se basa en la apertura de las ventanas de la fachada principal y de la chimenea de ventilación del techo, lo que permite generar un flujo de aire interior. De esta forma el espacio educativo se puede ventilar de forma autónoma aún cuando las puertas y el tabique móvil estén cerrados. En ausencia de viento, el ingreso de aire se da por las ventanas y la salida por celosías dispuestas en la parte superior de la chimenea, impulsado por el efecto convectivo. Cuando el viento proviene del sur, el movimiento de aire se dará en sentido opuesto, impulsado por las presiones del viento fresco (Figura 41).

La estrategia de ventilación forzada funciona cuando las temperaturas exteriores son bajas y es inviable ventilar a

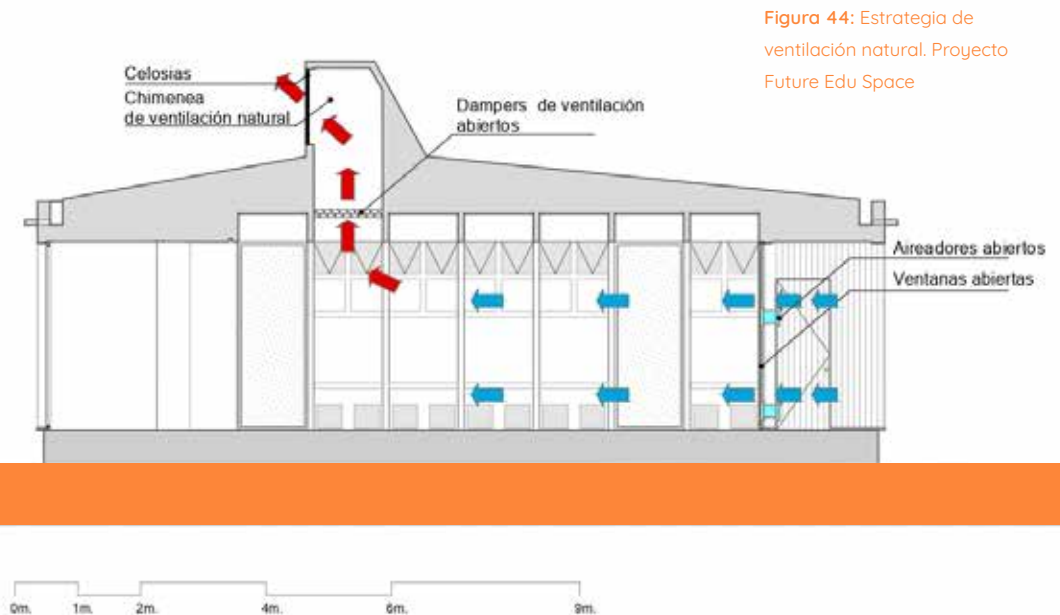


Figura 44: Estrategia de ventilación natural. Proyecto Future Edu Space

través de ventanas. La envolvente permanece cerrada y la ventilación se genera a través de un equipo intercambiador de calor de alta recuperación que inyecta aire por el cielo y lo extrae por el corredor y puntos inferiores. Cuando el aula está ocupada, los niños emiten calor aumentando la temperatura interior. El aire viciado se extrae y se utiliza para calentar el aire fresco exterior a través de un fenómeno de intercambio de calor. Se trata de un sistema eficiente energéticamente que permite ventilar y mantener el aire interior templado. En invierno, cuando las temperaturas son muy bajas, el sistema dispone de una batería calefactora eléctrica (Figura 42).

Simulaciones realizadas en la Guía de Eficiencia Energética de Establecimientos Educativos (*AChEE, 2012*) muestran que estos sistemas de ventilación con recuperación de calor permiten ahorros energéticos de hasta 90% resultando muy apropiados para contextos del sur de Chile. El sistema dispone de un control de temperatura y CO² para mantener las condiciones del ambiente interior constantes.

La chimenea de ventilación forma parte de un elemento

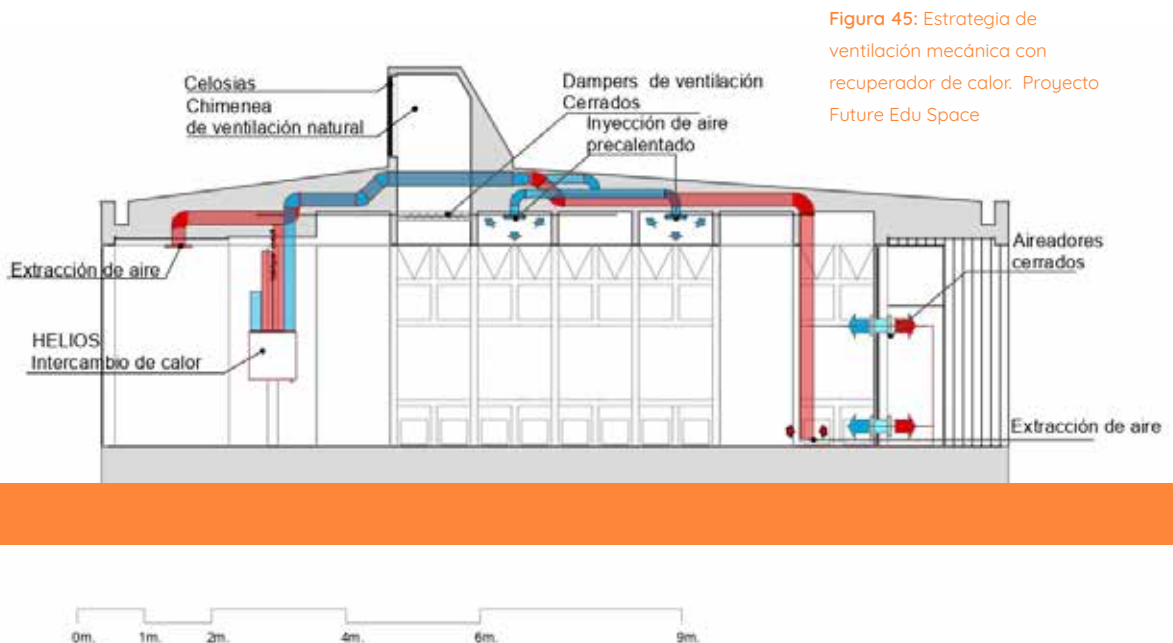


Figura 45: Estrategia de ventilación mecánica con recuperador de calor. Proyecto Future Edu Space

integrado de techo que incluye 3 lucarnas y 2 chimeneas. Cuenta con celosías en la parte superior y dampers en la parte inferior que permiten abrir y cerrar el sistema. Además, están conectados con un sensor de concentraciones de CO² que activa los dampers cuando se superan los niveles óptimos de calidad de aire interior.

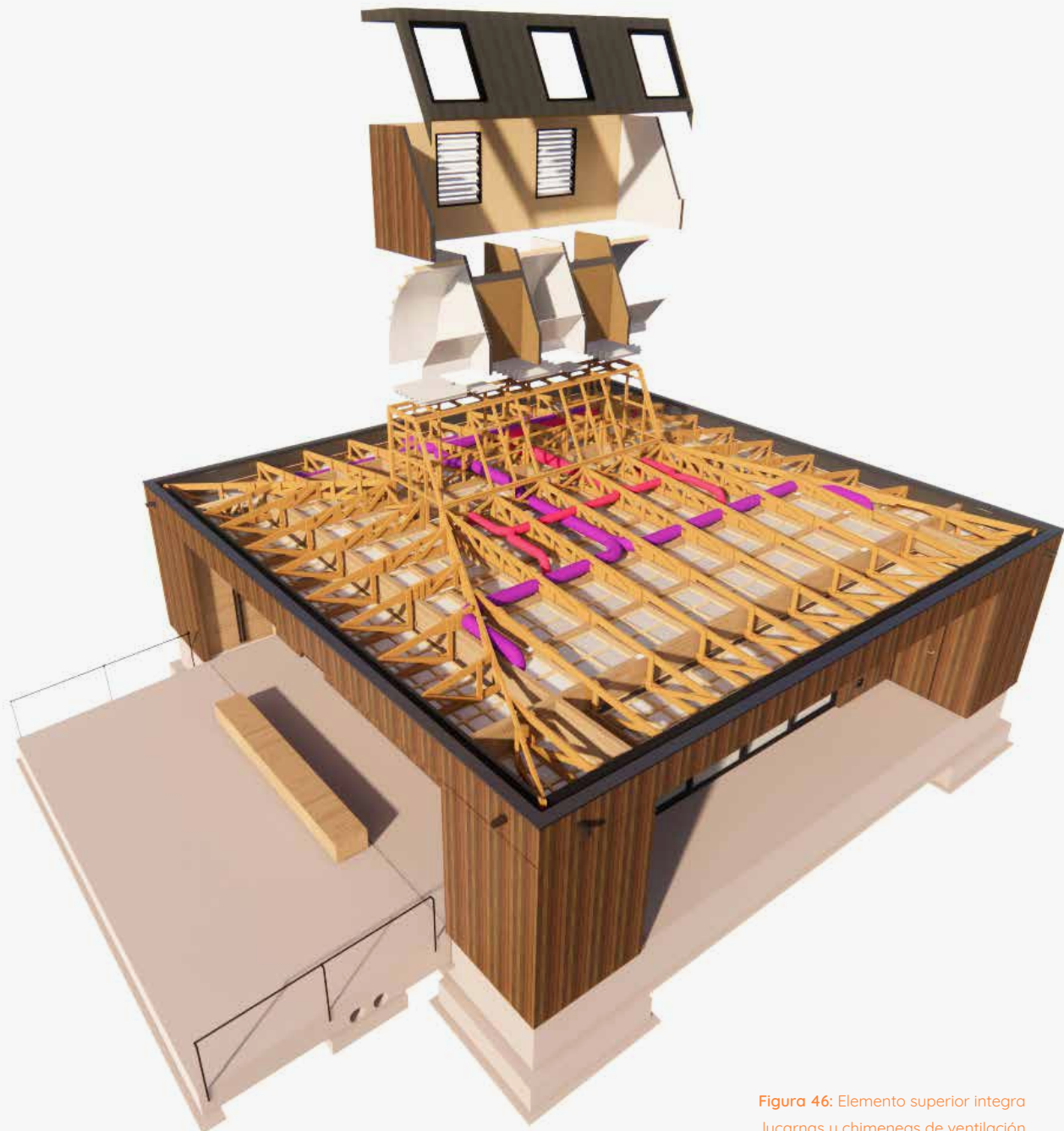


Figura 46: Elemento superior integra lucarnas y chimeneas de ventilación

**palabras fi-
nales**

Esta guía recoge la experiencia de desarrollo de una iniciativa de innovación y transferencia tecnológica financiada por el Fondo de Innovación para la Competitividad Regional FIC-r del Gobierno Regional del Biobío, orientada al diseño y fabricación de un prototipo de espacio educativo escolar flexible, confortable y sustentable, que promueve las modalidades de aprendizajes activos para que los escolares desarrollen las habilidades que demanda el siglo XXI.

A través del desarrollo de esta iniciativa, el equipo interdisciplinario de trabajo pudo aplicar conocimiento y capacidades de punta para alcanzar un objetivo que tiene valor tanto en su resultado como en su proceso. El prototipo puede ser replicado como totalidad, pero también por sus partes componentes. Puede ser replicado en su materialización, como en sus principios rectores. Se trata de un bien público que pone a disposición de todo quien quiera beneficiarse de él.

Esta guía avanza por cada dimensión relevante en el diseño de un espacio educativo flexible, desde el proceso de diseño, la integración de tecnologías vanguardistas, la modularización y prefabricación en madera, y el confort ambiental. Cada sección integra conocimiento generado por investigaciones internacionales y nacionales para dar sustento a los principios y estrategias rectoras de diseño. Se articula con otras guías y referencias pertinentes a nivel nacional.



referencias

- ◆ AChEE (2012). Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos. CITEC UBB.
- ◆ Alterator, S. & Deed, C. (2013). Teacher adaptation to open learning spaces. *Issues in Educational Research*, 23 (3), 315-330.
- ◆ Attai, S. L., Reyes, J. C., Davis, J. L., York, J., Ranney, K., & Hyde, T. W. (2021). Investigating the impact of flexible furniture in the elementary classroom. *Learning Environments Research*, 24(2), 153-167. <https://doi.org/10.1007/s10984-020-09322-1>
- ◆ Bannister, D. (2017). Pautas para estudiar y adaptar los espacios de aprendizaje en centros educativos. European Schoolnet, Bruselas.
- ◆ Barrett, P et al (2015). *Clever Classrooms: Summary of the HEAD*, Salford, UK ISBN 978-1-907842-63-4.
- ◆ Barrett, P., Treves, A., Shmis, T., Ambasz, D. & Ustinova, M. (2019). The impact of school infrastructure on learning: A synthesis of the evidence. World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1378-8>
- ◆ CITEC UBB. (2012). Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de diseño y obra de la Dirección de Arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipologías de edificios, DA MOP, Santiago, Chile.
- ◆ Daniels, H, Stables, A, Ming Tse, H. y Cox, S. (2019), *School Design Matters: how school design relates to the practice and experience of schooling*, Routledge, Oxon.
- ◆ Forcael, E, Pacheco, F. y Soto, J. (2021). *Planificación y programación de proyectos. Una mirada integral*. Ediciones Universidad del Bío-Bío, Concepción.
- ◆ Freitag, P. K., Woods, J. E., Hemler, B., Sensharma, N. P., Penney, B. A. & Marx, G. (2002). Health, Energy and Productivity in Schools : Measures of Occupant Performance. En 9th International Conference on Indoor Air Quality and

- ◆ Climate - Indoor Air 2002. Rotterdam (Netherlands): In-house publishing, 834-839.
- ◆ Figueiro, M. G., Brons, J. A., Plitnick, B., Donlan, B., Leslie, R. P., & Rea, M. S. (2011). Measuring circadian light and its impact on adolescents. *Lighting research & technology*, 43(2), 201-215
- ◆ Heschong, L. (2002). Day lighting and student performance. *ASHRAE J*, 44, 65-67.
- ◆ Ghaziani, R, Lemon, M. y Atmodiwirjo. P. (2021). Biophilic Design Patterns for Primary Schools. *Sustainability* 13, no. 21: 12207. <https://doi.org/10.3390/su132112207>
- ◆ Keller, S, Heerwagen, J. y Mador, M. (2008). *Biophilic Design. The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life.* John Wiley & Sons, New Jersey.
- ◆ Kuuskorpi, K. y González, N. (2011) *The Future of the Physical Learning Environment: School Facilities that Support the User.* OECD ISSN:2072 7925.
- ◆ Küller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. *Journal of Environmental Psychology*, 12(4), 305-317.
- ◆ Leslie, Russ P., L. C. Radetsky, and A. M. Smith. "Conceptual design metrics for daylighting." *Lighting Research & Technology* 44.3 (2012): 277-290.
- ◆ Meyer, C., Arratia, A. y Piderit, B. (2022). *Guía para la Innovación escolar: nuevas prácticas pedagógicas en espacios flexibles.* Proyecto FIC Future Edu Space, Universidad del Bío-Bío.
- ◆ Ministerio de Educación de Chile. (2018). *Criterios de diseño para los nuevos espacios educativos. En el marco del fortalecimiento de la educación pública.*
- ◆ Ministerio de Educación Chile (2020). *Guía Criterios de Diseño para Proyectos de Ampliación, Reposición y Construcción Nueva. Espacios educativos para la calidad.*

- ◆ Nair, P. (2014). *Blueprint for tomorrow: Redesigning schools for student-centered learning*. Harvard Educational Publishing Group.
- ◆ Piderit, M. B. (2011). "Daylighting Design Strategies for Visual Comfort in Classroom". *Université catholique du Louvain, Architecture et Climat*.
- ◆ Smith, R. y Quale, J. (ed) (2017). *Offsite architecture: constructing the future*. Routledge, London.
- ◆ Trebilcock, M. (2009). *Proceso de Diseño Integrado: nuevos paradigmas en arquitectura sustentable*. *Arquiteturarevista*, 5 (2).
- ◆ Trebilcock, M. (ed) (2014). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. Universidad del Bío-Bío.
- ◆ Trebilcock, M, Soto-Muñoz, J, Yáñez, M, Figueroa-San Martín, R. (2017). *The right to comfort: a field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile*, *Building and Environment* 114, pp 455-469.
- ◆ Zhang, D., Ortiz, M. & Buysen, P. (2019). *Clustering of Dutch school children based on their preferences and needs of IEQ in classrooms*. *Building and Environment*, 147, 258-266. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.014>



