

# Estudio de Protección por Diseño en Construcción en Madera

Autores:  
Mauricio Vargas Mosqueda  
Fernando Goycoolea Prado  
Maritza C. Fonseca Alvarado  
Alonso Rebolledo Arellano



# Estudio de Protección por Diseño en Construcción en Madera

## Financiamiento

CORFO  
CODESSER

## Realizado por

Universidad del Bío-Bío  
Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño

## Créditos fotográficos, diagramas e infografías

Mauricio Vargas M., Fernando Goycoolea P., Maritza Fonseca A. y Alonso Rebolledo A.

## Diseño Editorial

Alonso Rebolledo A.

## Autores

### Dr. Arquitecto Mauricio Vargas Mosqueda

(Director del proyecto)

Facultad de Arquitectura, construcción y diseño  
Depto. de Ciencias de la Construcción  
Universidad del Bío-Bío  
mvargas@ubiobio.cl

### MSc. Arquitecto Fernando Goycoolea Prado

Facultad de Arquitectura, construcción y diseño  
Depto. de Ciencias de la Construcción  
Universidad del Bío-Bío  
fgoycool@ubiobio.cl

### Dra (c). Arquitecta Maritza C. Fonseca Alvarado

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.  
Escuela de Arquitectura sede De La Patagonia.  
Universidad San Sebastián  
maritza.fonseca@uss.cl

### MSc. D. Industrial Alonso Rebolledo Arellano

Facultad de Arquitectura, construcción y diseño  
Depto. de Arte y Tecnologías del Diseño  
Universidad del Bío-Bío  
prebolle@ubiobio.cl



# Índice



**Introducción**

**1**



**Riesgos ambientales para las edificaciones en madera en la región del Biobío**

**36**



**Factores y agentes de deterioro**

**4**



**Crterios y ejemplos de Protección por Diseño**

**50**



**Definición Protección por Diseño**

**30**



**Referencias**

**98**



**Definición consensuada de Protección por Diseño**

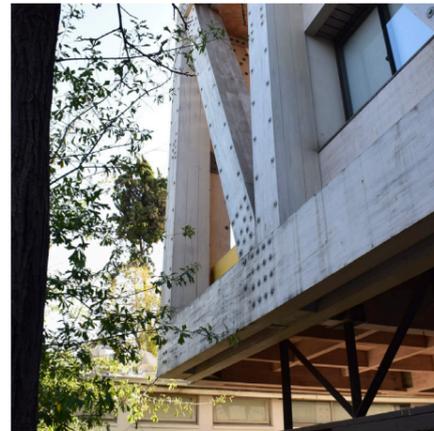
**34**



**Anexos**

**102**

# Introducción



**E**l uso de la madera en la construcción ofrece importantes beneficios en términos de sustentabilidad y productividad. Por ello, Chile se ha planteado, a mediano plazo, duplicar el porcentaje de edificaciones construidas con este material. No obstante, para alcanzar este objetivo, es crucial no solo asegurar la calidad de la madera, sino también la de las soluciones constructivas. Esto requiere, entre otros aspectos, contar con profesionales altamente capacitados en todas las áreas relacionadas con el diseño y la construcción de edificaciones en madera.

Por otro lado, para que las edificaciones de madera sean verdaderamente sustentables, resulta fundamental garantizar su robustez y resiliencia. La robustez se refiere a la capacidad de la edificación para mantener su integridad y funcionalidad frente a daños y perturbaciones,

mientras que la resiliencia implica la capacidad de recuperarse tras ser afectada por eventos adversos.

En este contexto, es importante considerar que las edificaciones en madera están particularmente expuestas a factores de deterioro, tanto bióticos (como hongos e insectos) como abióticos (como la radiación solar, el viento, la lluvia y el fuego). Por ello, un aspecto clave para garantizar la calidad de la edificación es la protección por diseño, siendo este un enfoque que busca la implementación de soluciones constructivas que permitan asegurar la durabilidad de la edificación frente a los agentes de deterioro, reduciendo al mínimo el uso de tratamientos químicos adicionales.

Dada la relevancia del tema para el diseño de edificaciones de madera, la Universidad del Bío-Bío, por encargo de Codesser-Corfo, ha desarrollado este trabajo con el objetivo de establecer una definición consensuada del término “Protección por Diseño” en la región del Biobío, que busca proporcionar una base conceptual sólida que permita unificar los criterios y estándares en el diseño y construcción de edificaciones de madera.

En este sentido, el trabajo también presenta información relevante sobre las condiciones

de riesgo en la región del Biobío, así como criterios y ejemplos prácticos que sirven como referencia general para la implementación de estrategias de protección por diseño. En función de esto, la información ha sido organizada de manera clara y accesible, con el objetivo de facilitar su uso por parte de todos los actores involucrados en el sector de la construcción en madera.

Es importante destacar que los resultados de este trabajo derivan de un estudio integral del estado del arte sobre el tema, el cual fue complementado con diversas dinámicas de consulta y validación llevadas a cabo por expertos, las cuales incluyeron mesas de discusión y encuestas.



# Factores y agentes de deterioro

## La madera como material de construcción

La madera, como material orgánico, es vulnerable tanto a agentes biológicos como a factores físicos. Sin embargo, su durabilidad puede ser notablemente alta dependiendo de cómo se utilice, la especie de madera elegida y el proceso de secado, incluso en entornos climáticos adversos. Al interactuar con elementos naturales como el sol, la lluvia y el viento, la madera requiere de protección similar a la que necesita la piel humana para evitar su deterioro. Estas medidas de protección varían en función del nivel de exposición a los factores de degradación y de las propiedades particulares de la especie de madera utilizada.

La exposición de la madera a factores externos como el sol, la lluvia, la humedad, las cargas, el viento y el fuego puede provocar cambios físicos y químicos que afectan sus propiedades como material de construcción. Estas alteraciones se manifiestan en diversas patologías y daños que suelen observarse en edificaciones de madera, lo que a menudo

obliga a reemplazar el material y contribuye a una percepción negativa de su idoneidad para la construcción, algo que ocurre con menos frecuencia en materiales como el hierro y el hormigón.

A continuación, se presentan brevemente algunos conceptos básicos que en el contexto de la definición de la Protección por Diseño (PPD) de edificaciones en madera, es necesario tener presente.

## Conceptos fundamentales para la protección de la madera

### 1. Humedad

La humedad se refiere a la cantidad de agua presente en la madera, ya sea en forma de vapor o líquida. Este factor crítico influye en la durabilidad de la madera, ya que niveles elevados de humedad fomentan el crecimiento de hongos y microorganismos responsables de la pudrición.

Por otro lado, la humedad excesiva puede causar hinchazón y deformación, mientras que la falta de ella puede llevar a la contracción y agrietamiento de la madera (Bodig & Jayne, 1982; Zabel & Morrell, 1992).

### 2. Punto de saturación de la fibra (PSF) en la madera

El PSF se define como el nivel de humedad en el que las paredes celulares de las fibras de la madera están completamente saturadas de agua, pero los espacios intercelulares (o lumen) aún no contienen agua líquida. Esto ocurre cuando la madera tiene aproximadamente un 25-30% de contenido de humedad, aunque este valor puede variar ligeramente dependiendo de la especie de madera.

El PSF es un concepto crítico en el estudio de la madera, ya que determina el equilibrio entre la estabilidad dimensional y la durabilidad del material. Por encima de este punto, cualquier incremento adicional en la humedad puede provocar hinchazón y deformación de la madera, afectando sus propiedades mecánicas y aumentando su vulnerabilidad a agentes de deterioro, como hongos e insectos.

Comprender el PSF es fundamental para la preservación y el tratamiento de la madera, así como para su aplicación en condiciones ambientales cambiantes.

### 3. Densidad

La densidad de la madera se define como la masa por unidad de volumen y varía según la especie. La densidad influye en la resistencia mecánica, la durabilidad y la capacidad de la madera para absorber humedad.

Las maderas de alta densidad suelen ser más resistentes y duraderas, mientras que las de baja densidad son más susceptibles al deterioro causado por agentes bióticos y abióticos (Panshin & de Zeeuw, 1980).

### 4. Peso específico

El peso específico es la relación de la densidad de la madera con respecto al agua. Este índice se utiliza para clasificar la madera y evaluar su idoneidad para diversas aplicaciones de construcción.

Generalmente, un peso específico mayor indica una mayor resistencia y durabilidad, mientras que un peso específico menor puede señalar una mayor vulnerabilidad a daños por humedad y plagas (Hoadley, 1990).

## 5. Durabilidad natural de la madera

La durabilidad natural se refiere a la capacidad de la madera para resistir la degradación sin tratamientos preservantes. Esta propiedad varía según la especie; algunas latifoliadas son inherentemente más resistentes a la pudrición y ataques de insectos.

La durabilidad natural es un aspecto crítico por considerar al seleccionar madera para aplicaciones específicas tales como la ubicación bien sea interior o exterior, la exposición a factores de deterioro entre otros. (Schmidt, 2006; Zabel & Morrell, 1992).

## 6. Preservación de la madera

La preservación de la madera implica el tratamiento del material para protegerlo de agentes de deterioro, como hongos, insectos y condiciones climáticas adversas.

Esto puede incluir el uso de productos químicos, tratamientos térmicos o secado adecuado. La preservación es esencial para extender la vida útil de las estructuras de madera y mantener su integridad (Schmidt, 2006; Zabel & Morrell, 1992). Sin embargo, es importante destacar que en el contexto de la protección por diseño, la preservación de la madera se usa como último recurso ante factores de riesgos muy adversos.

## 7. Preservantes

Los preservantes son sustancias químicas aplicadas a la madera para protegerla de la degradación. Se utilizan para prevenir la acción de hongos, insectos y otros organismos dañinos.

Los preservantes pueden ser de origen sintético o natural y se aplican de diversas maneras, como impregnaciones, pinturas o tratamientos en autoclave (Hwang et al., 2018; Schaffer et al., 2016).

## 8. Permeabilidad

La permeabilidad de la madera es su capacidad para permitir el paso de líquidos o gases a través de su estructura. La permeabilidad varía entre diferentes especies y afecta la eficacia de los tratamientos preservantes.

Las maderas con alta permeabilidad absorben tratamientos de preservación más fácilmente, mientras que las de baja permeabilidad pueden requerir métodos de aplicación más intensivos (Hoadley, 1990; Zabel & Morrell, 1992).

## 9. Fotodegradación

La fotodegradación es el proceso mediante el cual la madera se degrada debido a la exposición a la luz solar, especialmente a la radiación ultravioleta (UV). Este proceso puede causar cambios en el color, pérdida de propiedades mecánicas y deterioro general de la superficie.

La fotodegradación es un factor importante para considerar en aplicaciones de madera expuesta al exterior (Bodig & Jayne, 1982; Hwang et al., 2018).

## 10. Riesgo

El riesgo en el contexto de la madera se refiere a la probabilidad de que un agente de deterioro afecte negativamente la integridad y durabilidad de la madera.

Esto incluye factores como la exposición a humedad, plagas y condiciones climáticas adversas. Evaluar y gestionar el riesgo es crucial para garantizar la longevidad de las construcciones de madera (Schmidt, 2006; Zabel & Morrell, 1992).

## 11. Robustez

El concepto de robustez en el contexto de la edificación se refiere a la capacidad de una estructura para mantener su funcionalidad y seguridad ante fallos, cambios o sobrecargas no previstas sin colapsar catastróficamente.

En términos prácticos, una estructura robusta es aquella que, aunque pueda sufrir daños o fallos locales - como el fallo de un componente o materia - no genera un colapso desproporcionado de todo el sistema estructural.

La robustez es esencial en el diseño para minimizar el riesgo de fallos progresivos, es decir, cuando un pequeño fallo inicial se propaga y causa daños más graves.

## 12. Resiliencia

La resiliencia en construcciones de madera se refiere a la capacidad de las edificaciones para absorber, resistir y adaptarse ante eventos adversos, como desastres naturales, cambios climáticos o impactos humanos, sin comprometer su integridad estructural ni su funcionalidad. En el contexto de la protección por diseño, esta resiliencia se basa en la integración de estrategias arquitectónicas y técnicas que refuercen la seguridad y durabilidad de la edificación frente a factores de riesgo, como incendios, fuertes vientos, precipitaciones extremas o inundaciones.

El diseño para la resiliencia no solo asegura la longevidad de las construcciones, sino que también contribuye a la protección de los recursos naturales, reduciendo el impacto ambiental a largo plazo.

## Agentes de deterioro

Los factores de deterioro son las condiciones o circunstancias que favorecen o promueven el deterioro del material, pero no causan directamente el daño por sí mismo. Los factores son influencias externas que crean un entorno propicio para que los agentes puedan actuar.

Es fundamental proteger la madera para evitar que se produzcan daños tanto en su micro como en su macroestructura, ya que estas lesiones conducen al deterioro físico y mecánico de sus componentes. Los daños visibles se conocen como patologías, y de alguna manera pueden compararse con las lesiones que sufre el cuerpo humano cuando se expone de manera inapropiada a agentes perjudiciales.

Por otro lado, se denomina agentes de deterioro de la madera a los elementos que afectan la integridad física del material. La degradación en la madera se produce como consecuencia del ataque de organismos biológicos destructores tales como: hongos e insectos xilófagos, que en determinadas

condiciones pueden invadir ciertas partes o sectores de la madera para alimentarse fundamentalmente de la celulosa presente en esta, siempre y cuando las condiciones de temperatura, humedad y oxígeno sean favorables para el crecimiento de estos seres vivos. Al alimentarse estos hongos e insectos destruyen las células que componen la madera, lo que conlleva a la variación de las propiedades físicas y químicas y a la afectación de las propiedades estructurales de la madera, asunto de vital interés para su uso en la construcción.

A continuación, se presentan algunas definiciones de los agentes de deterioro que pueden afectar a la madera y los factores que hacen propicia su aparición, con la finalidad de entender su relevancia a la hora de establecer estrategias de protección por diseño de edificaciones en madera.

## Agentes bióticos

Los agentes bióticos de deterioro de la madera son organismos vivos, xilófagos que degradan y descomponen la madera, afectando su estructura y funcionalidad. Estos agentes incluyen principalmente insectos, hongos, bacterias y en algunos casos, algas y plantas parasitarias.

Los xilófagos se alimentan de la madera o de los compuestos de celulosa en ella, siendo los más comunes insectos, hongos y bacterias. Según Poggi (2011), estos organismos descomponen la celulosa y la lignina, componentes principales de la madera, lo que provoca su deterioro. Los insectos xilófagos, como termitas, carcomas y escarabajos barrenadores, excavan galerías en la madera, mientras que los hongos la degradan mediante la acción de enzimas que descomponen su estructura celular (Osuna, 2014).

De acuerdo con Grimaldi y Engel (2005), las condiciones que favorecen la aparición de organismos xilófagos incluyen:

- **Humedad Elevada:** Los niveles de humedad superiores al 20% favorecen la aparición de hongos, mientras que insectos como las termitas requieren de ambientes húmedos para sobrevivir (Hill, 2006).
- **Temperatura:** Temperaturas entre 20°C y 30°C son óptimas para la proliferación de insectos y hongos xilófagos, aunque algunas especies pueden desarrollarse en climas más fríos (Smith y Wiedenhoef, 2014).
- **Falta de Ventilación:** Zonas con poca circulación de aire, como sótanos o espacios confinados, favorecen la acumulación de humedad y la aparición de xilófagos (Poggi, 2011).
- **Madera en Contacto con el Suelo:** Las estructuras de madera en contacto directo con el suelo tienen mayor riesgo de ataque por termitas y hongos (Grimaldi y Engel, 2005).

Los daños que los xilófagos provocan en la madera son significativos, afectando tanto su integridad estructural como su apariencia estética:

- **Daño estructural:** Los insectos, como las termitas, pueden comprometer la estabilidad estructural de los edificios al destruir la madera desde el interior (Poggi, 2011). Las galerías excavadas por estos insectos hacen que la madera pierda su capacidad de carga, lo que puede llevar al colapso estructural si no se controla.
- **Degradación fúngica:** Los hongos, como los responsables de la podredumbre parda y blanca, descomponen la celulosa y la lignina de la madera, haciéndola quebradiza y propensa a desintegrarse (Osuna, 2014).
- **Daño estético:** Los xilófagos también causan daños visibles, como agujeros, grietas y polvo de madera, lo que afecta el valor visual de la madera (Hill, 2006).
- **Impacto en la salud humana:** Algunos hongos pueden liberar esporas que afectan la calidad del aire y pueden causar problemas respiratorios en los ocupantes (Smith y Wiedenhoft, 2014).

Para evitar la aparición y propagación de xilófagos, se recomiendan diversas medidas de prevención, algunas de las cuales indicamos a continuación:

- Protección por diseño de la madera.
- Tratamiento químico de la madera.
- Tratamiento superficial de la madera.
- Inspección y mantenimiento regular.

## Hongos xilófagos

Los hongos xilófagos (también conocidos como hongos de pudrición) son aquellos que descomponen los principales componentes estructurales de la madera: celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos hongos son capaces de degradar la madera de manera profunda, afectando su resistencia estructural.

Los hongos xilófagos necesitan niveles de humedad superiores al 20-30% en la madera para desarrollarse. Por debajo de este nivel, la actividad de los hongos se detiene o es mínima. Un contenido de humedad en la madera entre 35% y 60% es ideal para el desarrollo de hongos xilófagos. Este nivel de humedad suele encontrarse en áreas donde la madera está en contacto directo con el agua o expuesta a la lluvia y humedad prolongada, como madera sin protección adecuada.

Los hongos prosperan en ambientes con humedad relativa alta, por lo general superior al 70% en el aire circundante. Las zonas mal ventiladas o con poca exposición al sol, como sótanos, áticos o estructuras subterráneas, son especialmente vulnerables.

Existen varios tipos de hongos que afectan la madera, incluyendo:

- **Hongos de pudrición blanca:** Estos hongos descomponen la celulosa, dejando principalmente la lignina, lo que resulta en una madera que presenta un color blanquecino y una textura quebradiza. Ejemplos incluyen *Phanerochaete chrysosporium*, conocido por su capacidad de descomponer madera en condiciones controladas (Hwang et al., 2018).
- **Hongos de pudrición marrón:** Afectan tanto la celulosa como la lignina, causando una pérdida significativa de resistencia estructural. Este tipo de hongos se presenta comúnmente en ambientes húmedos y cálidos, y son responsables de la pudrición de la madera en estructuras expuestas (Schmidt, 2006).
- **Hongos superficiales:** Aunque menos destructivos, pueden causar manchas y alteraciones estéticas en la superficie de la madera. Su presencia a menudo indica condiciones de humedad que pueden propiciar el desarrollo de hongos más dañinos (Zabel & Morrell, 1992).

## Mohos

Los mohos son un grupo específico de hongos que forman estructuras multicelulares visibles, conocidas como micelio. Estos organismos prosperan en condiciones de alta humedad y pueden colonizar la superficie de la madera, formando capas de color verde, gris o negro.

Aunque generalmente no causan un deterioro estructural inmediato, su presencia puede ser indicativa de problemas de humedad y puede contribuir a la degradación de la madera si no se controla. Los mohos también pueden liberar esporas que, al ser inhaladas, pueden provocar problemas de salud, como alergias o trastornos respiratorios (Dancer et al., 2015).

Los mohos crecen en la superficie de la madera, formando manchas de diversos colores, como negro, verde o blanco, pero no suelen penetrar profundamente. Aunque los mohos se alimentan de la humedad y de la materia orgánica presente en la superficie de la madera, como suciedad o partículas orgánicas, no tienen la capacidad de descomponer la celulosa o la lignina de manera eficiente.

El moho principalmente afecta la estética de la madera (manchas) y puede causar problemas de salud, como alergias y problemas respiratorios, debido a la liberación de esporas en el aire.

### Impacto de los hongos y mohos en la madera

- **Degradación estructural:** La actividad de los hongos, especialmente los de pudrición, puede comprometer la resistencia estructural de la madera, aumentando el riesgo de colapso en construcciones.
- **Estética y valor:** La aparición de mohos y hongos puede afectar negativamente la apariencia de la madera, lo que puede reducir su valor estético y comercial.
- **Salud:** Algunos hongos pueden producir esporas que son perjudiciales para la salud humana, lo que subraya la importancia de controlar su crecimiento en ambientes interiores y exteriores.

## Prevención y control

La prevención de la infestación de hongos y mohos en la madera implica mantener condiciones adecuadas de humedad y ventilación, y en casos extremos el uso de tratamientos preservantes. La inspección regular y el tratamiento de la madera son esenciales para detectar y controlar la presencia de estos organismos antes de que causen daños significativos.

Los hongos xilófagos degradan profundamente la madera, afectando su estructura y comprometiendo su durabilidad, los mohos son más superficiales y afectan principalmente la estética, sin causar un daño estructural significativo. Sin embargo, la presencia de mohos puede ser una señal de condiciones de humedad que eventualmente favorecerían la aparición de hongos xilófagos, lo que sí tendría consecuencias más graves para la madera.

## Insectos xilófagos

Los insectos xilófagos son aquellos que se alimentan de la madera, ya sea viva o muerta, degradando su estructura interna. Estos insectos pueden causar serios daños a las construcciones, muebles y otras estructuras de madera, ya que excavan túneles o galerías en su interior al consumir la celulosa y otros componentes de la madera.

Los principales insectos xilófagos son las Termitas, los Escarabajos Barrenadores (Carcomas) y las Hormigas Carpinteras.

## Termitas

Las termitas son los insectos xilófagos más conocidos y destructivos. Forman colonias altamente organizadas y se alimentan principalmente de la celulosa de la madera, excavando galerías que debilitan las estructuras.

Según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2018), en Chile se identifican cuatro tipos de termitas:

1. La termita de los muebles (*Cryptotermes brevis*).
2. La termita chilena (*Neotermes chilensis*)
3. La termita de madera húmeda (*Porotermes quadricollis*).
4. La termita subterránea (*Reticulitermes flavipes*).

En la región del Biobío, están presentes la termita de madera húmeda, la cual se desarrolla en madera con más de un 30% de humedad y la termita subterránea, la cual se ha observado en la comuna de Nacimiento en los últimos años. Las estrategias para prevenir su aparición son similares a las utilizadas para evitar hongos y fuego, salvo aquellas dirigidas a las termitas subterráneas, que no se encuentran en esta región.

Para prevenir la propagación de termitas en edificios, resulta imperativo seguir las siguientes recomendaciones técnicas:

- **Control de humedad:** Es fundamental asegurar que no existan filtraciones de agua y mantener el área en condiciones secas. La prevención de fugas y la implementación de un sistema de drenaje apropiado en la edificación son medidas significativas para disminuir la humedad y por ende las termitas.
- **Separación del suelo:** Si las maderas no se encuentran en contacto con el suelo, se puede prevenir la aparición de termitas.
- **Barreras físicas:** Se recomienda usar barreras físicas de metal o plástico para mantener la madera alejada del contacto directo con el suelo, lo que contribuye a reducir el riesgo de infestación por termitas.
- **Materiales no contaminados:** Es crucial evitar el uso de materiales infestados, especialmente maderas recicladas, y almacenar los materiales en áreas libres de termitas para prevenir su aparición.

- **Fisuras y grietas en la fundación:** Las termitas pueden infiltrarse mediante pequeñas fisuras y grietas en los cimientos de hormigón. Por consiguiente, resulta imperativo evitar cualquier grieta en las paredes, cimientos y alrededor de las tuberías.
- **Pasadas de ductos:** Otro aspecto relevante para evitar el acceso de termitas es el sellado adecuado de pasadas de ductos.

## Carcoma o escarabajos barrenadores

Las carcomas son insectos de ciclo larvario que pueden causar importantes daños a la madera.

El ciclo de vida de la carcoma comienza cuando los adultos ponen sus huevos en las grietas o superficies de la madera. Una vez que las larvas nacen, penetran en el interior de la madera creando túneles y galerías dentro del material. Eventualmente, las larvas se transforman en pupas y emergen como adultos, dejando pequeños agujeros en la superficie de la madera.

## El Fuego como Factor de Deterioro en las Edificaciones de Madera y las Condiciones que Favorecen su Propagación

El fuego es uno de los factores más destructivos para las edificaciones en madera, ya que su naturaleza orgánica y su composición basada en celulosa hacen de este material un combustible altamente inflamable. A medida que el fuego entra en contacto con la madera, se produce una reacción química de combustión, liberando calor, gases y partículas. La capacidad de la madera para arder y propagar el fuego depende de diversas condiciones ambientales, del diseño del edificio y de las características del material.

La propagación del fuego está directamente influenciada por condiciones como el contenido de humedad de la madera, las cargas de combustible, el diseño del edificio, la temperatura y el viento. La implementación de medidas de prevención y protección es esencial para mitigar el riesgo y los daños causados por el fuego.

Algunas condiciones favorecen especialmente la propagación del fuego en la edificación. A continuación se detallan algunas:

### Contenido de humedad en la madera

- La madera seca es mucho más propensa a arder que la madera húmeda. Un contenido de humedad inferior al 20% facilita la ignición rápida y la propagación del fuego. A medida que la madera pierde agua (por deshidratación o por la acción del clima seco), la temperatura necesaria para su combustión disminuye.
- Humedad alta: Si bien la madera húmeda tarda más en arder debido a la necesidad de evaporar el agua contenida, una vez que esta humedad se reduce, el fuego puede propagarse rápidamente.

### Cargas de combustible

- En una edificación de madera, la estructura misma actúa como una fuente de combustible. Las cargas de combustible hacen referencia a la cantidad de material inflamable disponible en el interior de un espacio. Las vigas, columnas y pisos de madera pueden alimentar el fuego durante largos periodos.
- La distribución del material combustible y la presencia de objetos inflamables adicionales en el entorno (mobiliario de madera, papel, textiles) aumentan la velocidad de propagación del fuego.

### Diseño y configuración del edificio

- La ventilación juega un papel crucial en la propagación del fuego. Edificaciones con grandes espacios abiertos o con sistemas de ventilación inadecuados permiten una mayor circulación de oxígeno, lo que alimenta el fuego y lo expande.
- Diseños en altura, como estructuras de varios pisos, también favorecen la propagación vertical del fuego si no se instalan barreras de protección adecuadas,

ya que el calor tiende a ascender, llevando las llamas a niveles superiores.

### Temperatura ambiental

- Las altas temperaturas ambientales en combinación con bajas humedades relativas crean un entorno altamente inflamable para las construcciones en madera. En regiones propensas a incendios forestales, el riesgo de propagación del fuego es mayor debido a estas condiciones climáticas.
- Durante los periodos cálidos y secos, la madera puede alcanzar temperaturas cercanas a su punto de ignición sin contacto directo con una fuente de llama.

### Vientos fuertes

- El viento es otro factor determinante en la propagación del fuego. Las ráfagas de viento no solo avivan las llamas, sino que también transportan brasas encendidas que pueden iniciar nuevos focos de incendio en otras partes del edificio o estructuras cercanas.

- En zonas propensas a huracanes o tormentas con vientos fuertes, el riesgo de propagación del fuego a través de brasas voladoras es significativamente mayor.

Para reducir la propagación del fuego en edificaciones de madera, es crucial implementar las siguientes medidas:

1. **Diseño con cortafuegos:** Incluir elementos cortafuegos en la construcción, como barreras físicas entre pisos y paredes, disminuye la transmisión de las llamas a otras áreas del edificio.
2. **Sistemas de detección y extinción:** La instalación de detectores de humo y rociadores automáticos es clave para actuar rápidamente ante la presencia de fuego.
3. **Control de las cargas de combustible:** Limitar la cantidad de materiales inflamables dentro de los edificios reduce el riesgo de que el fuego se alimente y expanda.
4. **Tratamiento ignífugo de la madera:** Utilizar maderas tratadas con productos químicos que retardan la combustión puede ayudar a prevenir la rápida propagación del fuego

## Fotodegradación

La fotodegradación de la madera es el proceso de deterioro que ocurre cuando esta se expone a la luz solar, específicamente a la radiación ultravioleta (UV). Este tipo de radiación provoca cambios químicos en la superficie de la madera, lo que puede afectar tanto su apariencia como sus propiedades físicas y mecánicas.

La luz solar provoca cambios de color en la madera, degradando su tono natural hasta que adquiere una apariencia grisácea. En situaciones de exposición extrema, los rayos ultravioletas (UV) degradan los componentes de la madera, comenzando por la lignina. Esta degradación, combinada con la acción del agua de lluvia, elimina la capa superficial de la madera, dejando expuesta la celulosa, lo que da a la madera un tono blanquecino.

En condiciones reales, el agua y el sol actúan de forma conjunta y se potencian mutuamente, multiplicando sus efectos de deterioro.

El daño por fotodegradación en la madera es muy lento. Se estima que la profundidad de degradación promedio es de aproximadamente

6 mm cada 100 años, aunque esto puede variar en función del clima, la especie de madera y la orientación de las fibras respecto a la exposición. En las condiciones más desfavorables, la degradación puede alcanzar hasta 13 mm de profundidad. (Agüelles & Arriaga, 2000).

### Pasos para calcular el sobredimensionamiento de la madera por resistencia al fuego:

- 1. Determinar el tiempo de resistencia al fuego requerido:** En Chile la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) establece las exigencias de resistencia al fuego para diferentes tipos de materiales y tipo de edificación incluyendo la madera. Esto se expresa en minutos, como F15, F30, F60, F90, F120 y F180 (minutos de resistencia al fuego).
- 2. Obtener la tasa de carbonización:** La tasa de carbonización es la velocidad a la cual la madera se quema o se consume cuando está expuesta al fuego. Esta tasa varía según el tipo de madera (blanda o dura) y las condiciones de exposición.
- 3. Calcular la profundidad de carbonización:** Se calcula multiplicando la tasa de carbonización por el tiempo de exposición al fuego.
- 4. Determinar el tamaño residual de la sección estructural:** La sección residual de la pieza de madera es la parte que no se carboniza y que sigue soportando cargas. Para mantener la capacidad estructural adecuada, el área residual debe ser suficiente para soportar las cargas aplicadas incluso después de la carbonización.
- 5. Sobredimensionamiento:** Para su cálculo es necesario agregar el ancho correspondiente a la profundidad de carbonización, a la sección residual de la pieza de madera. De esta manera se obtiene la sección definitiva según el tiempo de resistencia requerido.

### Degradación por acción del viento

El viento puede generar un deterioro progresivo en las edificaciones de madera, no solo por las cargas estructurales que impone, sino también por el desgaste del material debido a la fricción, la abrasión y el impacto de partículas transportadas por el aire.

Este tipo de desgaste afecta tanto la integridad de la superficie de la madera como su capacidad para resistir otros factores ambientales, acelerando el deterioro del material a largo plazo. A continuación, se detallan los efectos del viento con un enfoque en el desgaste mecánico de la madera.

- 1. Fricción y abrasión en la superficie:** El viento, en combinación con partículas como arena y polvo, desgasta las superficies de madera, erosionando progresivamente su exterior, aumentando su vulnerabilidad frente a la humedad y otros factores climáticos. Según Kaye (2017), la erosión por partículas transportadas por el viento puede reducir drásticamente la vida útil de los revestimientos de madera, especialmente en regiones costeras o desérticas.
- 2. Desgaste en las conexiones:** Las fluctuaciones del viento generan movimientos en las uniones de los elementos de madera, causando fricción en los puntos de conexión. Con el tiempo, este desgaste afloja las fijaciones, como clavos y tornillos, comprometiendo la estabilidad estructural. Rammer (2001) explica que estas pequeñas vibraciones inducidas por el viento provocan fatiga en las conexiones, acelerando su deterioro.

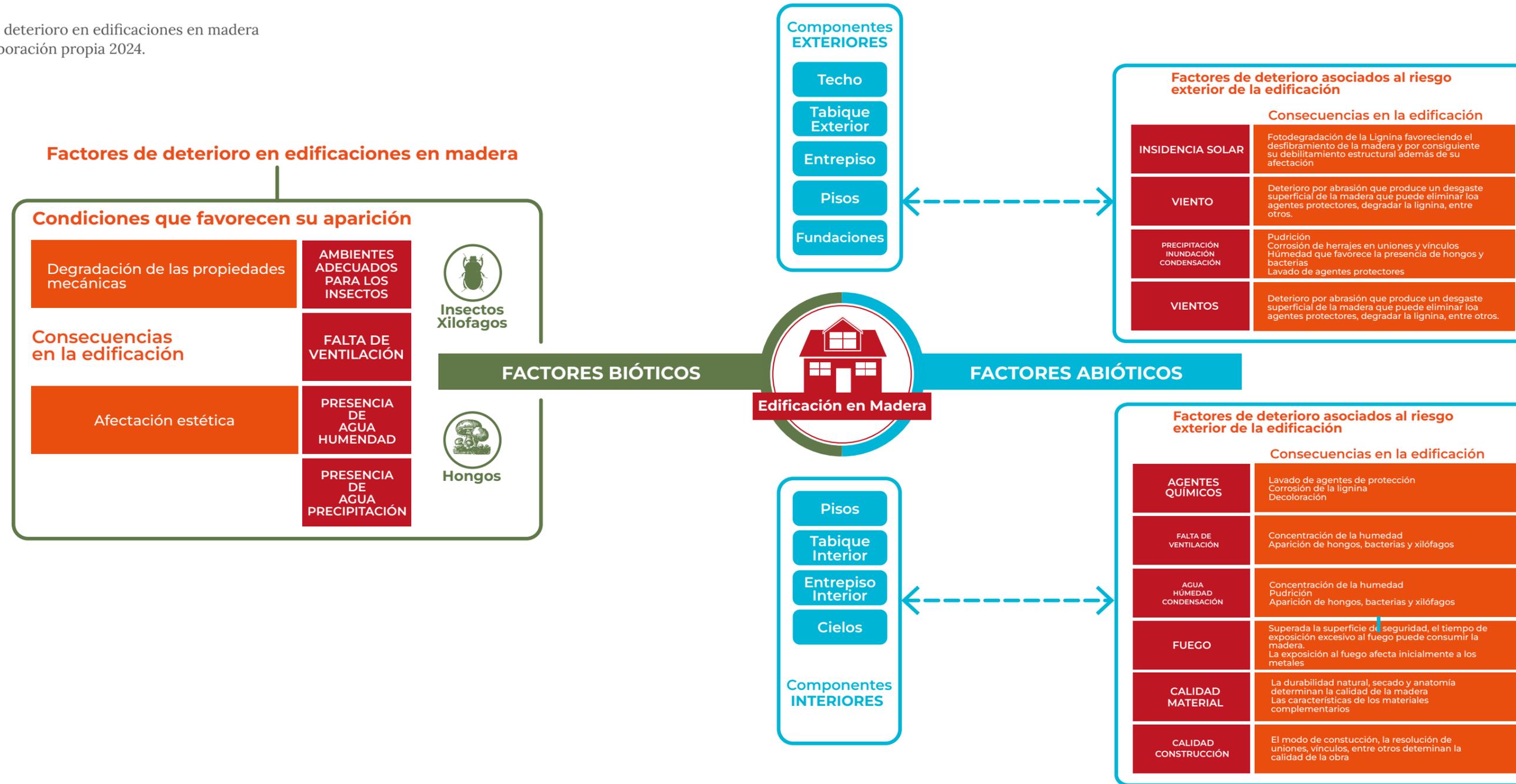
**3. Impacto de partículas:** El viento también transporta partículas que golpean repetidamente las superficies de madera, causando microfisuras y abrasión localizada. Este proceso deja la madera más expuesta a otros agentes de deterioro, como la humedad, que puede filtrarse y acelerar la pudrición. Schmidt et al. (2010) documentan cómo este tipo de desgaste por impacto es especialmente problemático en regiones áridas y costeras.

**4. Desgaste en techos y bordes expuestos:** Las cubiertas de madera, particularmente en sus bordes, sufren desgaste tanto por la succión del viento como por el impacto de partículas. Henderson et al. (2013) señalan que los vientos fuertes pueden generar succión en los bordes de los techos, lo que, junto con la abrasión, puede provocar la pérdida de tejas o paneles.

El desgaste por fricción y abrasión causado por el viento representa un factor significativo en el deterioro de las edificaciones de madera. Este tipo de desgaste, aunque menos visible inicialmente, puede comprometer la integridad estructural y superficial del material a lo largo del tiempo. Mitigar estos efectos requiere una combinación de diseño adecuado, elección de materiales resistentes y mantenimiento regular para preservar la vida útil de las edificaciones en madera. Se recomienda siempre considerar el uso de revestimientos y maderas resistentes a la abrasión, la protección de las áreas expuestas con barreras cortavientos y el mantenimiento frecuente de las conexiones para evitar su aflojamiento por fricción.

En el diagrama de la página 28 se puede observar la relación de los factores de deterioro bióticos y abióticos asociado a los riesgos de los componentes constructivos dependiendo de su ubicación en la edificación:

**Diagrama:**  
Factores de deterioro en edificaciones en madera  
Fuente: Elaboración propia 2024.



# Definición: Protección por Diseño

## Estado del Arte: Protección por diseño en la edificación en madera

La definición del término Protección por Diseño (PPD) y sus condiciones de aplicación han sido muy variadas a lo largo del tiempo.

En el análisis del estado del arte sobre este tema, se han identificado documentos que abordan específicamente el concepto de protección por diseño, así como otros que presentan definiciones similares con variaciones según el país y el contexto.

A pesar de las distintas definiciones asociadas a este tema, el estado del arte refleja un interés común por definir un término y por unificar criterios que garanticen la protección de la edificación en madera frente a los distintos

agentes de deterioro a los que se encuentra expuesta a lo largo de su ciclo de vida.

A continuación, se presenta una línea de tiempo que muestra de manera resumida las distintas definiciones conseguidas en la literatura, asociadas, tanto directa como indirectamente, a la protección por diseño.

**Infografía:**

Línea de tiempo que ilustra las definiciones de conceptos asociados, tanto directa como indirectamente, a la Protección por Diseño, en un contexto internacional.

Fuente: Elaboración propia 2024.



# Definición consensuada de Protección por Diseño

La protección por diseño (PPD) es un conjunto de estrategias de diseño y técnicas constructivas orientadas a garantizar la calidad y durabilidad de las edificaciones.

En el caso de la construcción en madera, la PPD se enfoca en preservar y prolongar la vida útil de la edificación frente a agentes de deterioro tanto bióticos (hongos, insectos y otros) como abióticos (humedad, temperatura, radiación solar, viento, fuego, entre otros).

Considera las condiciones geográficas y climáticas en las etapas de planificación, ejecución y mantenimiento de la edificación, combinando soluciones constructivas que optimizan la resistencia de la madera y previene su deterioro, proveyendo robustez y resiliencia.

La PPD incluye soluciones sostenibles y medidas preventivas a lo largo del ciclo de vida del edificio que aseguran una mayor durabilidad con un impacto ambiental reducido.

## Aspectos determinantes de la definición

1. La PPD es una estrategia integral que busca anticipar y prevenir el deterioro de las edificaciones desde la etapa de diseño. Esto implica prever los factores de riesgo y aplicar soluciones constructivas que protejan la estructura a lo largo de su ciclo de vida.
2. La PPD busca prever y evitar los riesgos tomando en cuenta condiciones climáticas y ubicación geográfica, mediante la selección adecuada de materiales y el diseño de detalles constructivos que garanticen la robustez y durabilidad de la edificación en madera.
3. La PPD también está alineada con prácticas de construcción sostenibles. Busca minimizar el impacto ambiental mediante la implementación de soluciones que no solo sean efectivas en la protección de la madera, sino también respetuosas con el medio ambiente.
4. La PPD no termina con la construcción, sino que también se extiende al mantenimiento de la edificación. Involucra la planificación de un mantenimiento regular que prolongue la vida útil de la edificación, contribuyendo a su resiliencia, reduciendo y facilitando las reparaciones o renovaciones a lo largo del tiempo.
5. La PPD no contempla el uso de tratamientos químicos, pero puede ser complementada con estos cuando los factores de deterioro no puedan ser controlados solo a través del diseño.



# Riesgos ambientales para las edificaciones en madera en la región del Biobío

Conforme lo indica el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), la crisis climática está exacerbando los fenómenos meteorológicos extremos, aumentando la frecuencia e intensidad de eventos como incendios, tormentas y precipitaciones intensas. Estos fenómenos impactan directamente a las construcciones, especialmente aquellas ubicadas en zonas vulnerables, donde la combinación de asentamientos humanos y la calidad de las edificaciones incrementa los riesgos, como ocurre en la región del Biobío en Chile. Las edificaciones en madera, aunque sostenibles y con una baja huella de carbono, enfrentan

desafíos específicos en este nuevo contexto ambiental.

En la región del Biobío, destacan los riesgos asociados a incendios forestales, vientos fuertes y precipitaciones abundantes. Históricamente, la región ha sido afectada por incendios forestales, y los cambios en el régimen de precipitaciones, junto con un aumento de las temperaturas, han extendido la temporada de incendios. La proximidad de áreas pobladas a zonas forestales agrava el riesgo de incendio, lo que plantea desafíos para las edificaciones en madera, que requieren medidas preventivas avanzadas para evitar la propagación del fuego.

Los vientos intensos, especialmente en zonas costeras y de alta elevación, representan otra amenaza significativa. Aunque las edificaciones en madera son flexibles y resistentes a impactos menores, pueden ser vulnerables a daños estructurales graves debido a tormentas más frecuentes e intensas, potenciadas por el cambio climático. Asimismo, el desgaste mecánico causado por la fricción del viento sobre las superficies propicia el deterioro, facilitando la acción de otros agentes.

En cuanto a las precipitaciones intensas, que están aumentando debido a la crisis climática, estas elevan el riesgo de inundaciones en áreas bajas de la región. Esto puede comprometer la estabilidad de las construcciones en madera, especialmente si no se implementan estrategias adecuadas de drenaje y construcción en terrenos propensos a inundaciones. La presencia prolongada de agua en las edificaciones de madera favorece el deterioro por pudrición, la aparición de moho y hongos, así como la proliferación de xilófagos que degradan la madera, comprometiendo su estabilidad y durabilidad.

Estos factores de riesgo adquieren mayor relevancia considerando el crecimiento urbano en la región del Biobío, que se combina con la concentración de la población en áreas vulnerables. La ubicación y densidad de los asentamientos incrementan la exposición de las edificaciones a fenómenos climáticos extremos. Los mapas de riesgo ambiental que se presentan a continuación muestran cómo las amenazas de incendios, vientos fuertes, precipitaciones e inundaciones afectan de manera más severa a los sectores más poblados, lo que refuerza la necesidad de un planeamiento urbano consciente de los riesgos climáticos y de estrategias de construcción resilientes, especialmente en edificaciones de madera.

En conclusión, la combinación de estos factores en un contexto de crisis climática requiere una visión integrada del riesgo y una planificación estratégica que priorice la resiliencia de las construcciones en madera, haciéndolas más robustas y resistentes. Los mapas de riesgo que se incluyen en este estudio ofrecen una herramienta esencial para identificar las áreas más vulnerables y apoyar la toma de decisiones informadas sobre el futuro de la construcción en la región del Biobío

El año 2023 fue el año más cálido en Chile desde 1961, según lo indica el reporte anual de la evolución del clima en Chile, elaborado por la dirección meteorológica de Chile (D.N.M., 2023). Entre los eventos climáticos del año 2023 destaca la elevada temperatura registrada en la ciudad de Concepción, en donde durante el mes de febrero se registraron 34°C de temperatura. De igual manera en la región del Biobío se registraron, en el mes de julio, lluvias cálidas conducentes a inundaciones.

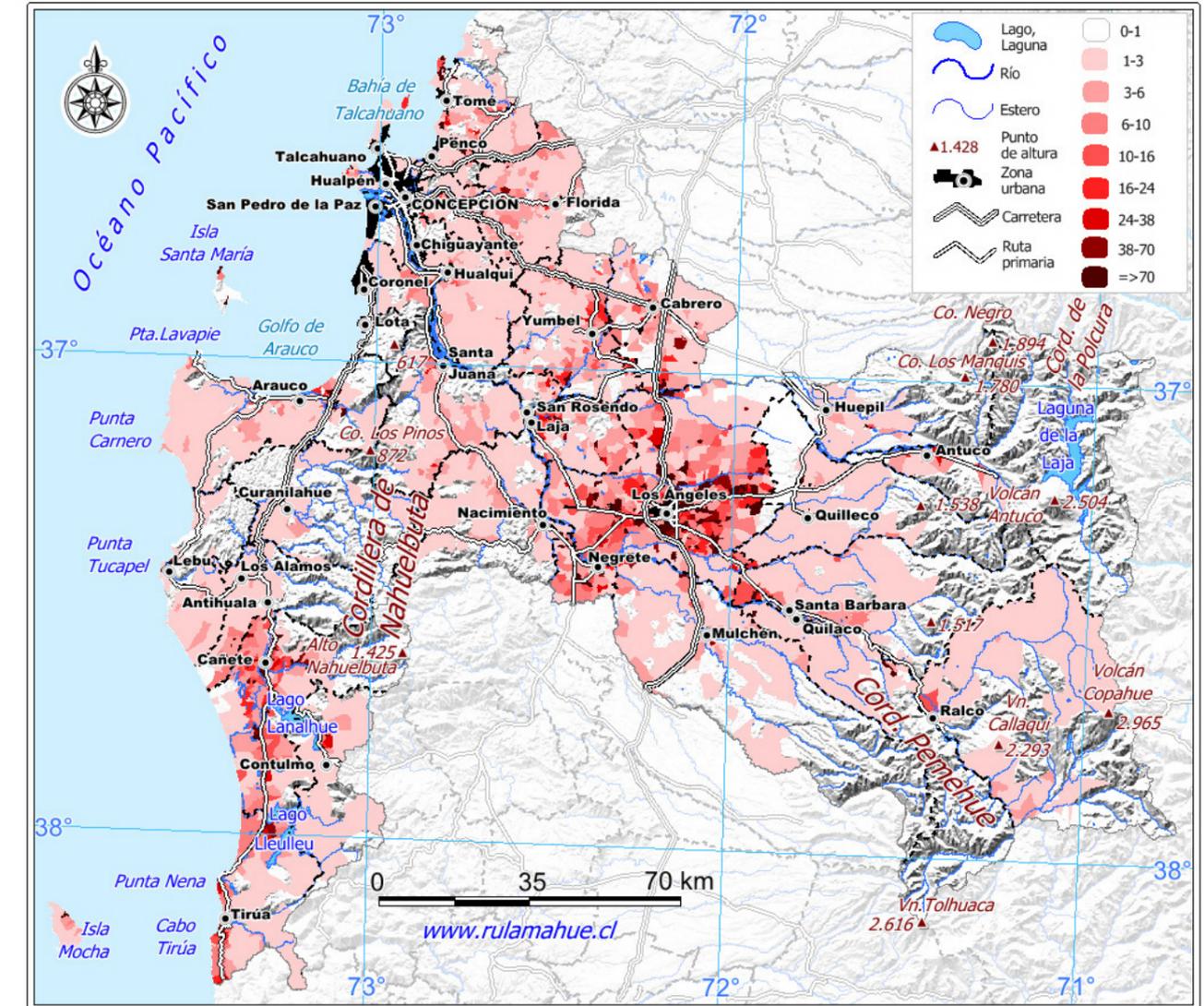
En un contexto de cambio climático en el que las condiciones de lluvia, temperatura, viento y radiación solar se extremas, es relevante proteger las edificaciones a través del diseño.

Los riesgos se incrementan en función de la cantidad de población. Es así como en los llanos y planicies de la región del Biobío, en donde existe mayor concentración de la población, estos riesgos aumentan, especialmente en cuanto a incendios e inundaciones (ver mapa 1). El riesgo de incendio se incrementa por la facilidad de propagación y el riesgo por inundación se incrementa debido a la ubicación de asentamientos urbanos en zonas potencialmente inundables, por la impermeabilización de suelos y por la modificación de cauces de ríos realizada comúnmente en los desarrollos urbanos.

A continuación se muestra la prevalencia de riesgos ambientales en la región del Biobío, siendo importante señalar que cuando estos se encuentran presentes para casi todas las localidades, existen algunas con mayor riesgo potencial, lo que determina una mayor condición de vulnerabilidad para las edificaciones en madera y sugiere una atención especial para la determinación de las acciones de protección por diseño a implementar.

De acuerdo a lo anterior, es relevante señalar que en esta sección del documento, solo se muestra la ubicación de los riesgos externos a la edificación, sin considerar los riesgos propios del habitar, ni aquellos asociados a las condiciones constructivas.

## Región del Biobío - Habitantes por km<sup>2</sup>



### Mapa 1

Fuente del mapa base: Rulamahue. (n.d.). Normativa para el diseño y cálculo de estructuras de madera en Chile. Recuperado de <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl08/cl08.html>



# R3

## Riesgos por incendios en la región del Biobío

La región del Biobío tiene una superficie de plantaciones forestales de 631.788 hectáreas y una superficie de bosque nativo de 786.208 hectáreas (INFOR, 2024). La presencia de estos bosques proveen innumerables beneficios. Sin embargo, estos a su vez constituyen elementos de vulnerabilidad ante desastres para este territorio.

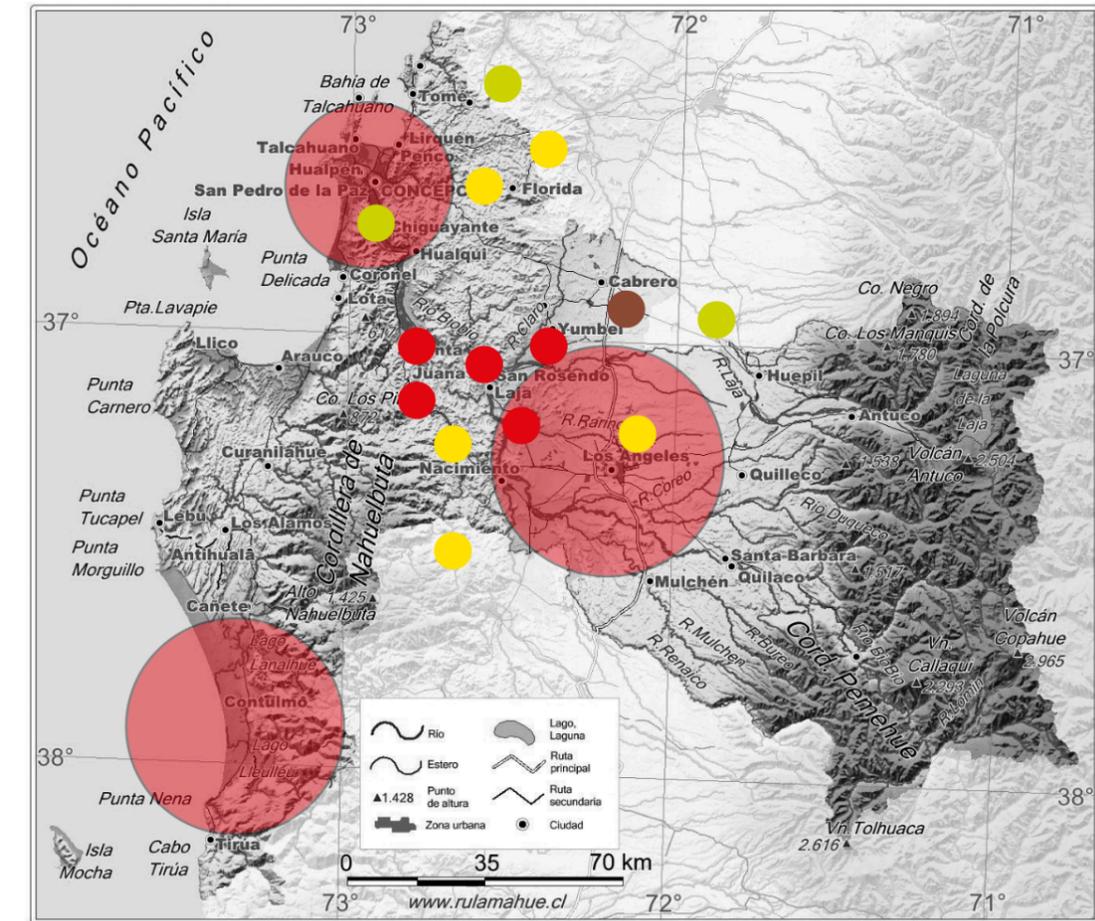
En el mapa 3 se pueden observar las zonas más vulnerables en este sentido y sus correspondientes niveles de riesgo. Toda edificación en madera debe tener consideraciones de diseño para la protección ante incendios y es en las zonas indicadas en el mapa donde estos criterios de protección requieren especial atención.

### Mapa 3

Fuente del mapa base: Rulamahue. (n.d.). Normativa para el diseño y cálculo de estructuras de madera en Chile. Recuperado de <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl08/cl08.html>.

Nota: Mapa intervenido por los autores.

### Región del Biobío



- De moderado a bajo
- Moderado
- Alto
- Muy Alto
- Riesgo alto asociado a la concentración de población

# R4

## Riesgos por vientos en la región del Biobío

La región del Biobío, por sus condiciones geográficas, presenta vientos fuertes en varias zonas. Comunas como Talcahuano, Arauco, Coronel, y Lota suelen experimentar vientos fuertes debido a su ubicación junto al océano Pacífico.

Los vientos costeros pueden ser intensos, algunos sectores están expuestos a frentes de mal tiempo proveniente de los océanos, como ocurre en Lebu y Cañete.

Asimismo ocurre en la cordillera de los Andes, en los pasos montañosos y en las zonas altas. El viento produce la degradación por abrasión,

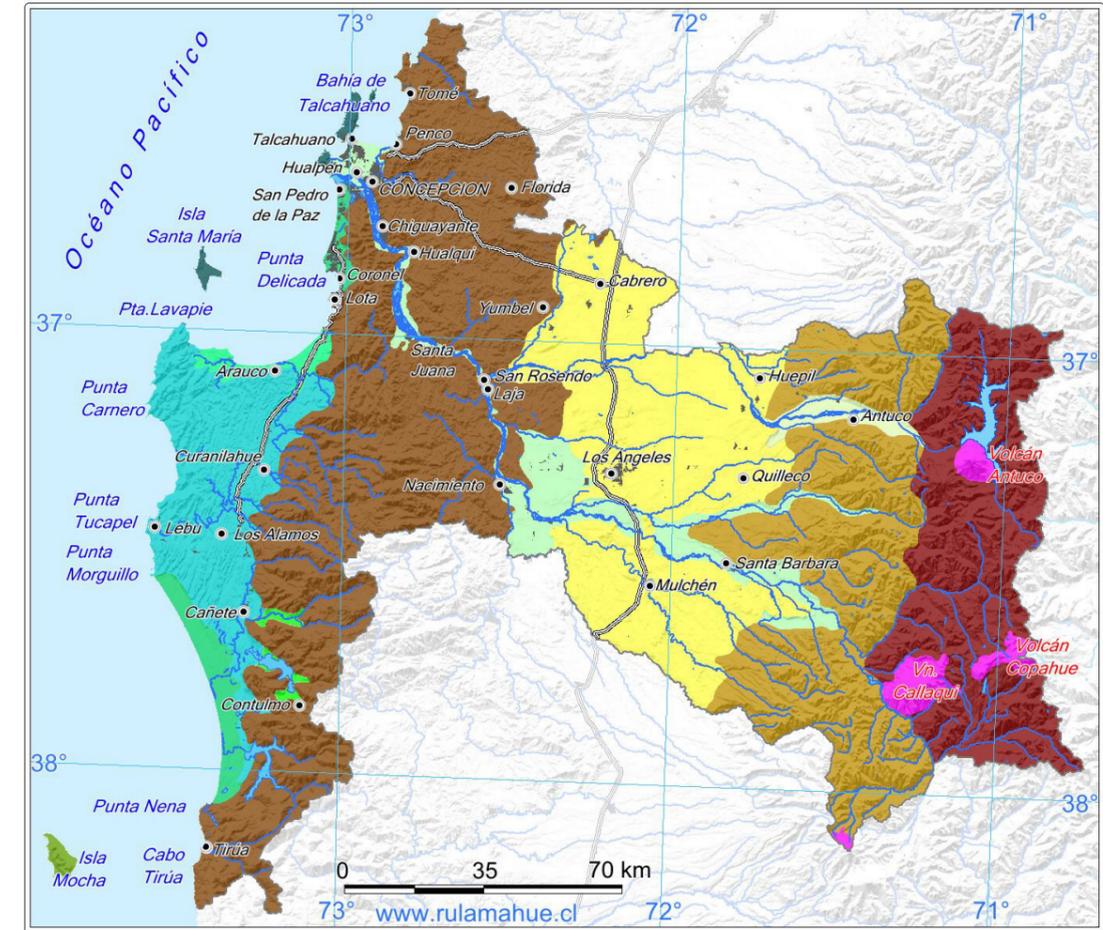
lo que suele deteriorar superficialmente la madera, afectando su estabilidad. Es por ello que, adicionalmente a la consideración del viento como carga dinámica en el diseño estructural, es necesario considerar su incidencia, como agente abrasivo, en el diseño de los componentes expuestos a este, de manera que estos tengan la menor afectación posible y puedan ser sustituidos fácilmente de ser requerido.

### Mapa 4

Fuente del mapa base: Rulamahue. (n.d.). Normativa para el diseño y cálculo de estructuras de madera en Chile. Recuperado de <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl08/cl08.html>.

Nota: Mapa intervenido por los autores.

### Región del Biobío - Unidades geomorfológicas



- |  |                                       |  |   |
|--|---------------------------------------|--|---|
|  | Cordillera de la Costa                |  | Llanos de sedimentación fluvial o aluvional |
|  | Plataforma de abrasión marina         |  | Llano central con morrenas y conos          |
|  | Terrazas marinas                      |  | Cuencas sedimentarias intermontanas         |
|  | Planicie marina o fluvio-marina       |  | Lago  |
|  | Llano central fluvio-glacio-volcánico |  | Río   |
|  | Cordillera andina                     |  | Carretera                                   |
|  | Precordillera andina                  |  | Zona urbana                                 |
|  | Cordillera volcánica activa           |  | Ciudad                                      |

# R5

## Riesgos por radiación solar en la región del Biobío

Si bien Chile en su totalidad tiene riesgos importantes por la exposición a rayos UV, se puede indicar que en la región del Biobío está más al sur que otras regiones, de igual manera presenta riesgos, especialmente en las ciudades de Concepción y Los Ángeles, así como en zonas rurales de la cordillera de Nahuelbuta.

La región del Biobío presenta radiaciones solares de hasta 5200 MJ/m<sup>2</sup> medidos en las estaciones de Concepción y Los Ángeles (CNE et al., 2008). Estos datos son solo referenciales ya que en el escenario actual de cambio

climático estos valores se pueden incrementar. A los fines de determinar el riesgo solar, conocer las sombras topográficas, entre otros, se recomienda revisar la información por localidad en el Explorador Solar del Ministerio de energía de Chile (Ministerio de Energía de Chile, n.d.)

### Mapa 5

Fuente del mapa base: Rulamahue. (n.d.). Normativa para el diseño y cálculo de estructuras de madera en Chile. Recuperado de <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl08/cl08.html>.

Nota: Mapa intervenido por los autores.

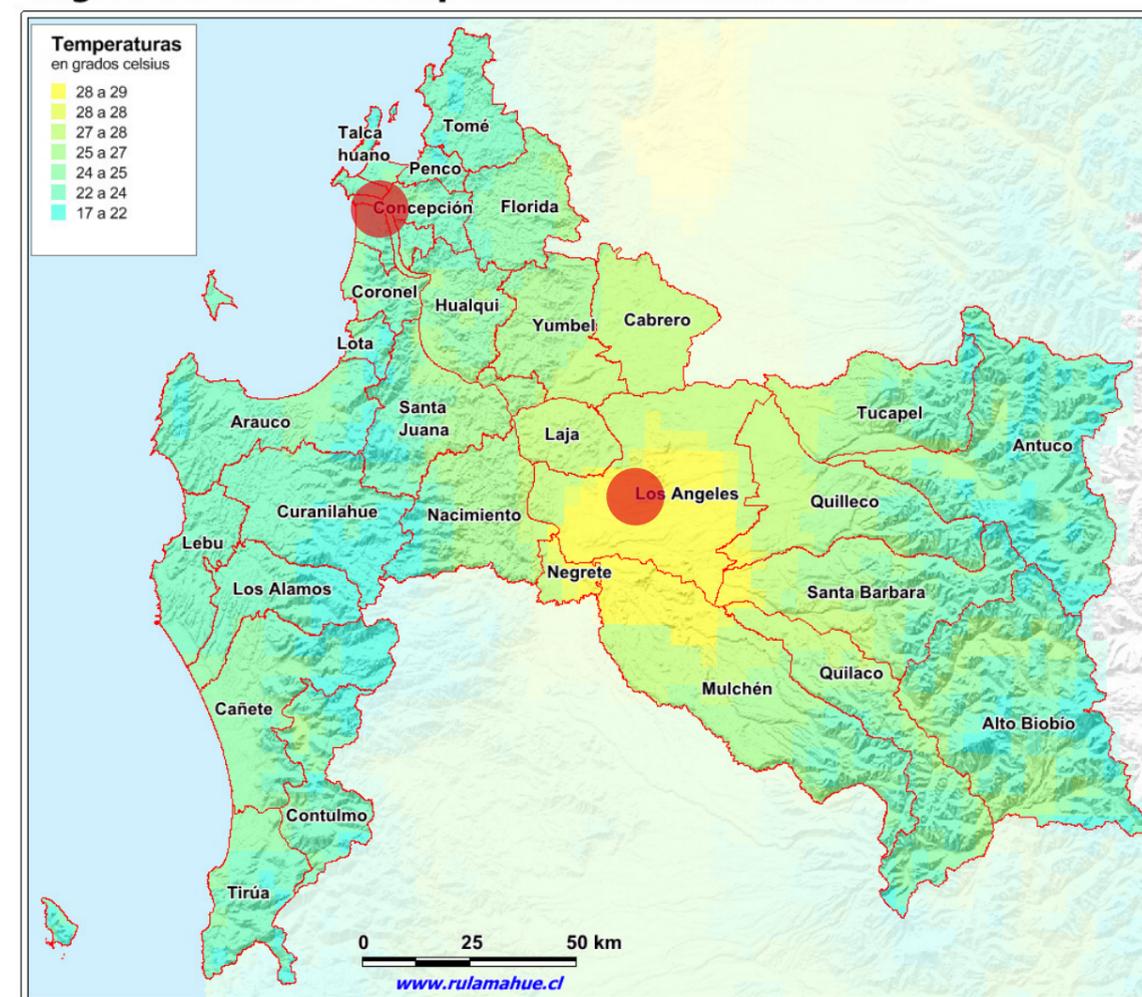
### Tabla 1

Irradiación mensual y anual, en el plano horizontal, para algunas ciudades de la región del Biobío.

Fuente: Comisión Nacional de Energía et al., 2008

Nota: Mapa intervenido por los autores.

## Región del Biobío - Temperaturas máximas en enero



● Estaciones Meteorológicas

VIII Región	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
TALCAHUANO	759,1	519,4	526,9	247,2	216,9	148,6	181,3	290	434,8	563,6	634,4	718,4	5240,6
CONCEPCIÓN	761,8	582,1	510,2	340	214	142,1	186,5	289,7	407,6	572	676	740,8	5422,9
POLCURA	689,1	531,2	467,7	303,8	173,5	129,7	154,6	230,8	358	489,1	599,2	662,4	4789,1
LAGO LAJA	787,5	621,5	553,3	367,3	199,8	156,4	195,1	309,2	473,3	598,5	719,9	744,5	5725,8

# Crterios y ejemplos de Protección por Diseño

La protección por diseño es un enfoque integral en la construcción en madera que busca optimizar la durabilidad, robustez y resiliencia de las edificaciones mediante la implementación de soluciones constructivas específicas. Este enfoque se basa en evitar el deterioro a través de un diseño cuidadoso que minimice la necesidad de tratamientos químicos adicionales.

En este documento se presentan ejemplos de diferentes estrategias de protección por diseño en edificios en madera, como el uso de barreras, revestimientos, y soluciones de ventilación.

Se presentan soluciones como barreras y separaciones que protegen edificaciones de factores climáticos. Se discuten medidas para prevenir infiltraciones de agua y radiación solar, así como estrategias de ventilación para evitar humedad en componentes de madera y el uso de cortagoteras y cortafuegos.

Este acápite muestra ejemplos de cómo la protección por diseño puede prolongar la vida útil de la edificación de madera y mejorar su desempeño en condiciones climáticas adversas.

## 1. Barreras

El uso de barreras es una estrategia fundamental en la protección y el mantenimiento de las edificaciones en madera. Estas pueden clasificarse en diferentes tipos, cada una con funciones específicas que contribuyen a la integridad y durabilidad de un edificio. Para el caso de la protección por diseño, se considera una barrera al elemento que obstaculiza la acción de algún factor de deterioro.

A continuación, se presentan algunas de las barreras más comunes:



#### **1. Revestimiento**

Se considera una barrera, puesto que se encarga de proteger tanto al edificio como a sus ocupantes de las condiciones externas al elemento, como son la radiación solar y el viento, entre otras.

#### **2. Barreras de humedad**

Estos elementos están diseñados para prevenir la infiltración de agua líquida en las edificaciones. Se trata de elementos impermeables que impiden el paso del agua a través de ellos.

#### **3. Barreras de vapor**

Materiales que tienen la capacidad de controlar la migración del vapor de agua a través de ellos.

#### **4. Barreras de fuego o cortafuegos**

Son esenciales para la seguridad de los edificios, ya que limitan la propagación del fuego y protegen las rutas de evacuación. Estas barreras se construyen con materiales resistentes al fuego.

#### **5. Impermeabilizantes**

Elementos o componentes que crean una barrera que impide el paso del agua.

#### **6. Barreras de viento**

Se utilizan para proteger las estructuras de la fuerza del viento, evitar el paso del agua por acción de la presión del viento, y controlar el ruido producido por el viento.

#### **7. Barreras solares**

Son elementos arquitectónicos que impiden que la radiación solar afecte a materiales, elementos del edificio o las personas, regulando u obstaculizando la incidencia solar.

#### **8. Aislamiento térmico**

Materiales que impiden o minimizan la transferencia de temperatura, favoreciendo la conservación del calor dentro de la edificación. Aunque estas barreras están destinadas principalmente al acondicionamiento del edificio, también son cruciales para reducir la condensación.

#### **9. Aislamiento acústico**

Estas barreras están diseñadas para reducir la transmisión de sonido entre espacios y no protegen directamente la madera. Aunque no protegen directamente la madera, pueden ofrecer cierta protección adicional al actuar como una barrera contra otros factores.

# Revestimientos

Los revestimientos desempeñan un papel relevante en la protección de las edificaciones, siendo su función principal prevenir el deterioro de la estructura y los elementos de la fachada.

Los revestimientos preservan la integridad estructural, también mejoran el confort interior y extienden la vida útil de la edificación. De este modo, garantizan un ambiente seguro y agradable para sus ocupantes.

Uso inadecuado  
de material como  
revestimiento  
exterior. ▶



## Encuentro revestimientos

Es importante separar bien la madera para prevenir deformaciones y filtraciones, asegurando la integridad de los revestimientos y la durabilidad de la construcción.



▲ Unión correcta de maderas con separación adecuada.



▲ Unión inadecuada, sin holgura, para la esquina de entablado exterior.



▲ Terminación adecuada de entablado con cortagotera.

◀ Encuentro deficiente de listones en el entablado exterior.



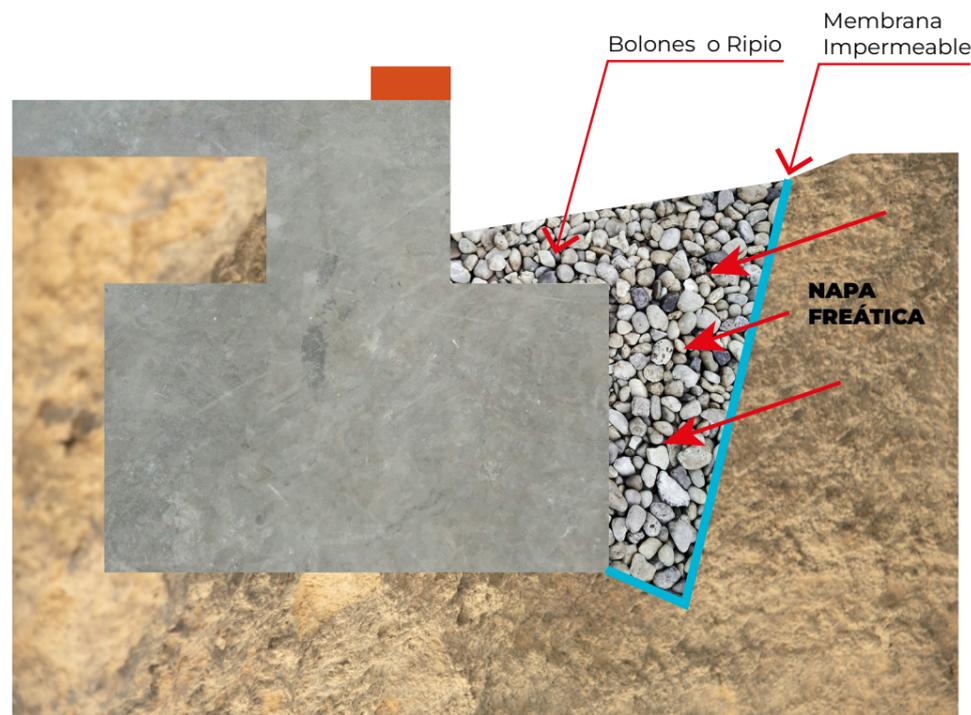
◀ Unión correcta en esquina con separación del entablado y uso de forro metálico.

▶ Encuentro correcto de entablado con holgura entre tablas en la unión de cabezas.



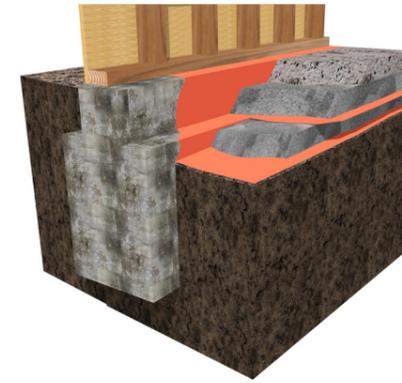
## Barreras de humedad en fundaciones

En el caso de las fundaciones, es crucial evitar que el agua y la humedad del terreno se filtren hacia la fundación y los elementos que se fijan a ella, garantizando así la integridad y durabilidad de la estructura.

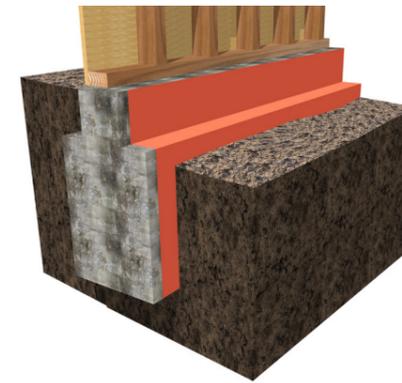


◀ Zona de drenaje correctamente aplicada, previniendo humedad en la cimentación.

Barrera de humedad eficazmente instalada, impidiendo el paso del agua al radier.



Barrera de humedad adecuadamente colocada, evitando humedad en la cimentación.

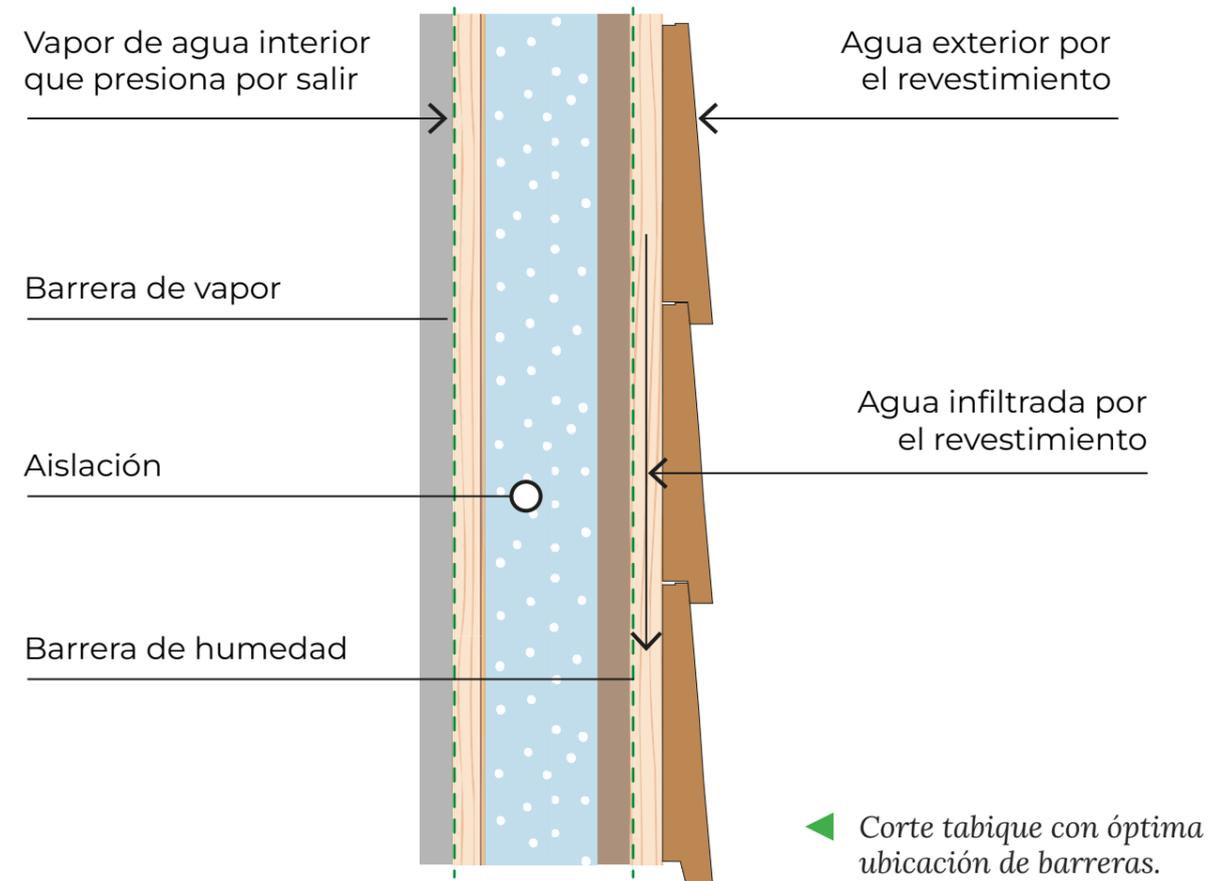


Barrera de humedad apropiadamente utilizada en la unión de la solera con el hormigón ▶



## Barreras de humedad y vapor en tabique

Soluciones típicas para la ubicación de barreras de humedad y de vapor en un tabique. Es importante acotar que la solución óptima para la ubicación de las barreras con la finalidad de evitar la condensación intersticial entre las capas de la solución, dependerá de un riguroso análisis de las condiciones de temperatura y humedad interior y exterior.



▲ Aplicación correcta de barrera de humedad sobre tabique.

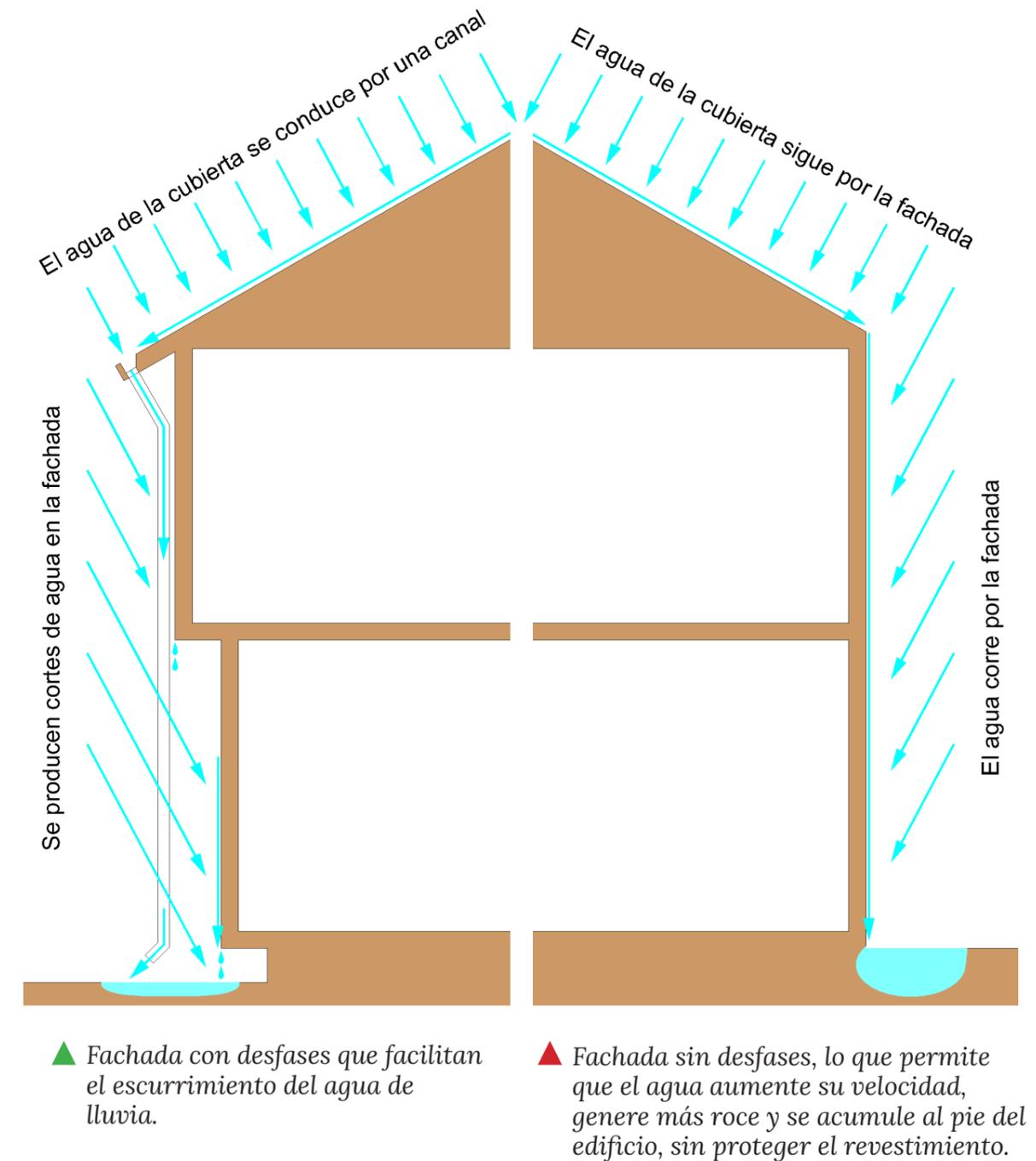
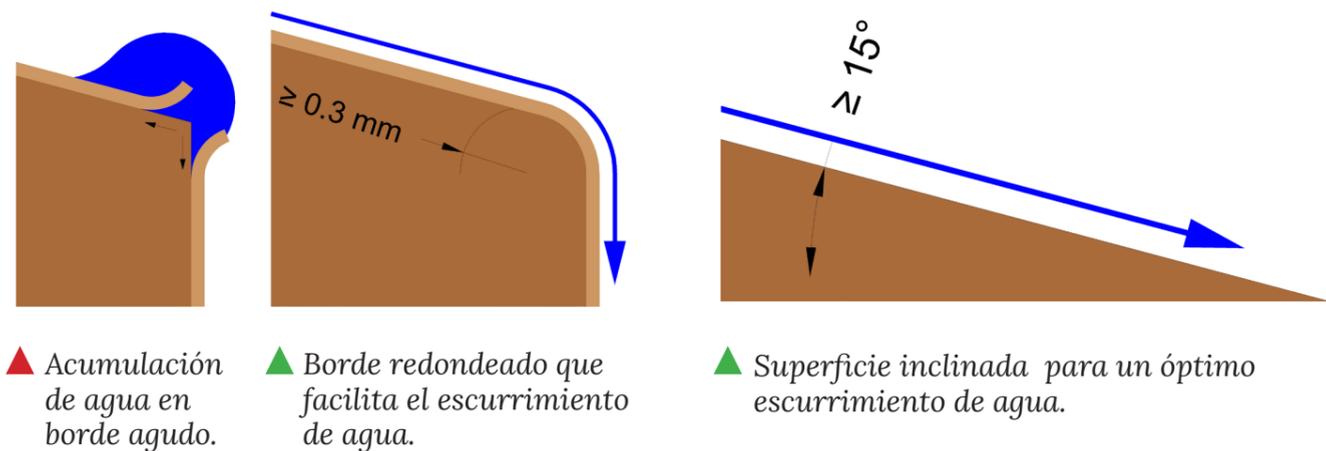
## Escurrimiento de aguas (desplazamiento y cortagoteras)

El escurrimiento adecuado de las aguas es esencial para prevenir problemas de humedad en las edificaciones.

Al garantizar un correcto drenaje, se evitan la acumulación de humedad y la proliferación de hongos, lo que a su vez previene la pudrición y mantiene las superficies secas. Para lograr un escurrimiento efectivo, es fundamental eliminar cualquier obstáculo que impida el flujo del agua. Además, es importante generar

superficies inclinadas que puedan conducir el agua, redondear los vértices para facilitar el desagüe son algunas de las medidas para garantizar la durabilidad de los materiales y la integridad de la edificación.

Por otro lado es importante tomar en cuenta la separación mínima requerida entre elementos para que no se produzca estancamiento del agua por tensión superficial.



## Filtraciones en canales

Uno de los elementos más críticos y de mayor riesgo son las canales de agua lluvia. Se recomienda que estas estén alejadas de los paramentos del edificio y situadas en los extremos del alero. De este modo, en caso de ocurrir alguna filtración, el agua no afectará al resto del edificio y se podrá localizar con facilidad el lugar de reparación. En contraste, si la canal queda oculta, su mantenimiento y reparación será más complejas.

*La canaleta externa evita posibles filtraciones dañen otros elementos.*



*Canaletas ocultas que dañan otros elementos al producirse filtraciones.*





▲ Soluciones eficaces para el escurrimiento del agua de lluvia desde la cubierta.



▶ Canaletas que asegura una adecuada evacuación del agua en el desfase de la cubierta.

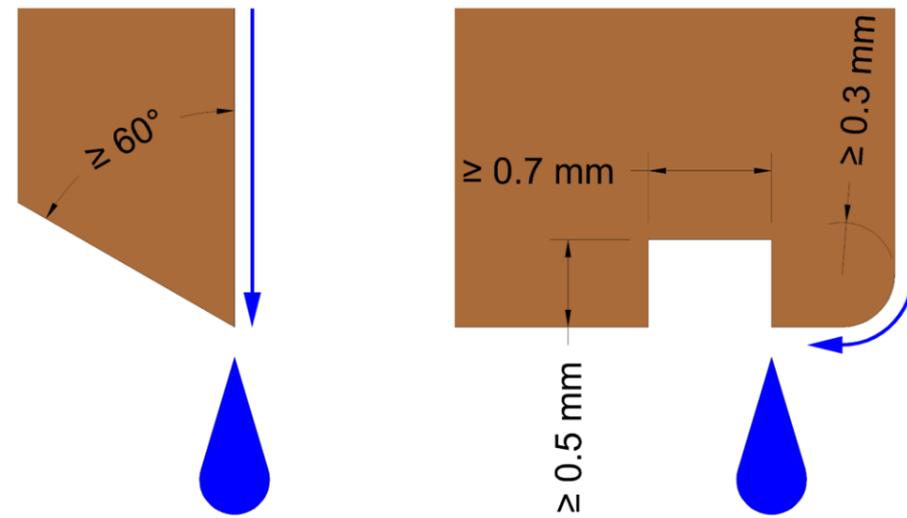


## Cortagoteras

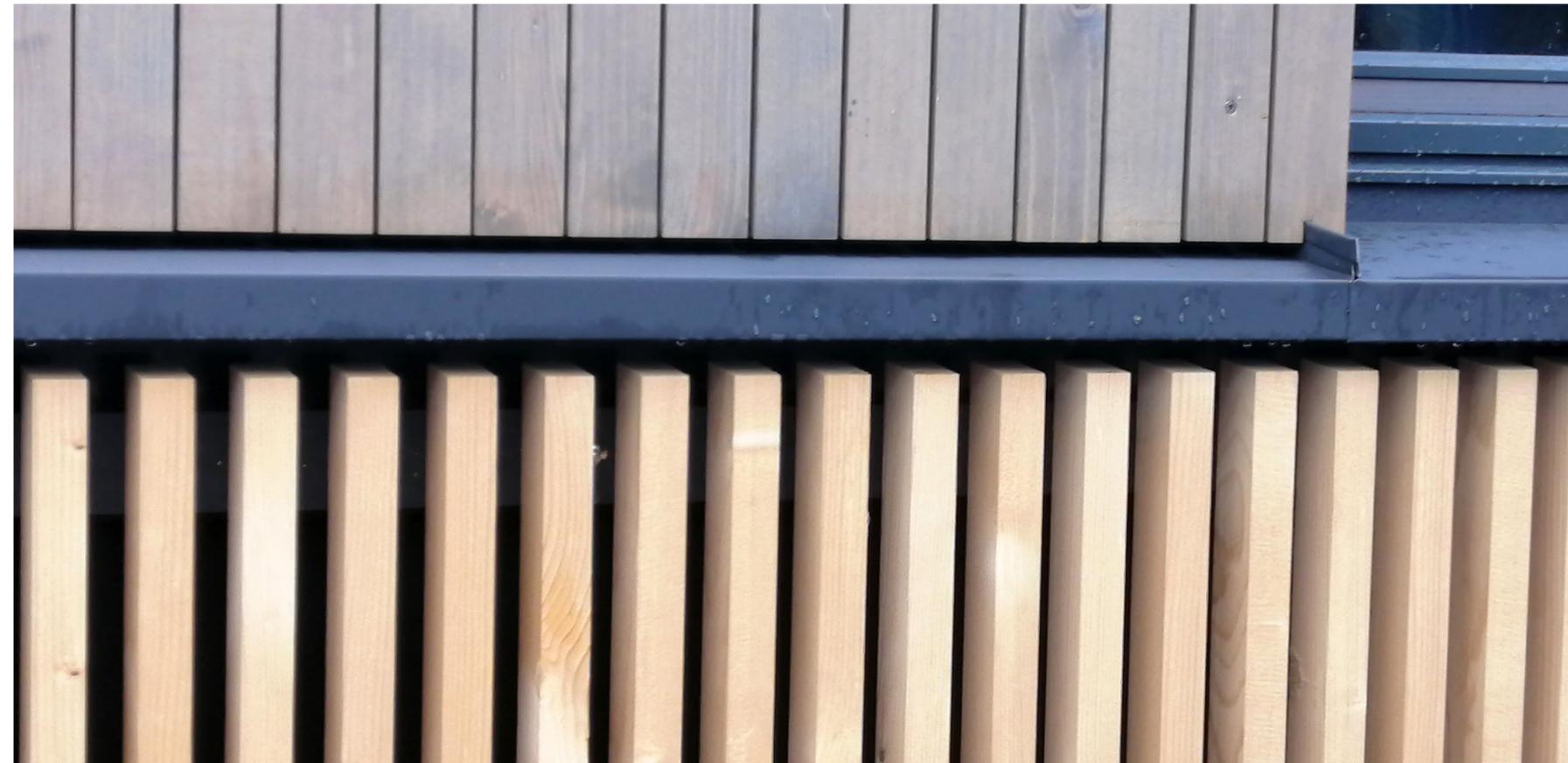
La implementación de cortagoteras es una medida efectiva para redirigir el agua de lluvia y de otras fuentes, protegiendo así las superficies de posibles daños.

Estos elementos actúan como defensas que cortan el escurrimiento del agua lejos de las superficies críticas, permitiendo que el agua fluya de manera controlada, minimizando el riesgo de filtraciones y daños.

Dos aplicaciones correctas de cortagoteras metálicas. ▶



▶ Dos formas correctas de cortagoteras.

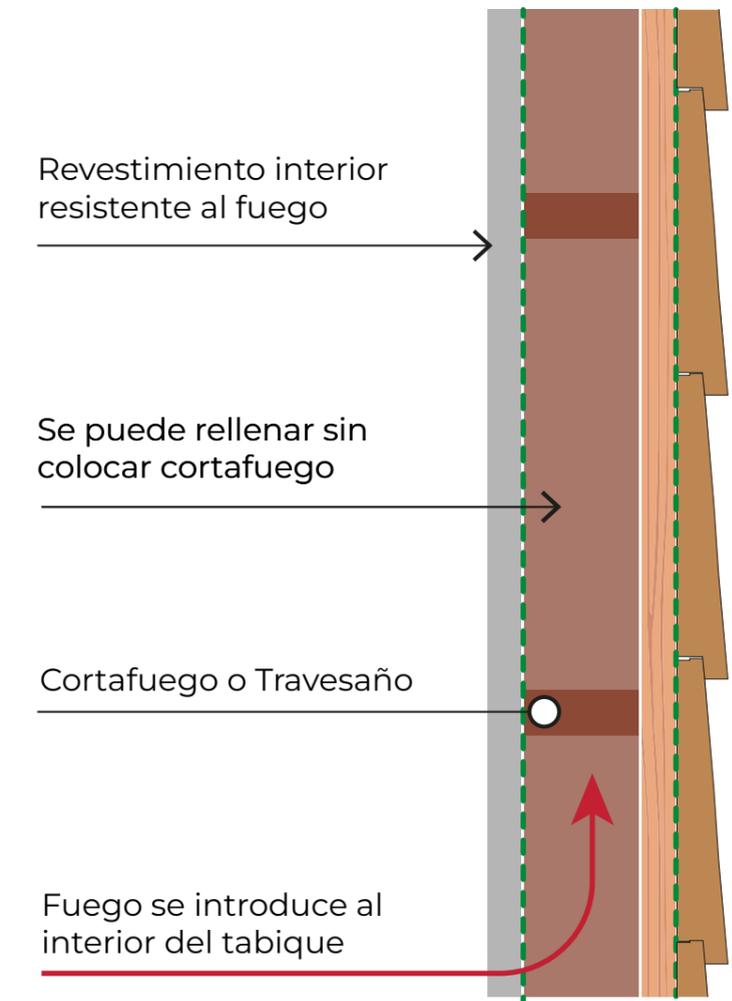


## Cortafuegos

Las cadenas pueden desempeñar su función como cortafuegos; sin embargo, su principal función radica en limitar el pandeo de los pies derecho, lo cual no es necesario cuando se utiliza un tablero estructural.

Al emplear una placa, un enfoque alternativo para prevenir la propagación del fuego consiste en llenar completamente las cavidades de los paneles con material aislante.

Transversales que actúan como cortafuegos. ▶



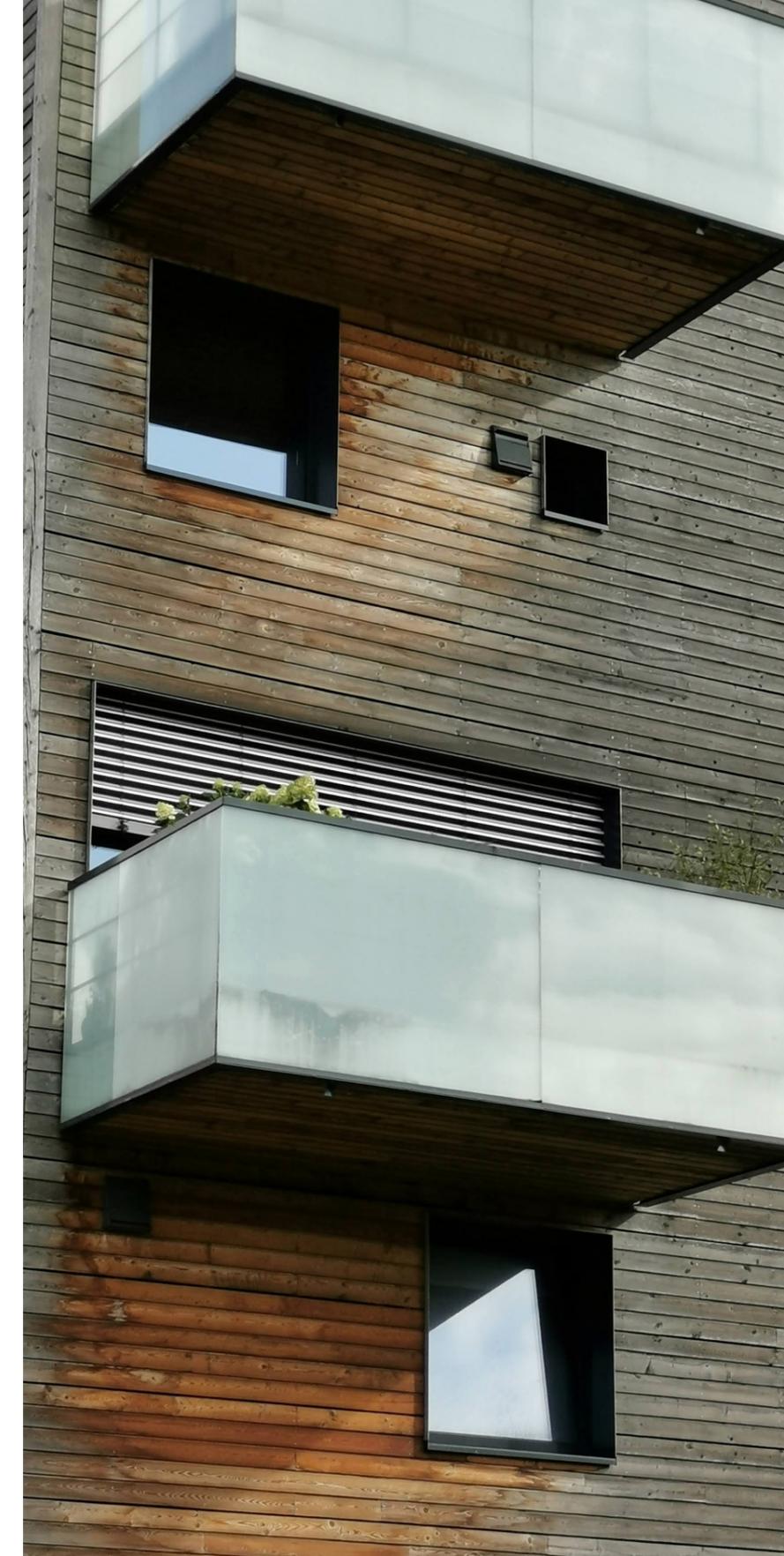
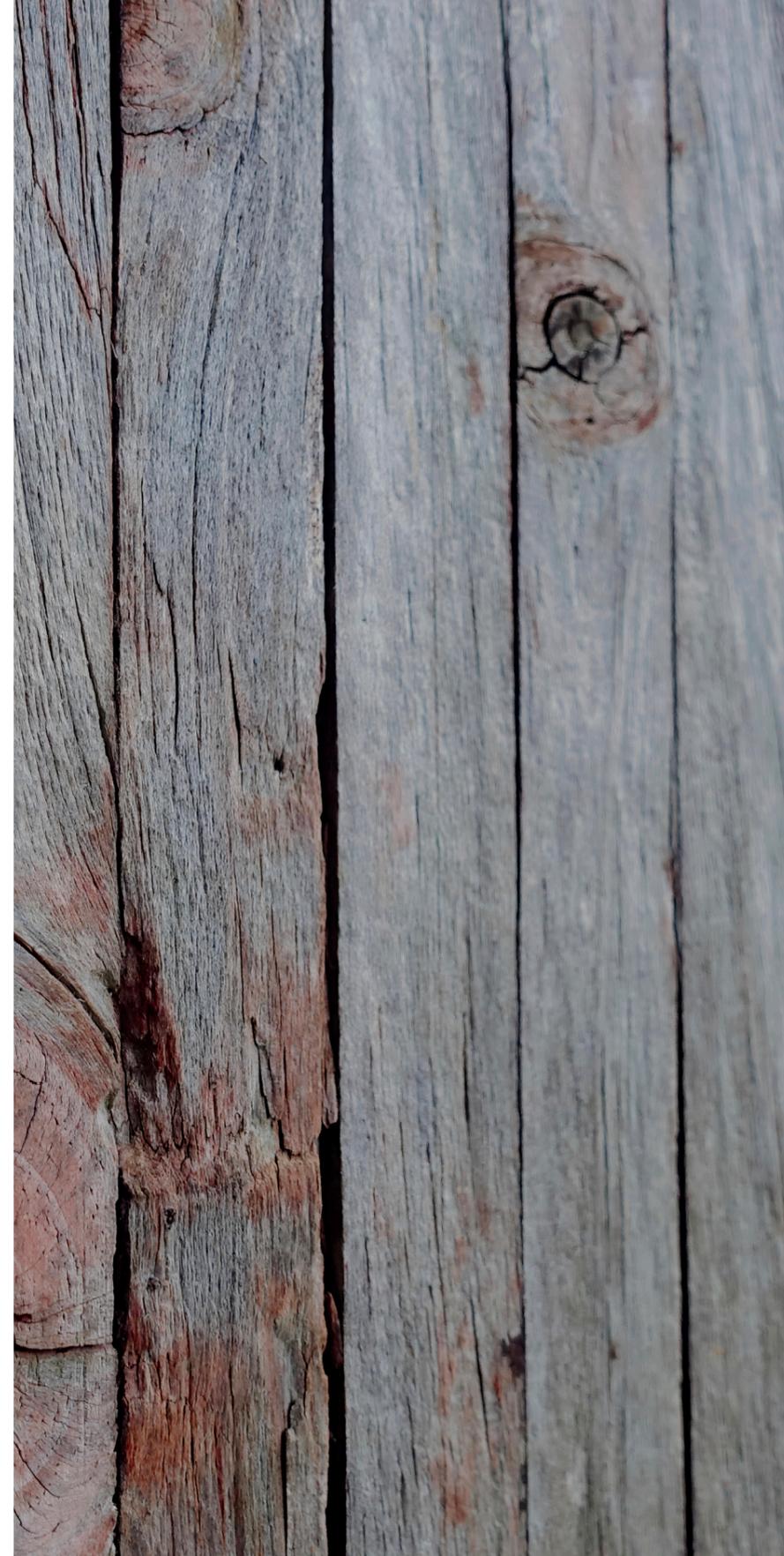
▲ Esquema de actuación de cortafuegos

## Radiación Solar

La radiación solar, cuando es excesiva, provoca deterioro de los materiales, especialmente en la madera, así como sobrecalentamiento de las superficies y deformaciones debido a temperaturas excesivas y diferencia de está entre sus caras.

Para proteger la construcción del sol, especialmente en verano, es fundamental evitar la exposición directa mediante componentes como los aleros, parasoles o quiebrasoles.

*La radiación solar directa ▶  
dañan la madera del  
revestimiento.*





▲ Maderas expuestas directamente a la radiación solar se deterioran.

▶ Las cabezas de las vigas quedan expuestas a la radiación solar.



▶ El alerón protege la fachada de la radiación solar directa.



## 2. Separación

Una estrategia que se utiliza para evitar el deterioro prematuro del edificio es a través de separaciones de elementos que permiten acciones como: la ventilación, el escurrimiento y evacuación del agua y el traspaso de humedad.

### Ventilación

La ventilación adecuada de espacios y elementos previene la acumulación de humedad y la aparición de hongos.

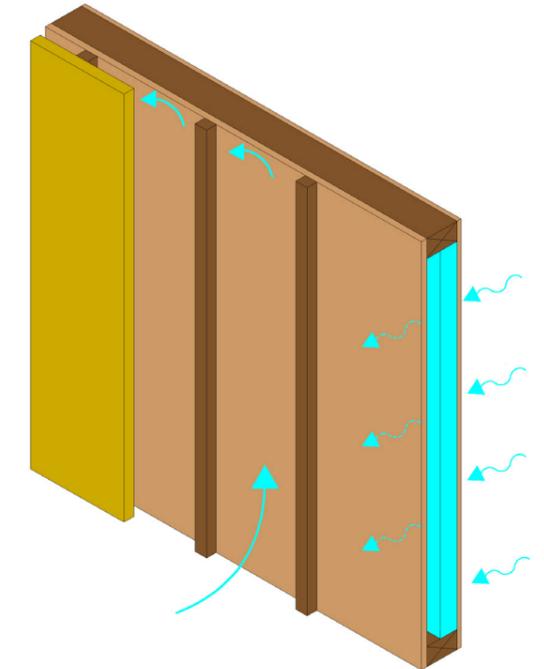
Es fundamental controlar la temperatura, la humedad, la radiación solar y los ataques biológicos para prevenir la degradación de los materiales, por lo que la adecuada ventilación de espacios y elementos es esencial para evitar la acumulación de humedad y, por ende, la proliferación de hongos, especialmente en áreas cerradas como pisos y techumbres, lo que también contribuye a la deshumidificación

de la madera. Es por ello que, se recomienda mantener los elementos separados, dejando una holgura de al menos un centímetro entre ellos, particularmente en el caso de la madera, para facilitar un adecuado escurrimiento del agua. Esto se debe a que, con menos de 7 mm, la gota se adhiere por tensión superficial y no logra escurrir. De esta manera se garantiza que las superficies, especialmente las maderas en contacto con áreas húmedas, se mantengan secas.

### Tabique ventilado

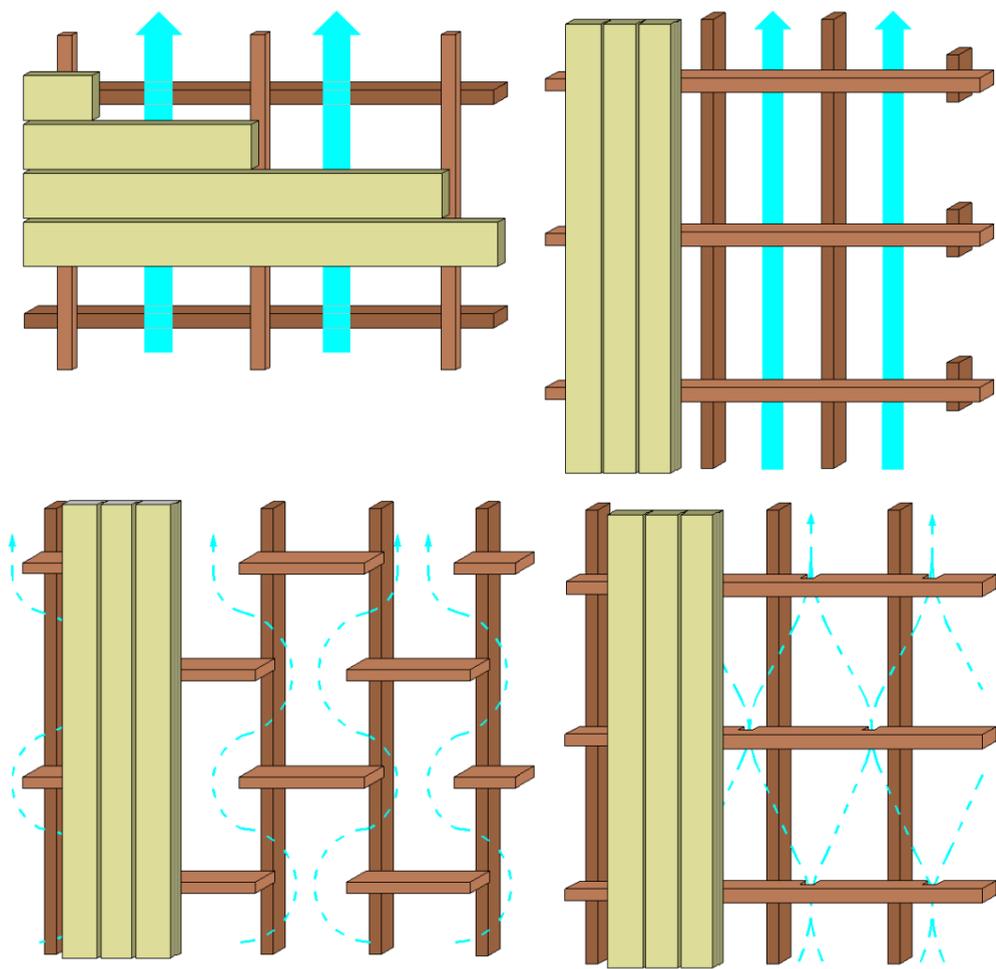
La implementación de tabiques ventilados es una estrategia eficaz para promover la circulación de aire entre sus componentes.

Este diseño busca mantener el revestimiento seco al separar el revestimiento de su base, lo que genera un flujo de aire ascendente. Este flujo de aire no solo ayuda a mantener el agua líquida en su lugar, sino que también permite que el aire absorba humedad, evitando problemas de condensación. Además, la ventilación en tabiques contribuye a mejorar el aislamiento térmico al crear una capa adicional que actúa como barrera.

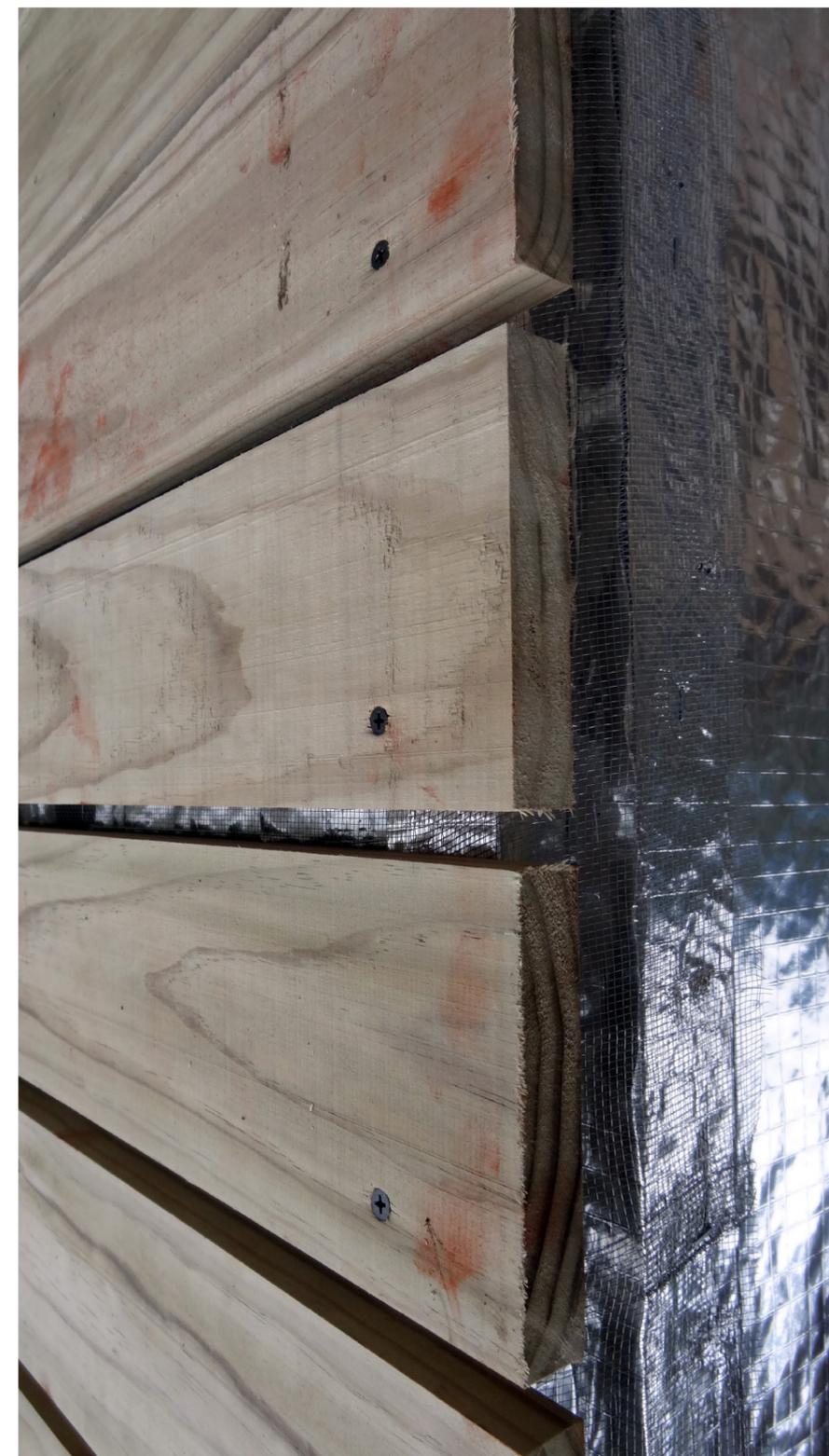


▲ Esquema de ventilación de tabique ventilado.

Soluciones de colocación  
de separadores y  
revestimiento en tabique  
ventilado



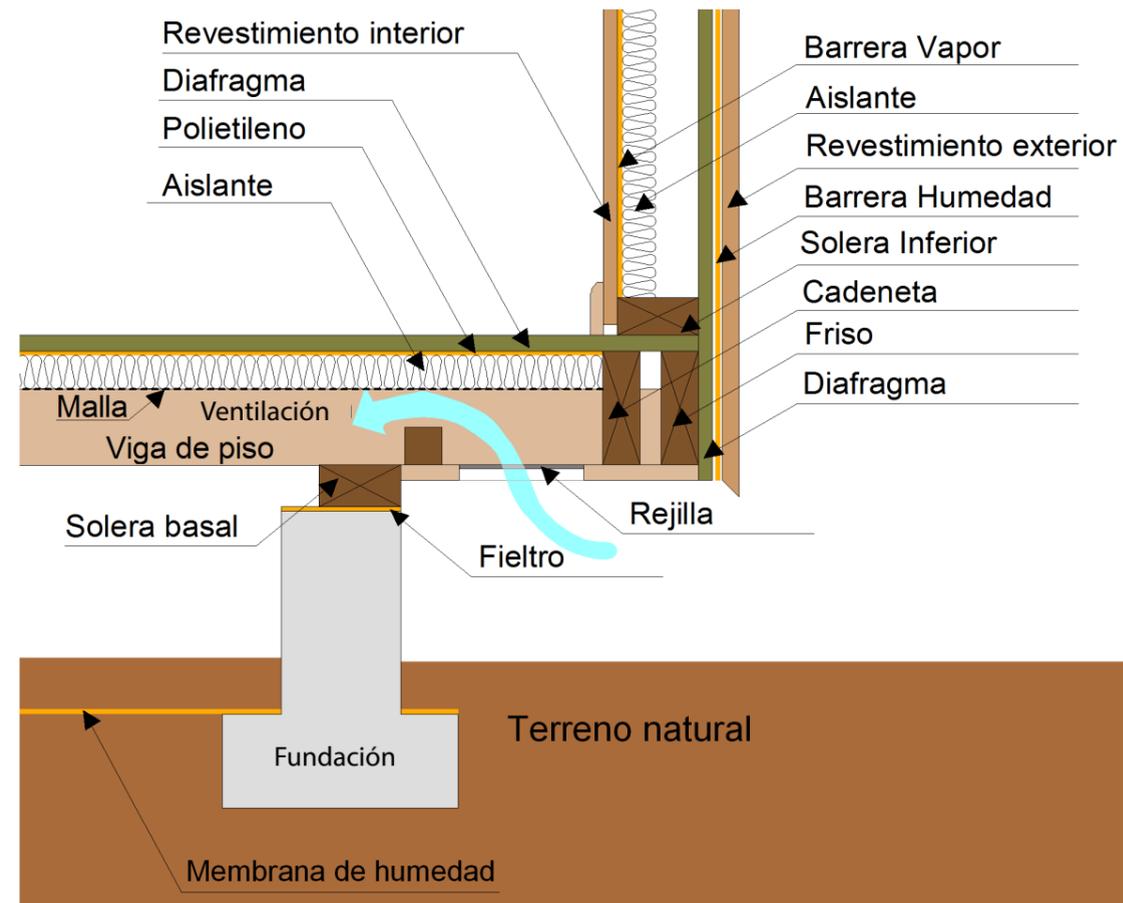
▲ Estrategias para garantizar el flujo de aire en tabiques ventilados.



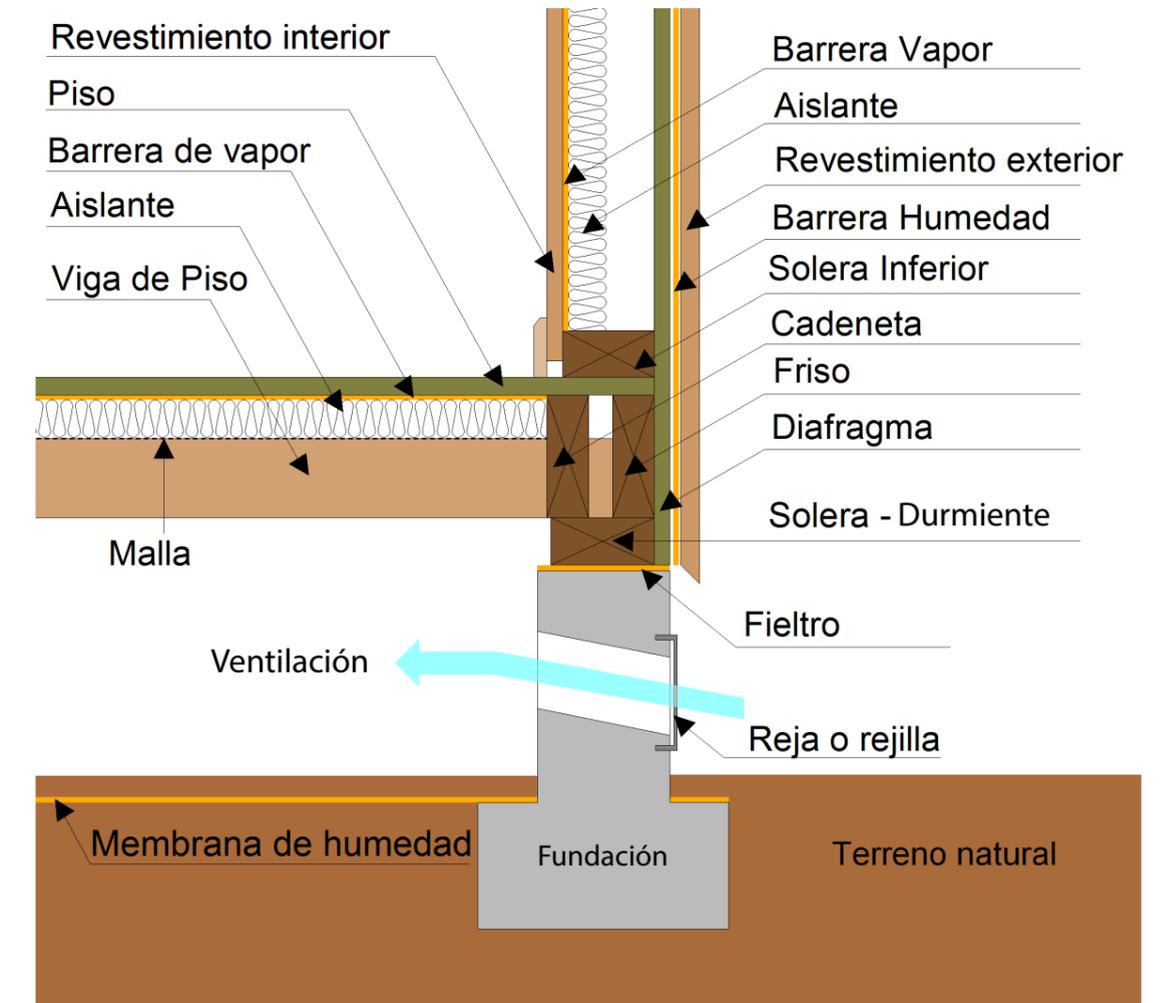
## Ventilación de pisos

La ventilación adecuada de los pisos es crucial para prevenir la acumulación de humedad. Esta práctica, frecuentemente empleada, minimiza el incremento de la humedad entre el terreno y el componente del piso.

Es recomendable establecer aberturas en las fachadas opuestas del edificio, lo que facilita la circulación del aire y contribuye a mantener un ambiente interior saludable y seco.



▲ Adecuada solución de ventilación para pisos de entramado en voladizo.



▲ Adecuada solución de piso ventilado con fundación corrida.

## Ventilación en Pilares



Para garantizar que los pilares exteriores estén debidamente protegidos contra la humedad, se recomienda separarlos de la base mediante el uso de anclajes.

Esta separación no sólo impide la absorción de humedad desde la base, sino que también contribuye a la estabilidad estructural y prolonga la vida útil de los pilares, evitando daños que puedan comprometer la integridad de la edificación.

◀ Solución óptima de apoyo ventilado de pilar que evita superficies horizontales que se pueda acumular agua o polvo. ▶





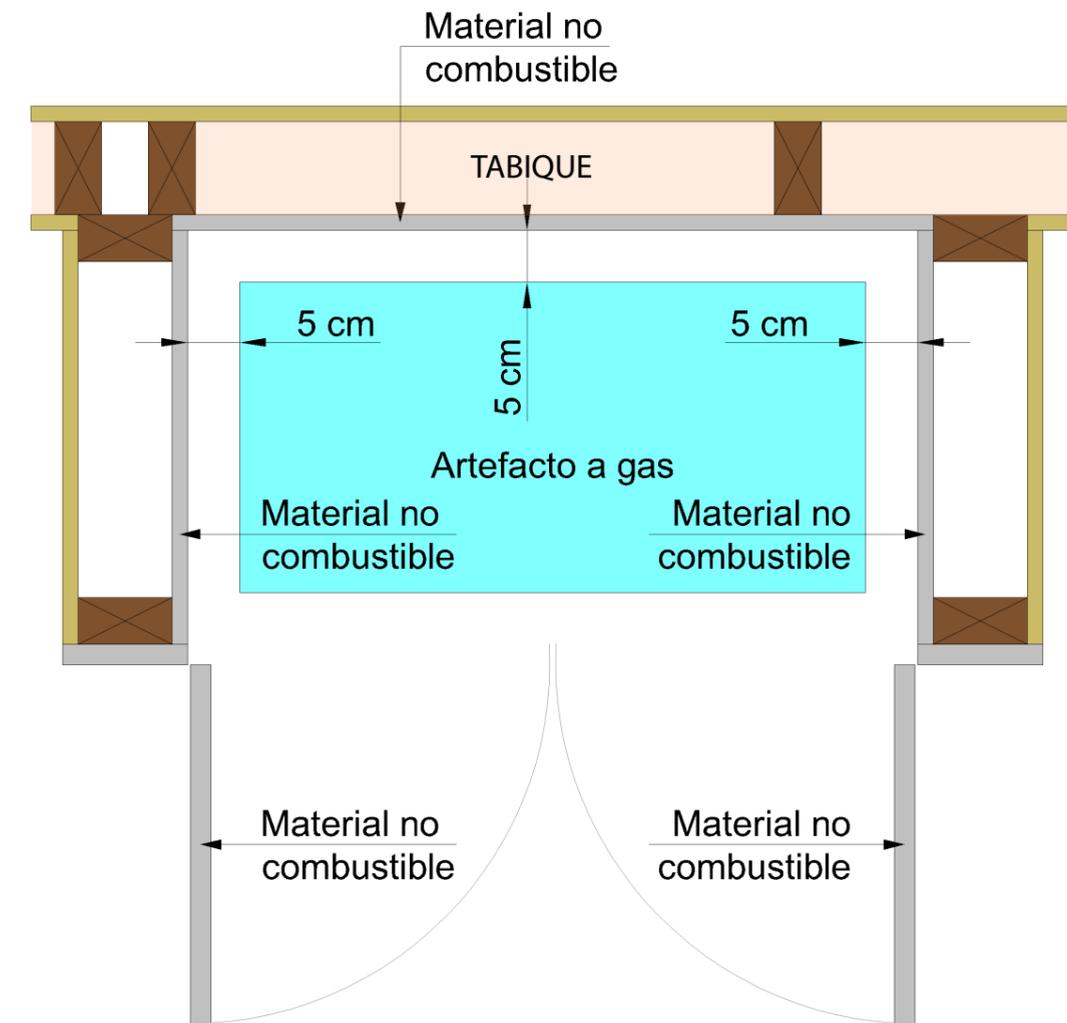
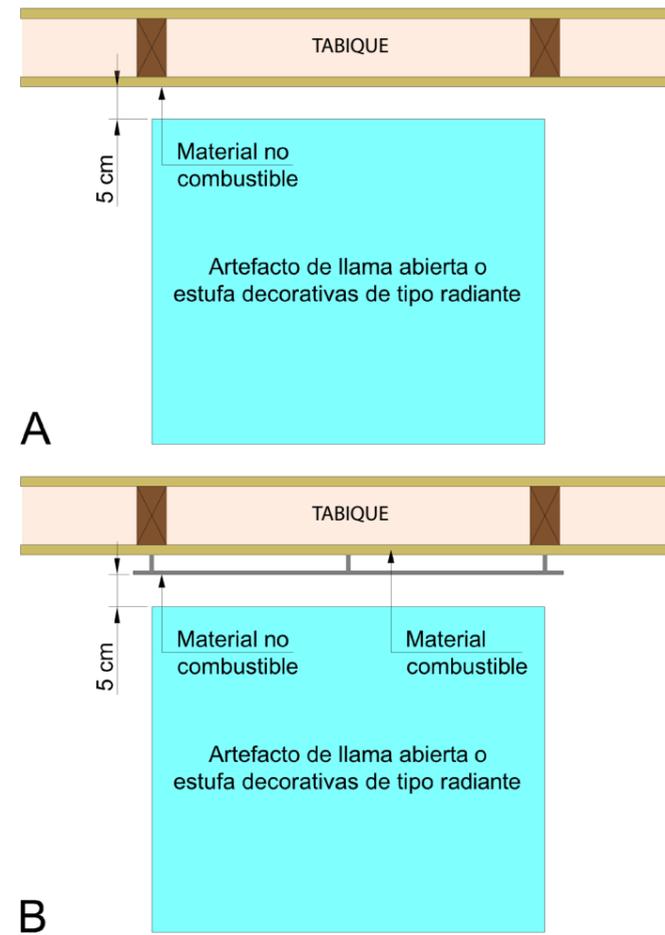
◀ Solución inadecuada al dejar superficies horizontales y uniones entre materiales donde se acumula el agua y polvo.

Solución de apoyo de pilar con desfase, que impide que el agua llegue a la unión del pilar con la fundación y permite su ventilación. ▶



## Separación de elementos de riesgo

Mantener una distancia adecuada entre materiales inflamables y fuentes de ignición, como equipos eléctricos y sistemas de calefacción, así como entre diferentes áreas de riesgo, es una estrategia clave para prevenir incendios.

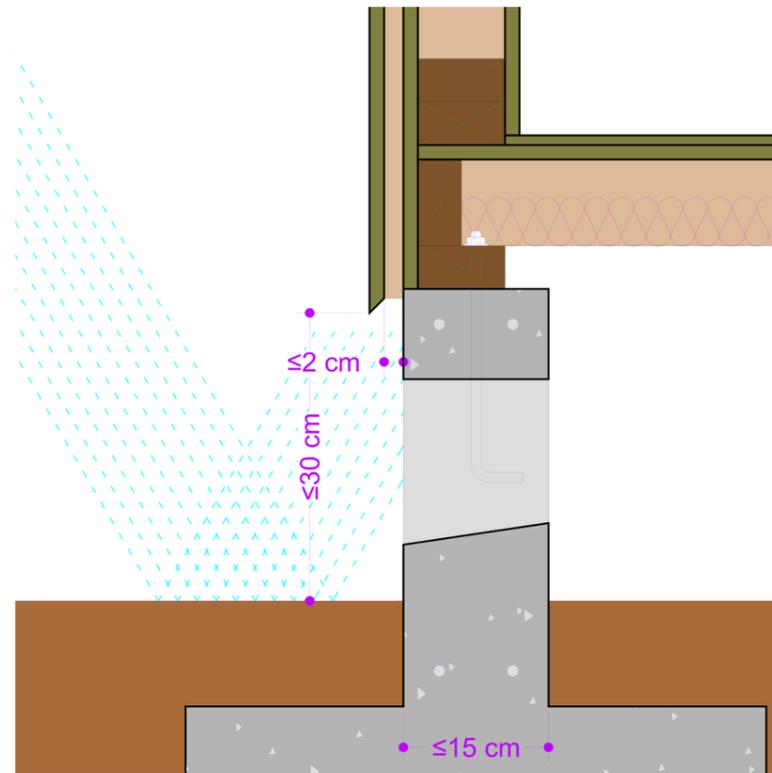


## Separación del terreno

Mantener una separación adecuada entre la estructura y el terreno es esencial para proteger el revestimiento de los efectos adversos del entorno. El rebote de la lluvia puede mojar el revestimiento, humedeciéndolo en un corto plazo. Si el revestimiento se seca rápidamente, el riesgo de deterioro se minimiza. Por el contrario, si el agua permanece, se favorece la aparición de hongos y mohos que pueden provocar la pudrición del material.

Esta separación no solo ofrece protección contra la humedad, sino que también actúa como una barrera contra incendios forestales, ya que es en esta zona donde tienden a acumularse las pavesas y también contra las termitas.

La acumulación de agua ►  
pudre el revestimiento.



▲ Separación adecuada para evitar la humedad del revestimiento.

El rebote del agua lluvia ►  
y regadío mantiene  
humedad y suciedad en el  
revestimiento facilitando  
su pudrición.



# 3. Sobredimensionamiento

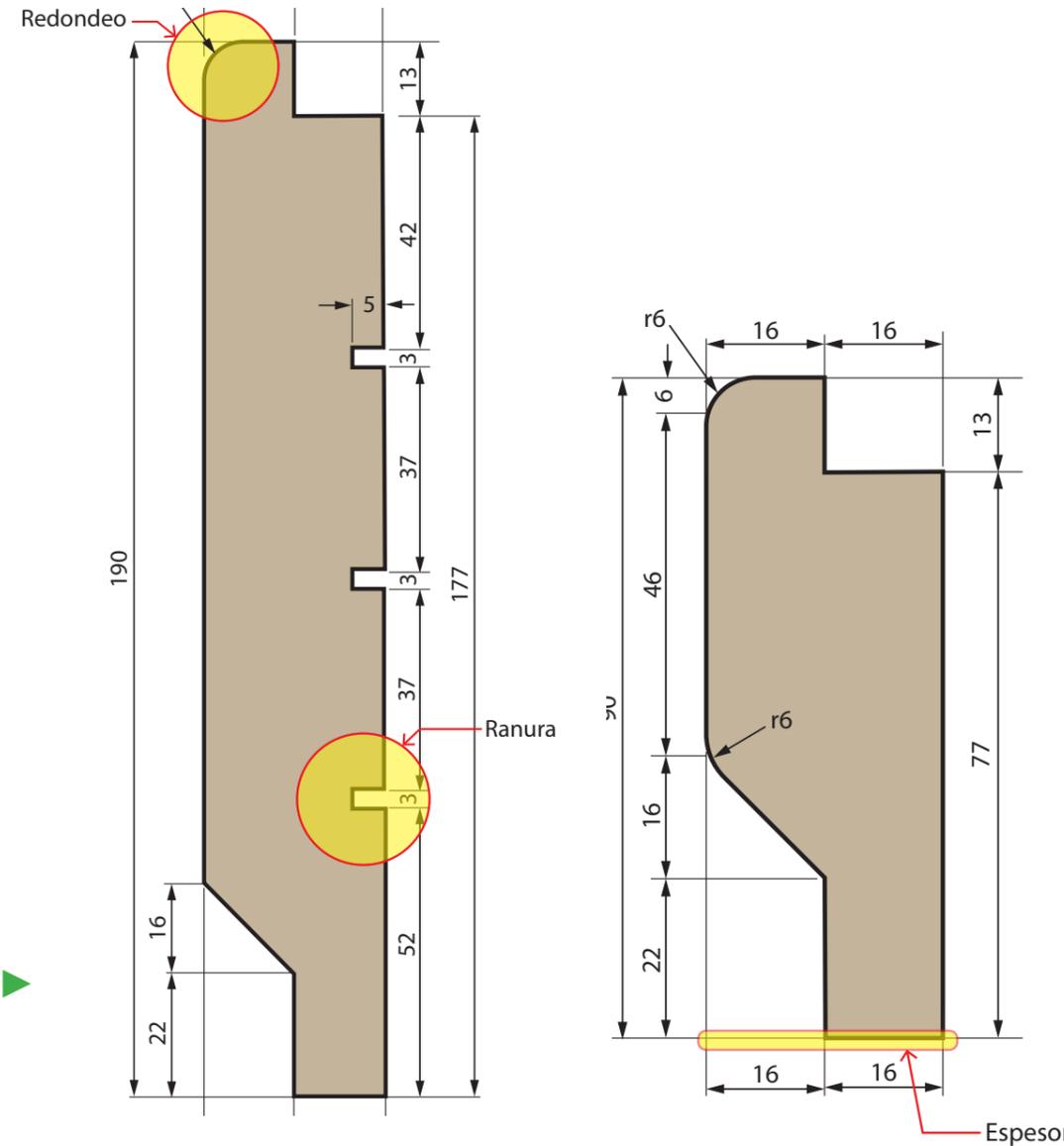
Aplicación del ejemplo del entablado. ►

Esta estrategia consiste en aumentar la cantidad de material del elemento a usar, para que se pueda sacrificar la zona excedente sin comprometer la integridad del elemento y del edificio.

## De revestimiento

Usar madera con buen espesor ayuda a reducir deformaciones, evitar rayaduras en los revestimientos, reducir filtraciones de agua y viento, y mejorar la resistencia mecánica. De esta manera se optimiza la efectividad y durabilidad del revestimiento, asegurando una protección más robusta para la edificación.

Ejemplos de perfiles de revestimiento exterior en madera con superficie espesa para garantizar su durabilidad. Su geometría asegura el escurrimiento del agua. Se observa el uso de ranuras posteriores para evitar deformaciones y garantizar la estabilidad dimensional del revestimiento.



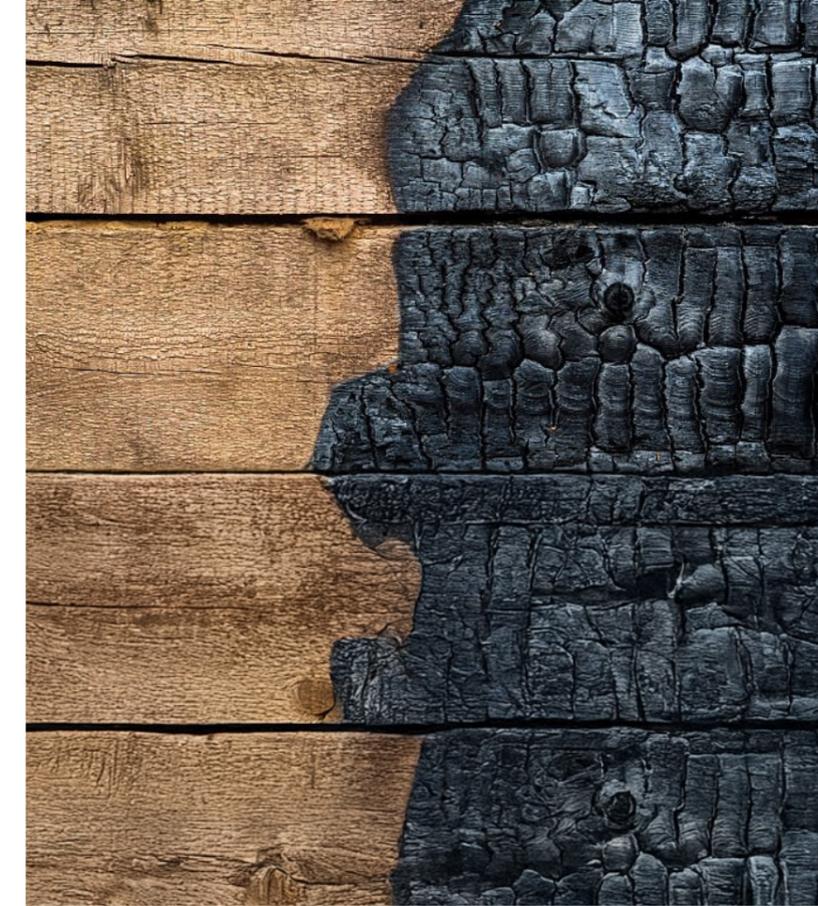
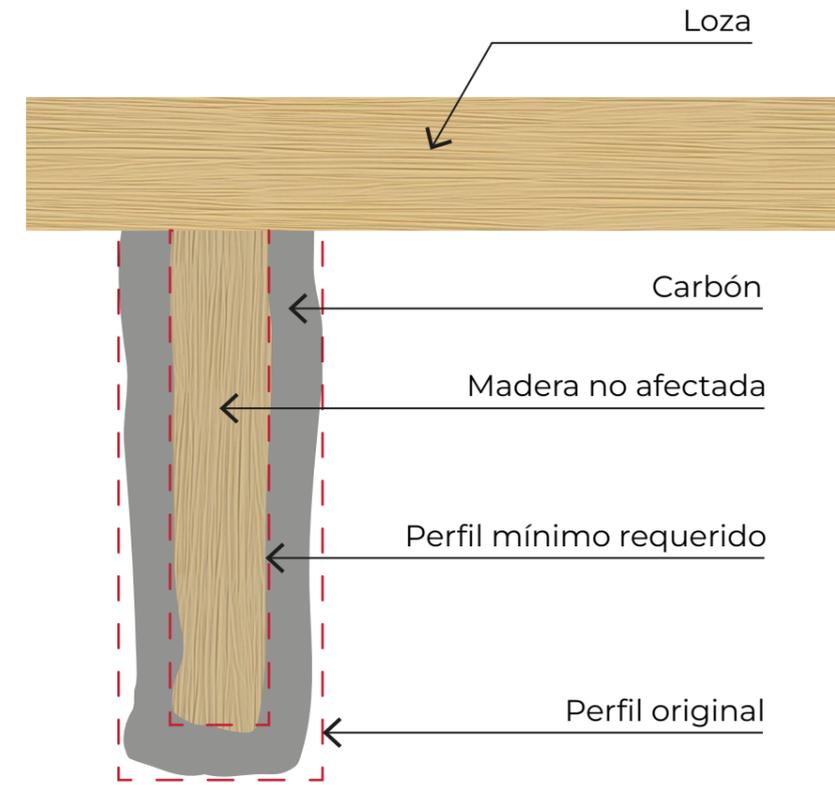
## Sobredimensionamiento de elementos constructivos

En el caso de incendio, el aumento de la masa de madera, permitirá que se carbonice perimetralmente, sin producir desmedro de la masa que está soportando y así retardar significativamente el colapso de la estructura.

El sobredimensionamiento de la madera implica aumentar las dimensiones de la pieza estructural para compensar la pérdida de material que ocurre durante un incendio. En este proceso, se tiene en cuenta la velocidad a la que la madera se consume (o carboniza) bajo la acción del fuego, lo que permite asegurar que la sección restante mantenga

su capacidad estructural durante un tiempo determinado.

La velocidad de avance del fuego en la madera puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de madera, su densidad, contenido de humedad, y las condiciones ambientales. Sin embargo, en términos generales, la velocidad de propagación del fuego en la madera sólida en condiciones controladas de laboratorio puede ser de aproximadamente 0.6 a 1.2 mm/minuto.



## 4. Reemplazo

Otra estrategia para garantizar la durabilidad del edificio consiste en diseñar e incorporar elementos de protección que puedan ser fácilmente reemplazados a lo largo de su vida útil.

La implementación de esta estrategia dependerá de las condiciones de mantenimiento a las que estará sometido el edificio.

En estos casos, es fundamental prestar atención a aspectos como las uniones, la accesibilidad, la disponibilidad de los elementos a reemplazar, los sellos, costos involucrados, entre otros.

*Viga revestida por listonado de fácil reemplazo, para protegerla de la humedad y la radiación.* ►



# Referencias

1. Argüelles Álvarez, R., & Arriaga Martitegui, F. (2000). Estructuras de madera: diseño y cálculo (2ª ed.). Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). ISBN 978-84-87381-17-1.
2. Bodig, J., & Jayne, B. A. (1982). Biomass and Bioenergy. New York: Van Nostrand Reinhold.
3. Bowman, D.M.J.S., et al. (2017). Fire in the Earth system. *Science*, 324(5926), 481-484.
4. Comisión Nacional de Energía (CNE), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), & Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). (2008). Irradiancia solar en territorios de la República de Chile. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables".
5. Dancer, S. J., et al. (2015). Fungi in the environment: an overview of the health risks. *Journal of Environmental Health Research*, 14(1), 1-9.
6. Edwards, R., & Mill, A. E. (1986). Termites in Buildings: Their Biology and Control. Rentokil Limited.
7. Ellingwood, B. & Dusenberry, D.O. (2005). Building Design for Robustness. *Journal of Structural Engineering*, 131(8), 1175-1183. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:8(1175)
8. Evans, T. A., Forschler, B. T., & Grace, J. K. (2013). *Biology of Termites: A Modern Synthesis*. Springer.
9. Grimaldi, D., & Engel, M. S. (2005). *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press.
10. Gustavsson, L., et al. (2010). Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fuels. *Energy Policy*, 38(1), 61-67.
11. Hallegatte, S. (2012). A framework to investigate the economic growth impact of sea level rise. *Environmental Research Letters*, 7(1), 015604.
12. Hansen, J., et al. (1981). Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*, 213(4511), 957-966.
13. Harris, W. V. (1971). *Termites: Their Recognition and Control*. Longman Group.
14. Henderson, D., Ginger, J., Leitch, C., Boughton, G., & Falck, D. (2013). Wind loads on houses in Australia. *Engineering Structures*.
15. Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons.
16. Hoadley, R. B. (1990). *Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology*. Newtown, CT: Taunton Press.
17. Hwang, S. H., et al. (2018). Biodegradation of wood by white-rot fungi and their potential for environmental applications. *Bioresource Technology*, 267, 335-343.
18. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (n.d.). Inicio. Recuperado el [15 de septiembre de 2024], de <https://www.ine.cl/>
19. Kaye, N. (2017). Wind Effects on Wooden Structures. *Journal of Building Physics*.
20. Kundzewicz, Z.W., et al. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28
21. Larsen, P.H., et al. (2011). Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change. *Global Environmental Change*, 21(2), 452-466.
22. McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), 17-37.
23. Mallo, M.F.L., & Espinoza, O. (2015). Awareness, perceptions and willingness to adopt cross-laminated timber by the architecture community in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 94, 198-210.

24. Masters, F.J. (2010). Hurricane risk assessment and hurricane-resistant construction. *Journal of Risk Research*, 13(8), 1043-1059.
25. Ministerio de Energía de Chile. (n.d.). Atlas de Energía Solar de Chile: Exploración. Recuperado el [15 de septiembre de 2024], de <https://solar.minenergia.cl/exploracion>
26. Ministerio de Vivienda y Urbanismo - MINVU, (2018). Recomendaciones para la prevención y control de ataques de termitas en edificaciones, División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional - DITEC, MINVU, ISBN 978-956-9432-88-0.
27. Moritz, M. A., et al. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515(7525), 58-66.
28. Östman, B., & Tsantaridis, L. D. (2015). Fire Performance of Wood: Research and Technology Transfer between Europe and North America. *Fire and Materials*
29. Osuna, F. (2014). Tratamiento de la Madera para Evitar el Ataque de Xilófagos. Editorial Construcción Verde.
30. Panshin, A. J., & de Zeeuw, C. (1980). *Textbook of Wood Technology*. New York: McGraw-Hill.
31. Poggi, F. (2011). La Protección de la Madera contra los Insectos y Hongos. *Arquitectura y Construcción*.
32. Rammer, D. (2001). Connections in timber structures under wind loads. *Wood and Fiber Science*.
33. Rulamahue. (n.d.). Normativa para el diseño y cálculo de estructuras de madera en Chile. Recuperado el [15 de septiembre de 2024], de <https://www.rulamahue.cl/fichas/cl08/cl08.html>
34. Schaffer, E., et al. (2016). *Wood Preservation: A Comprehensive Guide to the Treatment of Wood Products*. London: Wood Technology Publications.
35. Schmidt, O. (2006). *Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use*. Springer.
36. Schmidt, R., McClure, T., & Yeo, D. (2010). Structural Behavior of Timber Buildings under Wind Loads. ASCE Structures Congress.
37. Smith, W. B., & Wiedenhoeft, A. (2014). *Anatomy of Hardwood and Softwood Trees*. U.S. Department of Agriculture.
38. Smith, R.J., & Byfield, M.P. (2012). The Influence of Robustness on Structural Design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings*, 165(3), 183-197. doi:10.1680/stbu.11.00043
39. Starossek, U. (2009). *Progressive Collapse of Structures*. ICE Publishing.
40. White, R. H., & Dietsberger, M. A. (2010). Fire Safety of Wood Construction. In *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory
41. Zabel, R. A., & Morrell, J. J. (1992). *Wood Microbiology: Decay and Its Prevention*. Academic Press.

# Anexos

1. Desarrollo focus group\_Presentación 1
2. Desarrollo focus group\_Presentación 2\_ Estado del arte
3. Encuesta\_consulta y validación expertos
4. Resultados consulta a expertos



Estudio de  
Protección  
por Diseño en  
Construcción en  
Madera