



PROYECTO  
**CEELA**



## **Guía de recomendaciones y criterios**

**para la incorporación de eficiencia energética y confort adaptativo  
en edificaciones educativas nuevas en climas cálidos**

GUÍA DE RECOMENDACIONES Y CRITERIOS  
PARA LA INCORPORACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA  
Y CONFORT ADAPTATIVO EN EDIFICACIONES EDUCATIVAS  
NUEVAS EN CLIMAS CÁLIDOS.

### Grupo técnico



EBP Schweiz AG  
Mühlebachstrasse 11  
8032 Zúrich  
Suiza  
Teléfono +41 44 395 16 16  
info@ebp.ch  
www.ebp.ch

### Elaboración

Ana Milena Avendaño  
Jose Antonio Espinoza  
Christoph Hauser  
Johana Infante  
Laure LePape  
Franco Morales  
Jachen Schleich

### Revisión

Carolina Bernal  
Armin Binz  
Nicola Borregaard  
Bernhard Eggen  
Patricia Mijares  
Roger Walther  
Martin Wieser Rey

### Diseño gráfico y editorial

Adela Martínez Camacho  
Mantra

Agosto 2022  
Bogotá - Colombia

Este documento ha sido producido en el marco del Proyecto “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en zonas climáticas cálidas de América Latina” (CEELA), una iniciativa de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), con el asesoramiento técnico de EBP Schweiz AG, bajo el objetivo de capacitar y asesorar a técnicos y profesionales del sector para promover edificaciones con eficiencia energética, confort adaptativo y bajas o cero emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para más información: [www.proyectoceela.com](http://www.proyectoceela.com)

## Índice

<b>A - ASPECTOS GENERALES</b>	<b>5</b>
1. Introducción	7
1.1. Iniciativa CEELA	
1.2. Sobre el manual	7
1.2.1. Cómo utilizar y para qué sirve este documento	7
1.2.2. Sobre las instituciones educativas	8
1.2.3. Zonas climáticas	9
2. Conceptos generales	12
2.1. Emisiones de gases de efecto invernadero en el sector edificaciones	12
2.1.1. Emisiones directas	12
2.1.2. Emisiones en el ciclo de vida	15
2.2. Uso de energía en edificaciones	16
2.2.1. Energía operacional en el sector construcción	16
2.2.2. Energía incorporada	18
2.2.3. Perfiles de uso energía – instituciones educativas	20
2.2.4. Uso final de energía en instituciones educativas	20
2.3. Confort térmico y calidad del aire interior	21
2.3.1. Confort térmico en climas cálidos y húmedos / cálidos secos	21
2.3.2. Importancia del confort térmico	24
2.3.3. Importancia del confort térmico en instituciones educativas	24
3. Los 15 principios de eficiencia energética y confort térmico del proyecto CEELA	26
3.1. Aplicación práctica de los 15 principios de EECA de CEELA	27
<b>B - BASES TÉCNICAS / TDR ESTANDARIZADOS</b>	<b>33</b>
4. Aspectos técnicos	35
4.1. Filosofía de diseño	35
4.1.1. Fases de diseño	35
4.1.2. Diseño integrado	37

4.2. Emplazamiento y espacios exteriores	40
4.3. Requerimientos técnicos envolvente y arquitectura	47
4.3.1. Recomendaciones generales	47
4.3.2. Factor de forma	48
4.3.3. Estanqueidad	49
4.3.4. Aislación térmica de la envolvente	49
4.3.5. Fachadas ventiladas	51
4.3.6. Protección solar	51
4.3.7. Reflectancia de la envolvente	53
4.4. Calidad del aire interior	53
4.4.1. Parámetros de diseño	53
4.4.2. Reducción de materiales tóxicos	56
4.5. Ventilación natural	56
4.5.1. Principios básicos	56
4.5.2. Principios de diseño	57
4.6. Ventilación mecánica	64
4.6.1. Principios básicos	64
4.6.2. Tipos de ventiladores	68
4.6.3. Principios de diseño para ventilación mecánica	69
4.7. Climatización	71
4.7.1. Principios básicos	71
4.7.2. Principios de diseño	76
4.8. Uso de energías renovables para el autoconsumo	84
4.8.1. Principios básicos	84
4.8.2. Sistemas fotovoltaicos	84
4.8.3. Bombas de calor geotérmicas	86
4.9. Monitoreo	88
4.10. Construcción baja en carbono – emisiones incorporadas	89
4.10.1. Recomendaciones generales	89
5. Elaboración y evaluación de una licitación	95
5.1. Bases técnicas de la licitación	95
5.2. Evaluación de las ofertas	95
5.2.1. Evaluación general	95
5.3. Normativa internacional de referencia para construcción sustentable	97
6. Bibliografía	99



A

ASPECTOS GENERALES



## 1. Introducción

### 1.1 Iniciativa CEELA

El proyecto Fortaleciendo Capacidades para la Eficiencia Energética en Edificios en Zonas Climáticas Cálidas de América Latina (CEELA), es una iniciativa de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), que tiene como objetivo principal reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector edificación en Latinoamérica, mejorar el confort térmico y la calidad de vida de las personas a través del fortalecimiento de las capacidades para el diseño de edificios con eficiencia energética y confort adaptativo (EECA), y la aplicación competente de tecnologías y materiales adecuados, y el diseño de medidas regulatorias para fomentar la construcción de edificios con criterios de eficiencia energética. El proyecto se lleva a cabo en Perú, México, Ecuador y Colombia.

### 1.2 Sobre el manual

#### 1.2.1 Cómo utilizar y para qué sirve este documento

Este documento es una guía para la aplicación práctica de conceptos de sustentabilidad y eficiencia energética para edificaciones educativas nuevas ubicadas en climas cálidos (secos y húmedos), particularmente en sus fases de diseño y construcción. Se encuentra dividido en dos secciones principales, con los siguientes contenidos.

- **Sección A** – Aspectos generales: Esta sección tiene un carácter introductorio, y realiza una revisión de los distintos aspectos y conceptos de sustentabilidad en la edificación, además de lineamientos generales a considerar durante las etapas conceptuales del proyecto.

- **Sección B** – Términos de Referencia Estandarizados: Se presentan diversas recomendaciones aplicables a la práctica, específicamente en la fase de diseño de distintas soluciones, para una edificación sustentable. Estas recomendaciones pueden también ser utilizadas para la fase de licitación de una obra.

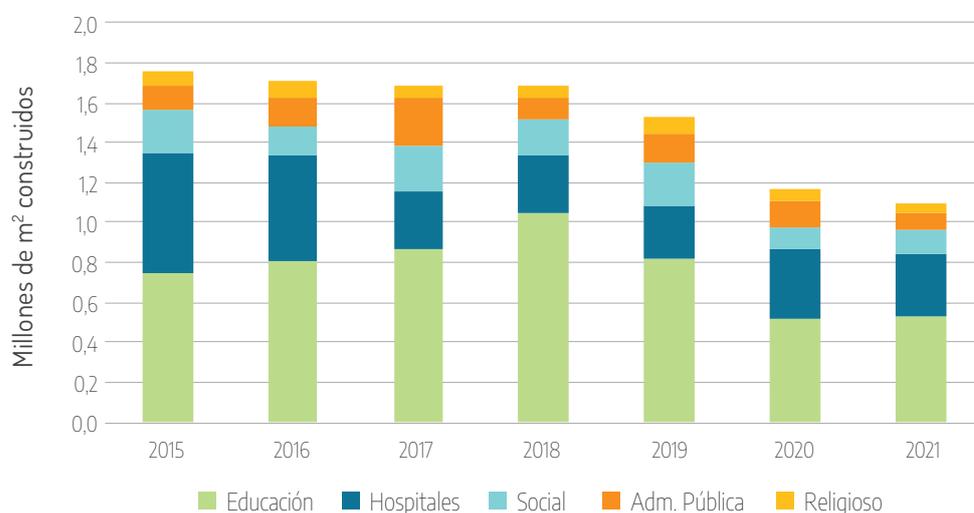
La sección A puede ser utilizada a modo de referencia para las fases de diseño conceptual de las edificaciones, ya que establece un marco de referencia sobre los distintos aspectos que se deben considerar para lograr una edificación energéticamente eficiente y con criterios de confort térmico.

La sección B de este manual puede ser incorporada como anexo en los procesos públicos o privados de licitación de diseño, a modo de referencia o a modo de requerimiento obligatorio para el diseño. También puede ser utilizado por profesionales de la construcción en el ámbito privado para incorporar los distintos requerimientos de sustentabilidad durante la fase de diseño de sus proyectos.

### 1.2.2 Sobre las instituciones educativas

Este manual se enfoca en instituciones educativas debido a que tienen una gran importancia en la formación e inserción en la sociedad de los de niños, niñas y adolescentes y es fundamental que estas alcancen condiciones de habitabilidad adecuadas para un correcto desempeño académico de los jóvenes. Los edificios escolares son, además, los que presentan condiciones más complejas para garantizar el confort en climas cálidos, debido a que las aulas presentan una gran densidad de ocupación durante las horas de mayor temperatura durante el día, lo que se traduce en importantes ganancias de calor internas, altos niveles de humedad y una alta demanda de aire fresco, que solo está disponible como aire exterior caliente.

Por otro lado, el desarrollo de infraestructura educativa representa una parte importante de las edificaciones que se construyen cada año. Por ejemplo, en Colombia, durante el año 2021, los recintos educacionales representaron un 49% del total de metros cuadrados licenciados para edificaciones no residenciales.



**Figura 1 Metros cuadrados licenciados para destinos no residenciales.**

Fuente: Elaborado en base a datos de Licencias de Construcción de DANE Colombia.

Frecuentemente, los diseños de los recintos educacionales no incorporan elementos arquitectónicos adecuados para las condiciones climáticas en las que están ubicados y, por lo tanto, no son capaces de ofrecer a los estudiantes un nivel de confort térmico óptimo para el aprendizaje. Desde el punto de vista de la planificación, es común que la arquitectura se defina a nivel centralizado, sin hacer mayores distinciones entre los variados climas que existen en un país.

Este manual se enfoca en climas cálidos, ya que existe un gran potencial de mejora para las condiciones de vida de los estudiantes, a través de la aplicación de criterios de eficiencia energética y sustentabilidad.

### 1.2.3 Zonas climáticas

Este manual está enfocado al desarrollo de edificaciones eficientes en climas **cálidos secos** y **cálidos húmedos**. Esto es relevante ya que el confort térmico en la edificación y las medidas que se puedan implementar para el ahorro de energía dependen en gran medida de las condiciones ambientales, como la temperatura del aire, la humedad y la velocidad del viento (para mayor detalle, referirse al capítulo 3.3.2). Las tipologías de clima reciben distintos nombres en cada país, por lo que en este capítulo se revisan las distintas zonas climáticas que cumplen con características similares y se estandarizan como clima cálido seco o cálido húmedo.

Las estrategias para lograr edificaciones energéticamente eficientes con altos estándares de confort térmico que se mencionan en el manual se diferencian de acuerdo al clima en donde esté localizada la institución educativa.

#### **Zonas cálido - seco**

Las zonas cálido - seco, típicamente se encuentran alejadas de grandes cuerpos de agua como el mar o ríos, aunque también existen en zonas cercanas a cuerpos de agua. Estas zonas presentan altas temperaturas, con máximas promedio en torno a los 36°C y mínimas promedio en torno a los 23°C. La diferencia de temperatura entre el día y la noche es de alrededor de 12°. La humedad relativa se espera que esté entre un 40% y un 50%.

**Tabla 1 Ejemplos de climas que se ajustan a la definición de clima cálido seco y ejemplos de ciudades representativas de estos climas.**

Nombre para cálido seco		Normativa de referencia	Ejemplos cálido seco
Colombia	Cálido seco	Resolución 0549/2015 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Anexo 2	Cali, Cúcuta, Bucaramanga, Santa Marta, Valledupar, Montería, Neiva, Sincelejo, Floridablanca
Ecuador	No se define	Norma Ecuatoriana de la Construcción – Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (NEC-HS-EE), febrero 2018	No se define una zona con clima cálido seco en Ecuador
México	Cálido Seco	Clasificación de climas y su aplicación a la norma para la envolvente de viviendas: notas para discusión (SENER, CONUEE), mayo 2020	Chihuahua, Saltillo, Ciudad Acuña, La Paz, Victoria de Durango, Celaya, León, Monterrey, Culiacán
	Cálido Seco extremo		Mexicali, Matamoros, Ciudad Juárez, Gómez Palacio, Los Mochis, Hermosillo
Perú	Desértico costero	Norma Técnica EM.110 “Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética” del Reglamento Nacional de Edificaciones, mayo 2014	Casma, Huarney, Santa, Camaná, Islay, Chincha, Pisco, Pacasmayo, Trujillo, Chiclayo, Ferreñafe, Barranca, Cañeta, Huaral, Huaura, Lima, Ilo, Talara
	Desértico		Palpa, Ica, Nazca, Ascope, Chepén, Gran Chimú, Virú, Lambayeque, Paita, Sechura, Piura, Jorge Basadre, Tacna, Tumbes

**Zonas cálido – húmedas**

Las zonas de clima cálido húmedo se caracterizan por niveles de humedad entre un 65 y un 80%, siendo típicamente más elevado para las zonas costeras. Las temperaturas mínimas medias están entre los 25 y 26°C, y la variación de temperaturas a lo largo del día alcanza apenas entre 3 y 7°C.

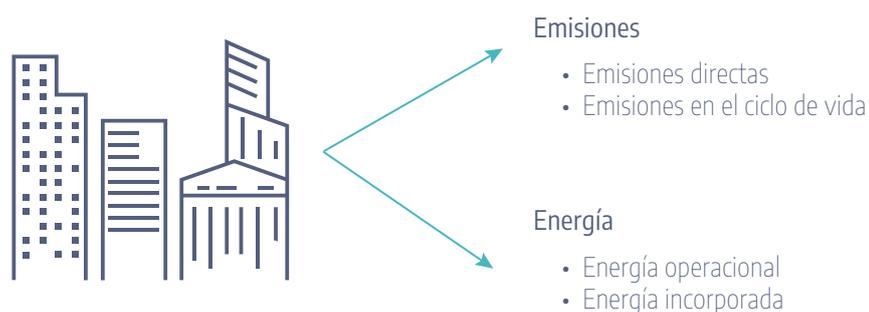
**Tabla 2 Ejemplos de climas que se ajustan a la definición de clima cálido húmedo y ejemplos de ciudades representativas de estos climas.**

	Nombre para cálido húmedo	Normativa de referencia	Ejemplos ciudades cálido húmedas
Colombia	Cálido húmedo	Resolución 0549/2015 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Anexo 2	Barranquilla, Cartagena, Soledad, Villavicencio, Buenaventura
Ecuador	Húmeda muy calurosa	Norma Ecuatoriana de la Construcción – Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (NEC-HS-EE), febrero 2018	Machala, Zaruma, Santa Rosa, Esmeraldas, Quinindé, Guayaquil, Balzar, Babahoyo, Quevedo, Puerto López, Portoviejo, Manta, Chone, El Carmen, Pedernales, Las Naves, La Troncal, La Maná, Santo Domingo, Sucúa, Francisco de Orellana
	Húmeda calurosa		Santa Isabel, Caluma, Azogues, Salinas, Alamor, Catamayo, Los Bancos, Macas, Gualaquiza, Tena, Puyo, Zamora, Zumba
México	Cálido Húmedo	Clasificación de climas y su aplicación a la norma para la envolvente de viviendas: notas para discusión (SENER, CONUEE), mayo 2020	Cozumel, Temascal (Oax), Valle Nacional (Oax), Villahermosa, Martínez (Ver), Minatitlán (Ver).
	Cálido subhúmedo		Campeche, Tuxtla Gutiérrez, Colima, Acapulco, Puerto Vallarta, Guadalajara, Ciudad Lázaro Cárdenas, Cuautla, Tuxpan, Cancún, Chetumal, Mazatlán, Tampico, Mérida.
Perú	Subtropical húmedo	Norma Técnica EM.110 “Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética” del Reglamento Nacional de Edificaciones, mayo 2014	La Convención, Leoncio Prado, Puerto Inca, Chanchamayo, Satipo, Lambayeque, Tahuamanu, Tambopata, Oxapampa, Huancabamba, Morropón, Sullana, San Antonio de Putina, Sandia, Tumbes, Zarumilla
	Tropical húmedo		Bagua, Condorcanqui, Maynas, Alto Amazonas, Loreto, Mariscal Ramón Castilla, Requena, Datem del Marañón, Ucayali, Bellavista, Mariscal Cáceres, San Martín, El Dorado, Huallaga, Lamas, Moyobamba, Picota, Tocache, Purús, Padre Abad, Atalaya, Coronil Portillo

## 2. Conceptos generales

Esta sección tiene como objetivo identificar los principales lineamientos para el diseño de instituciones educativas con un alto estándar de confort térmico, un bajo consumo de energía y un bajo nivel de emisiones.

Para cuantificar el consumo de energía y las emisiones se deben considerar aquellas asociadas a la operación del edificio, además de las actividades anexas como la producción o extracción de las materias primas, el proceso de construcción, la operación del edificio, su demolición y la disposición de los residuos.



**Figura 2 Emisiones y energía consideradas para las edificaciones.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1 Emisiones de gases de efecto invernadero en el sector edificaciones

#### 2.1.1. Emisiones directas

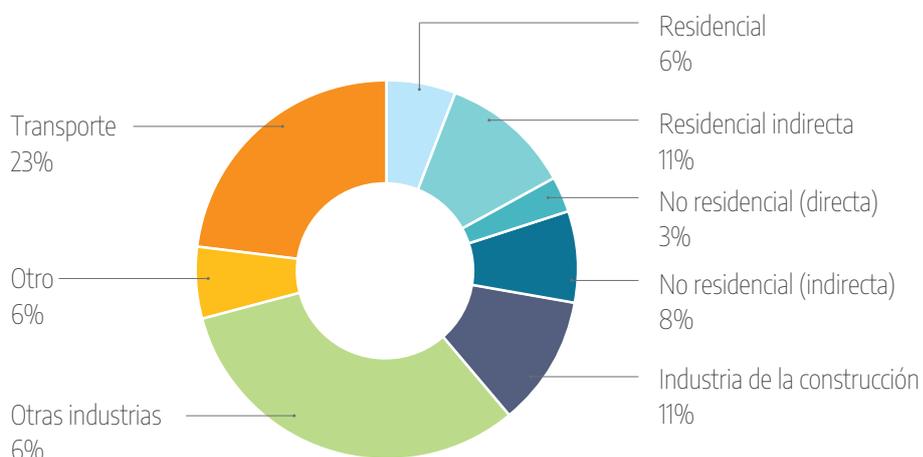
Las emisiones directas de los edificios están relacionadas con aquellas que ocurren durante la operación del edificio como, por ejemplo, las asociadas al uso de combustibles fósiles para la generación de agua caliente sanitaria (ACS), o las asociadas al uso de electricidad para los sistemas de aire acondicionado y otros equipos. Estas emisiones también se conocen como emisiones operacionales y son las que típicamente se contabilizan en balances de emisiones por cada sector.

1. Los gases de efecto invernadero más comunes corresponden a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Este manual solo se enfocará en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq), que corresponden a las emisiones de gases de efecto invernadero<sup>1</sup>, ponderadas por su potencial de calentamiento global. Los gases de efecto invernadero más comunes corresponden al Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), los Clorofluorocarbonos (CFCs), Hidrofluorocarbonos (HFCs) y el Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>). Otras emisiones de gases contaminantes en las que se incurre durante la operación del edificio como el Material Particulado (MP), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), y otros, no son consideradas en este manual.

**Global**

A nivel global, la construcción de edificios y su operación representan el 39% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.



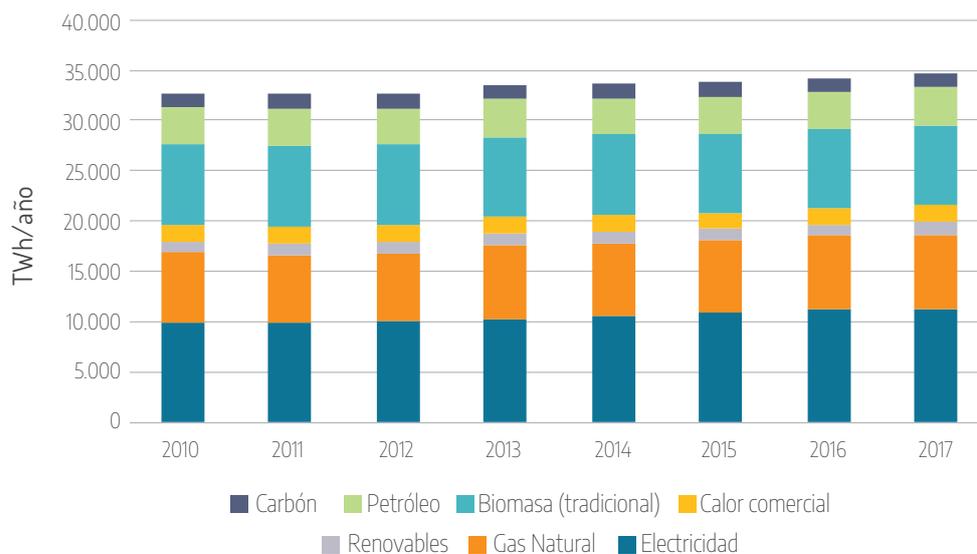
**Figura 3 Emisiones directas asociadas a distintos sectores de la economía a nivel global.** ▲

Fuente: International Energy Association.

Las emisiones asociadas a la industria de la construcción, como se ve en la figura, representan un 11% del total de emisiones.

**Latinoamérica**

A nivel latinoamericano, el sector de edificaciones representa el 21% de las emisiones operacionales de CO<sub>2</sub>. Gran parte de estas emisiones están asociadas al consumo de electricidad y gas natural, que en conjunto representan cerca del 50% del consumo total, como muestra la siguiente figura.



**Figura 4 Distribución del uso de distintos combustibles en el sector edificaciones para Latinoamérica.**

Fuente: IEA 2018.

La generación y distribución de electricidad tiene asociada emisiones de CO<sub>2</sub>, que variarán de un país a otro dependiendo de las condiciones de operación y las capacidades disponibles de las centrales hidroeléctricas. La siguiente tabla indica los factores de emisión de la electricidad de la red de los cuatro países objetivo:

**Tabla 3 Factores de emisión promedio de los sistemas eléctricos de cada país.**

País	kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	Fuente
Colombia	0,594	Res. 382 de 2021 UPME
Ecuador	0,192	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> del sistema nacional interconectado de Ecuador 2020, CTFE. (Expost)
México	0,494	Gobierno de México - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2020
Perú	0,452	Nota técnica para el uso del precio social del Carbono en la evaluación social de proyectos de Inversión. Ministerio de Economía y Finanzas, 2021

Se espera que exista un aumento de emisiones en el sector edificaciones durante los próximos años, asociados principalmente al aumento en el consumo de energía final en los edificios y especialmente el uso de la electricidad. Por lo tanto, para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector edificaciones, las medidas más relevantes son lograr una matriz eléctrica baja en emisiones, la **eficiencia en el diseño de edificaciones** y la autogeneración de electricidad en los edificios. El uso de sistemas de energía renovable en los edificios, como sistemas fotovoltaicos o sistemas solares térmicos, así como el aumento de la eficiencia energética en la construcción son aspectos fundamentales para lograr la reducción de emisiones del sector.

### 2.1.2 Emisiones en el ciclo de vida

Las emisiones en las que se incurren durante las diferentes etapas del ciclo de vida también se conocen como emisiones incorporadas y consideran todas aquellas que se generan durante la fabricación de los materiales utilizados, la construcción del edificio, las emisiones directas y el final de la vida del edificio.

Las etapas del ciclo de vida que se consideran tanto para emisiones como para energía están estandarizadas según el estándar europeo EN 15978:2011<sup>2</sup> y reciben las siguientes denominaciones:



**Figura 5 Distintas etapas del ciclo de vida de un edificio.**

Fuente: *Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments.*

Un ejemplo de un proceso del ciclo de vida que podría tener un impacto relevante en las emisiones asociadas es la fabricación del concreto, ampliamente utilizado en edificaciones. Se estima que el proceso de producción de este es responsable de un 2,4% de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq del sector industrial a nivel global<sup>3</sup>. De esta manera, un edificio que quiere disminuir sus emisiones incorporadas buscará el uso de materiales alternativos, como la madera o el hormigón reciclado.

2. EN 15978:2011-Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.

3. CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM CEMENT PRODUCTION ACKNOWLEDGEMENTS This paper was written by Michael J. Gibbs, Peter Soyka and David Conneely (ICF Incorporated). It was reviewed by Dina Kruger (USEPA).

En el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas y el Centro de Tecnología Medioambiental (UNEP-IETC, por sus siglas en inglés) (2002) estiman que la producción de materiales férricos, cemento, vidrio, ladrillos y cal son responsables de la producción anual del 20 % de las emisiones de dioxinas y furanos a la atmósfera.

Otro ejemplo es el uso de material aislante. La producción de materiales convencionales, como la espuma de poliuretano (PUR), es muy intensiva en el uso de energía y emisiones. Por lo tanto, a partir de un determinado grosor de aislamiento, las emisiones que se pudieran evitar durante el período de operación debido al uso de este aislamiento podrían verse anulada por las emisiones en las que se incurre para la producción de material.

## 2.2 Uso de energía en edificaciones

### 2.2.1 Energía operacional en el sector construcción

De manera análoga a las emisiones directas, la energía consumida durante la operación del edificio, se denomina energía operacional.

#### Global

A nivel global, la construcción de edificios y su operación representaron un 36% del consumo de energía final.

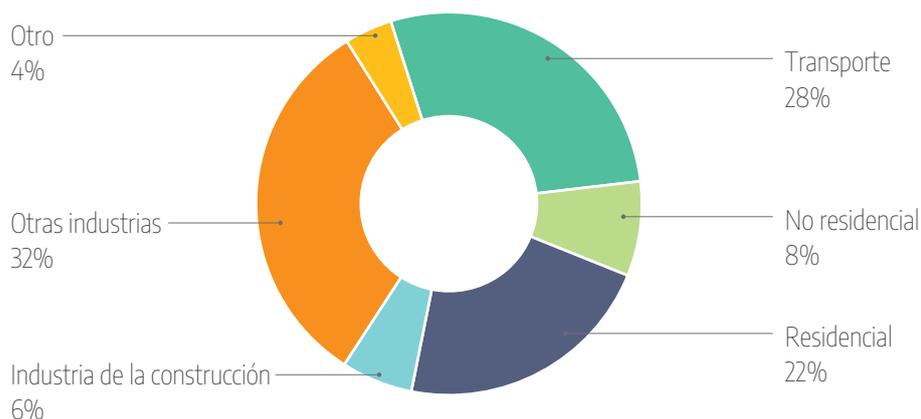


Figura 6 Participación del sector edificaciones en el consumo de energía a nivel global. ▲

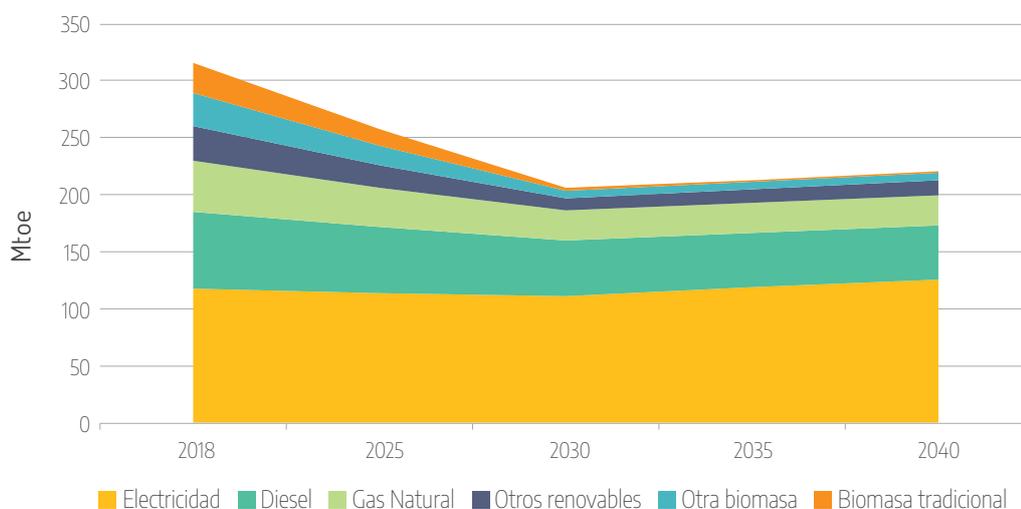
Fuente: IEA.

Entre los años 2010 y 2018, la demanda final de energía en edificios a nivel global aumentó en un 5%, mientras que el crecimiento de superficie construida fue de un 16%. El menor crecimiento de la demanda de energía se puede asociar a diversas políticas y acciones que el sector edificaciones ha adoptado para reducir la demanda de energía, como mejoras en las envolventes y sistemas de los edificios.

Los usos finales de energía de más rápido crecimiento en las edificaciones son los asociados al enfriamiento de espacios y los electrodomésticos; sin embargo, solo el enfriamiento del espacio ha crecido en intensidad de energía por unidad de área construida.

### Latinoamérica

A nivel latinoamericano, el sector de edificaciones representa el 24% del consumo total de energía final y la electricidad representa el 40% del consumo energético, mientras que alrededor del 37% del consumo final de energía procede del petróleo y el gas natural y el 23% de la biomasa, utilizada tradicionalmente para cocinar y calentar. Se prevé que el uso de electricidad aumente hasta el 63% en 2040, mientras que la biomasa bajará su participación a un 5%.



**Figura 7 Consumo de energía final en edificaciones en Sudamérica y América Central** ▲

Fuente: GlobalABC.

La participación del sector construcción y edificaciones en el total de energía consumida, dependerá de cada país.

Para los países objeto, se tiene lo siguiente:

**Tabla 4 Participación de las edificaciones en el consumo de energía y emisiones<sup>4</sup>.**

	Sector residencial, comercial, servicio, público, construcción y otros	
	Energía	Emisiones
México	20,2%	6%
Perú	25,7%	7%
Ecuador	30,6%	17%
Colombia	31,7%	10%
LAC	<b>23,6%</b>	<b>7%</b>

Fuente: Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe <https://sielac.olade.org/>.

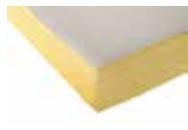
### 2.2.2. Energía incorporada

De manera análoga a las emisiones del ciclo de vida, la energía incorporada se define como la energía primaria que se emplea en la producción y el transporte de materiales utilizados en la construcción de los edificios, así como aquella energía utilizada en los distintos procesos de la construcción, demolición y eliminación de residuos posteriores. Es importante considerar en el diseño de las edificaciones la selección de materiales que tengan información sobre su energía incorporada.

Por ejemplo, en la tabla 5 se muestra la energía incorporada de distintos materiales aislantes utilizados típicamente en el sector construcción.

4. Suma de la participación en el consumo de energía y emisiones del sector residencial, comercial, servicio, público, construcción y otros, datos 2020.

**Tabla 5 Energía incorporada de diferentes materiales aislantes.**

Material aislante		Conductividad térmica [W/(m·K)]	Energía incorporada [MJ/kg]
Lana de vidrio		0,034	27,9
Lana mineral		0,035	15,6
Espuma de poliuretano (PUR) / PIR		0,026	109
Celulosa		0,038	3,7

En un enfoque holístico, la energía incorporada debe tenerse en cuenta a la hora de planificar un edificio, de la misma manera que la energía operacional. Esto implica que se debe además prestar atención desde el diseño a los procesos de demolición del edificio y a los residuos que se generan durante este proceso, así como prestar atención a la reutilización y el reciclaje de los materiales. Existen diversas plataformas que recopilan la información sobre la energía y las emisiones incorporadas.

**Tabla 6 Ejemplos de plataformas que permiten obtener datos sobre energía incorporada y/o emisiones del ciclo de vida.**

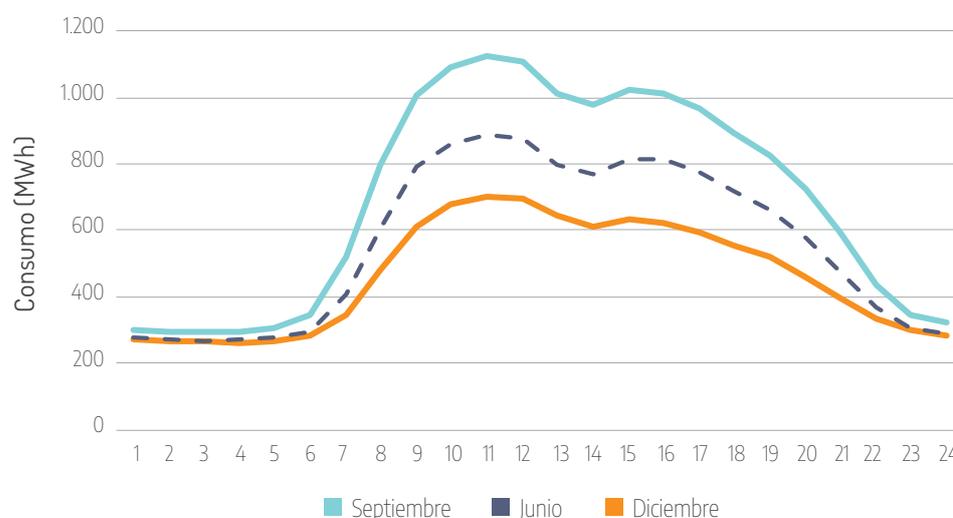
Nombre Plataforma	Dirección web	Datos incorporados
OneClick LCA	<a href="https://www.oneclicklca.com/">https://www.oneclicklca.com/</a>	Emisiones
Ecoinvent	<a href="https://ecoinvent.org/">https://ecoinvent.org/</a>	Emisiones y energía
Ökobaudat	<a href="https://www.oekobaudat.de/">https://www.oekobaudat.de/</a>	Emisiones
INIES	<a href="https://www.inies.fr/">https://www.inies.fr/</a>	Emisiones
Abaco	<a href="http://abacochile.cl/">http://abacochile.cl/</a>	Emisiones

La información sobre la energía incorporada en los materiales utilizados en la construcción típicamente es realizada por el fabricante a través de una declaración ambiental de producto (DAP).

### 2.2.3 Perfiles de uso energía – instituciones educativas

Conocer el comportamiento de la demanda de energía en las instituciones educativas permitirá un adecuado dimensionamiento de los sistemas de climatización y de energías renovables, además de ser la base para la implementación de medidas que permitan minimizar el uso de energía en los períodos de baja ocupación. El comportamiento de la demanda de energía se puede estimar a nivel horario (variación horaria durante uno o más días típicos) o bien a nivel anual (variación del consumo de energía mensual a lo largo de un año típico)

Por ejemplo, típicamente el sector educación muestra un perfil de uso de energía similar durante todo el año, aunque existen diferencias en su intensidad relacionado con el uso y horario escolar. En la figura 8 se muestra un perfil horario de uso de energía que considera tanto las jornadas de mañana como las jornadas de tarde.



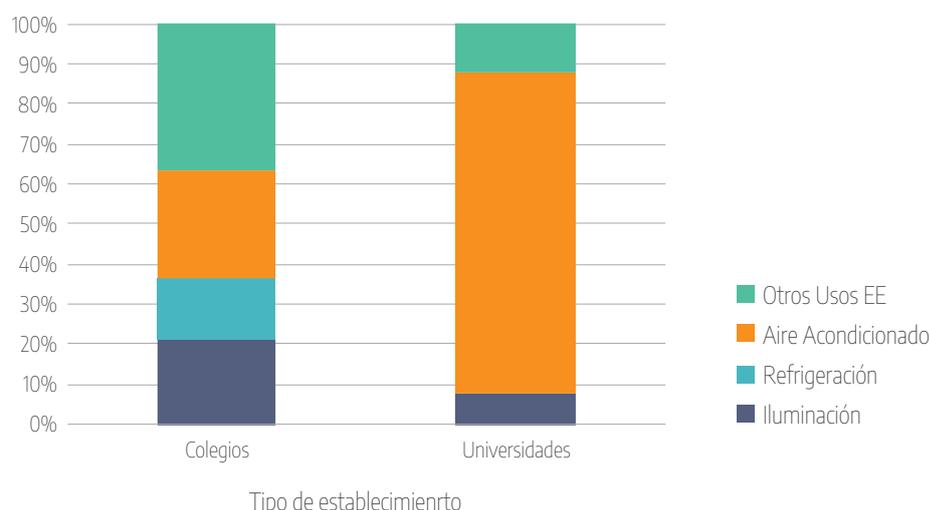
**Figura 8 Ejemplo de perfil diario de demanda energética para un establecimiento educacional.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.4 Uso final de energía en instituciones educativas

El uso final de energía se define, de manera simplificada, a “cómo” o “en qué” se utiliza la energía. Por ejemplo, la electricidad es un energético que puede tener distintos usos finales como iluminación, acondicionamiento de aire, computación, etc.

Para las instituciones educativas en climas cálido-secos y cálido-húmedos, los principales usos finales corresponden a aire acondicionado y otros usos. En el caso de universidades, el aire acondicionado representa el mayor uso final. A modo de ejemplo, en la gráfica siguiente, se aprecian los distintos usos finales de energía para colegios y universidades en Barranquilla (clima cálido húmedo) durante el año 2006.



**Figura 9 Consumo porcentual del uso final de energía para universidades y colegios en Barranquilla.**

## 2.3 Confort térmico y calidad del aire interior

### 2.3.1 Confort térmico en climas cálidos y húmedos / cálidos secos

Las estrategias para lograr el confort térmico en los climas cálidos-húmedos y cálidos-secos son distintas, y se deberán tener en cuenta a la hora de diseñar el edificio.

En el caso de los climas cálidos-húmedos, la combinación de altas temperaturas y humedades relativas causan disconfort en los usuarios. La ventilación facilita mantener una temperatura corporal adecuada a través de la convección (enfriamiento evaporativo), lo cual es esencial para lograr el confort, tanto en el día como en la noche.

Típicamente, en los climas cálidos-húmedos, las temperaturas y humedades relativas durante la noche no son adecuadas para lograr una sensación de confort. Incluso en edificaciones de material liviano, el calor acumulado durante el día se disipará hacia el interior de estas durante las noches, a menudo causando que la temperatura al interior sea mayor que la temperatura exterior.

En el caso de los climas cálidos-secos, las altas temperaturas y los altos niveles de radiación solar son los principales causantes del disconfort. A diferencia del clima cálido-húmedo, durante la noche se alcanzan temperaturas que pueden ser aprovechadas para adoptar estrategias de ventilación nocturna u otras que permitan mejores condiciones de confort.

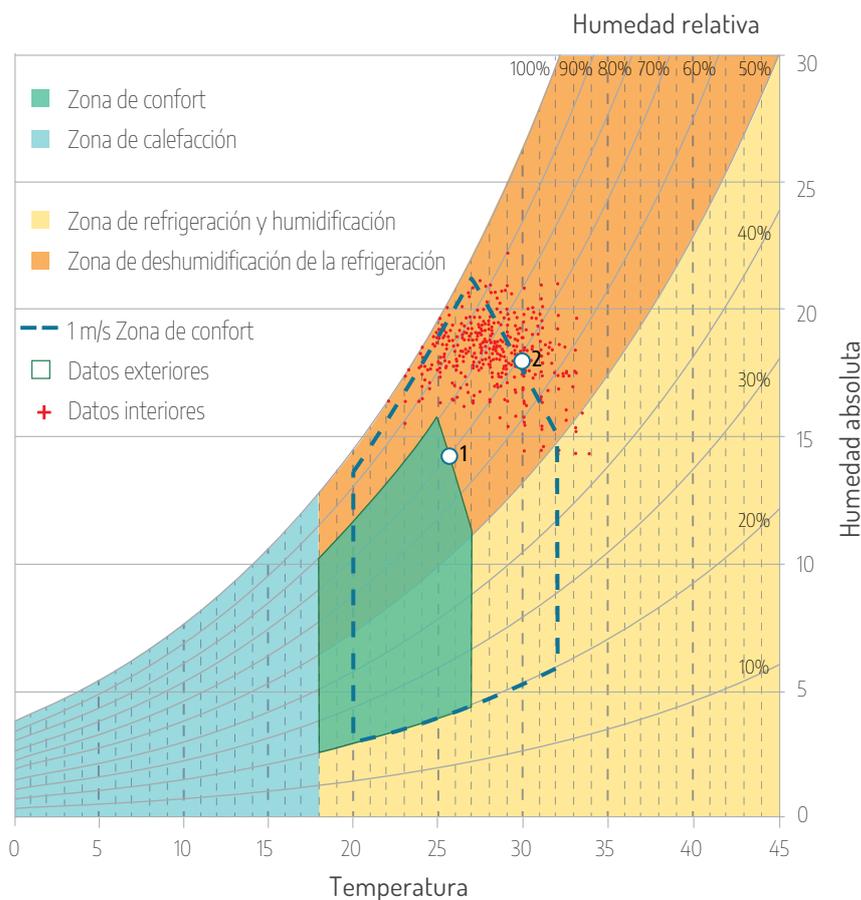
Típicamente, las variables que se tienen en cuenta para determinar si se está en confort o no, corresponden a la temperatura operativa<sup>5</sup> y a la humedad relativa del aire, independiente de las condiciones del lugar. De acuerdo a la asociación de ingenieros de climatización de Estados Unidos (ASHRAE por las siglas en inglés de American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers), el rango de confort se encuentra entre los 20 y los 23 grados en invierno y entre los 22 y los 27 grados en verano. Sin embargo, también existen metodologías que indican que se pueden lograr condiciones de confort a mayores temperaturas y humedades relativas cuando existe una velocidad del aire adecuada. Esto es especialmente relevante para los climas cálidos húmedos, ya que la ventilación es el principal elemento para lograr un confort ante las condiciones de humedad presentes.

De esta manera, un movimiento de aire de aprox. 2m/s ayuda a mejorar la sensación térmica, pudiendo alcanzar condiciones de confort con temperaturas 2 o 3 grados más altas que las que se lograrían sin movimiento de aire. Por lo tanto, la zona de confort se amplía por ese margen. Cuanto mayor la velocidad del aire mayor la pérdida de calor del cuerpo humano.

El diagrama de Givoni (Figura 10) es un diagrama que indica las temperaturas y las humedades a las que se logra confort térmico (zona verde). Esta zona de confort se amplía a la zona delimitada por la línea punteada cuando se tiene una velocidad de 1 m/s. A modo de ejemplo, en esta misma figura el punto 1 indica la temperatura máxima de confort máxima de 26° sin viento y a una humedad relativa de 70%, mientras que el punto 2 muestra que para las mismas condiciones de humedad, con una velocidad de aire de 1 m/s, la temperatura de confort puede alcanzar hasta 29°.

---

5. Una manera simplificada de describir la temperatura operativa es una temperatura que considera como la media entre la temperatura radiante media (asociada a la temperatura de techos, muros y piso) y la temperatura del aire.



**Figura 10 Diagrama de Givoni. Los puntos en blanco indican las condiciones límite de confort para condiciones sin ventilación (punto 1, límite de la zona verde) y con una velocidad de viento de 1 m/s (punto 2, en el límite de línea punteada).** ▲

Fuente: Elaboración propia

Una estrategia a nivel de planificación urbana y del diseño que permite una mayor ventilación natural es orientar las ventanas de las edificaciones en la dirección del viento, además de generar espacios para la circulación de aire.

En el caso de los climas cálidos-secos, el elemento más importante para lograr confort es la sombra durante el día, por lo que se deben favorecer las condiciones y estrategias que permitan esto, como las siguientes:

- Sombreamiento mutuo entre distintas edificaciones, a través de asentamientos compactos.
- Pasajes angostos, que siempre reciban sombra de edificaciones cercanas.
- Uso de vegetación alta, con copa amplia.

Si bien es posible que los requerimientos aquí mencionados vayan en dirección contraria a los estándares actuales de construcción en cuanto a la optimización de los espacios disponibles u otros requerimientos normativos, siempre es relevante tener estas consideraciones presentes durante el diseño de las edificaciones.

### 2.3.2 Importancia del confort térmico

Los factores que inciden en el confort térmico y de calidad del ambiente interior de los usuarios se pueden dividir en factores ambientales y factores personales, como indica la Tabla 7.

**Tabla 7 Variables que afectan la disipación de calor y el confort térmico (Szokolay, 2004).**

Factores ambientales	Factores personales
Temperatura del aire	Tasa de actividad metabólica
Movimiento del aire	Vestimenta
Humedad	Estado de salud
Radiación	Aclimatación

De acuerdo a diversos estudios a nivel internacional, el cuerpo humano se encuentra en confort en un rango limitado de combinaciones de estos factores, aunque los que tienen mayor relevancia son la temperatura del aire y la humedad relativa. Estos dos factores se representan típicamente en un diagrama psicrométrico como el mostrado en la sección anterior.

Por otro lado, el confort térmico también será distinto para cada persona, y dependerá de variables como el nivel de vestimenta, la actividad física y su preferencia personal. De esta manera, la literatura indica que es imposible diseñar un recinto para que todos sus usuarios estén conformes, pero que es posible maximizar la cantidad de usuarios que están dentro de un rango aceptable de confort.

Según un estudio de Fraunhofer Institute (Maarof Shafizal), muchos de los estándares internacionales existentes se estima que son inadecuados para describir las condiciones de confort en climas cálidos húmedos, ya que sobreestiman o subestiman las condiciones de confort en este tipo de clima, debido a que fueron desarrollados en condiciones climáticas moderadas. De acuerdo a este mismo estudio, una temperatura del aire de 30°C es considerado normal, y es deseable contar con un movimiento de aire con velocidades de al menos 1 m/s.

### 2.3.3 Importancia del confort térmico en instituciones educativas

Los estudios de observación del clima interior de las aulas escolares se han justificado normalmente señalando los efectos adversos de las condiciones desfavorables.

rables, como las temperaturas cálidas y la mala ventilación, sobre el confort y el rendimiento académico de los alumnos.

Se hace hincapié en la urgencia política del asunto, ya que se considera que los escolares de corta edad son más susceptibles a los estímulos ambientales que los adultos. Aparte de las características fisiológicas de los niños pequeños, que pueden influir en su percepción del confort, como se ha señalado en investigaciones anteriores, un estudio sobre los escolares debe tener en cuenta los factores contextuales distintivos inherentes en el entorno del aula.

De acuerdo a la Agencia Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency, 2022), la Calidad del Ambiente Interior puede jugar un rol relevante en el desempeño académico y la asistencia de los alumnos. Por ejemplo, en un estudio realizado en la Universidad de Tulsa (Shaughnessy R.J, 2006) determinó que el desempeño de los alumnos con una alta tasa de ventilación aumentó entre un 14 y un 15% con respecto a otro grupo de alumnos con una tasa de ventilación reducida.

Un estudio (Shendell, y otros, 2004) exploró la asociación de la ausencia de los estudiantes con un indicador dCO<sub>2</sub> que cuantifica la concentración de dióxido de carbono en el interior menos en el exterior. Se recopilaron datos en 409 aulas tradicionales y 25 aulas portátiles de 22 escuelas. Se realizaron modelos multivariados que incluyeron los atributos de las aulas, la asistencia de los estudiantes, el origen étnico, el género y el estatus socioeconómico. Finalmente se determinó que un aumento de 1000 p.p.m. en el indicador dCO<sub>2</sub> está asociado con una disminución del 0,5-0,9% en la asistencia media diaria anual, lo que corresponde a un aumento relativo del 10-20% en la ausencia de los alumnos.

Es importante además de lo anterior, que durante etapas previas al diseño, se definan de manera clara y precisa los requerimientos de los distintos espacios educacionales, que generan diversos ambientes térmicos. Estos requerimientos deben ser transmitidos claramente a los profesionales especialistas para que los puedan incorporar en el dimensionamiento y diseño de los sistemas de ventilación y/o climatización.

### 3. Los 15 principios de eficiencia energética y confort adaptativo del proyecto CEELA

El proyecto CEELA ha definido una lista de 15 principios que en conjunto permiten diseñar, implementar y luego operar edificaciones con alta eficiencia energética y confort adaptativo (EECA). La definición de estos principios de EECA fue elaborada en un proceso de talleres colaborativos entre actores de la construcción sustentable de América Latina y expertos suizos.

Los principios de EECA, han sido clasificados en dos tipos:

- Principios de diseño y construcción: Referentes a medidas que son principalmente de diseño pasivo o bioclimático, y de planificación.
- Principios de carácter técnico: Referentes a estrategias con sistemas activos, ya sea como provisión de climatización o iluminación, o bien como auto generación de energía en el edificio.

La presentación general de los principios de EECA se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 11 Principios EECA de diseño y construcción

Fuente: Elaboración propia proyecto CEELA



Figura 12 Principios EECA de carácter técnico

Fuente: Elaboración propia proyecto CEELA

### 3.1 Aplicación practica de los 15 principios de EECA de CEELA.

Los aspectos técnicos recomendados a lo largo de esta sección reflejan los 15 principios de eficiencia energética y confort térmico de CEELA (Indicados en la sección 4 de la parte A). La equivalencia entre estos 15 principios y los capítulos de requerimientos técnicos se indican en la siguiente sumario:

	Descripción del principio CEELA	Capítulo correspondiente en bases técnicas
 Diseño integrado	<p>Se desarrolla un diseño integrado de Arquitectura e Ingeniería desde etapas tempranas del proyecto.</p> <p>El diseño integrado busca optimizar la eficiencia energética y el confort térmico de manera conjunta entre parámetros de arquitectura e ingeniería. El diseño integrado tendrá como ventaja la verificación a etapas tempranas de la factibilidad técnica, económica y cultural de posibles tecnologías para la autogeneración de energía de manera local y el ahorro de energía.</p>	4.1

 <p>Control de la radiación solar directa</p>	<p>Se cuentan con elementos o medidas para controlar la radiación solar directa en ventanas para la protección del sobrecalentamiento.</p> <p>La radiación solar directa a través de las ventanas del edificio es la fuente más grande de sobrecalentamiento en los climas cálidos. Es por tal que se deben enfatizar medidas para controlar los montes de radiación directa que atraviese la ventanería del edificio. En principio se podría por otra parte enfatizar los importes de radiación indirecta, difusa o reflejada. Esta última puede contribuir a la iluminación natural del edificio y ayudar a prescindir de un alto uso de iluminación artificial en horas del día. Sin embargo, dependiendo de las condiciones locales, puede ser conveniente permitir la entrada de un poco de radiación solar directa en las horas del día más frías.</p>	<p>4.3</p>
 <p>Energía incorporada</p>	<p>Se minimiza la energía incorporada de las edificaciones.</p> <p>La minimización de la energía incorporada (energía utilizada para los materiales, los productos y los trabajos de construcción y deconstrucción) debe ser un objetivo en todas las fases de la construcción (fabricación, entrega, procesamiento y finalmente separabilidad, reutilización y reciclaje en caso de demolición y eliminación). La demanda de energía incorporada (y de gases de efecto invernadero incorporados) es de un orden de magnitud similar a la demanda de energía (o de emisiones de gases de efecto invernadero) para el funcionamiento de un edificio durante su ciclo de vida. Una estrategia de optimización bien pensada con respecto a la energía incorporada también ayuda a mitigar la creciente escasez de materiales en la industria de la construcción. La gestión de materiales circulares (reciclaje) es una herramienta clave en la optimización de la energía incorporada.</p>	<p>4.10</p>

 <p>Aislamiento térmico de la envolvente</p>	<p>Se proporciona aislamiento térmico en techos y demás superficies que lo ameriten.</p> <p>El aislamiento térmico de la envolvente (techos, paredes, ventanas, y pisos en contacto con el suelo) es un principio importante en la eficiencia energética y confort térmico de edificaciones. Sin embargo, el grado de adecuación de la protección térmica y de las superficies que se aíslan depende en gran medida de la zona climática, el clima local y de la exposición de los componentes del edificio a la radiación solar directa. Para climas cálidos, los techos, altamente sujetos a radiación solar directa, pueden llegar a contener temperaturas mayores a los 80 grados centígrados (dependiendo de la superficie) en un día soleado. Esta temperatura crea un flujo de calor acelerado hacia el interior del edificio que debe ser evitado con un aislamiento térmico eficaz. Otras superficies como ventanas y paredes deben en principio ser aisladas térmicamente, sin embargo, el monto de aislamiento debe ser conmensurado con el fin de facilitar un enfriamiento de las superficies en horas de la noche, especialmente en zonas climáticas con alta diferencia entre temperaturas diarias y nocturnas.</p>	<p>4.3</p>
 <p>Reducción de materiales tóxicos</p>	<p>Se evitan materiales y componentes del edificio que emitan materiales tóxicos al aire interior.</p> <p>Un elevado confort térmico en los espacios interiores se convierte en un hecho absurdo si, al mismo tiempo, emisiones tóxicas de los componentes del edificio ponen en peligro la salud de los usuarios. Para esto se busca la reducción de materiales contaminantes que eleven el contenido de polvo y el contenido de compuestos volátiles (formaldehído entre otros).</p>	<p>4.4 y 4.5.2</p>

 <p>Movimiento del aire</p>	<p>Se genera un movimiento del aire en espacios internos para la mejora del confort.</p> <p>El movimiento del aire es un medio muy eficaz para mejorar el confort en ambientes calurosos. Es más eficaz cuando el aire es seco, ya que el proceso de evaporación en la piel es más eficaz que cuando el aire está muy saturado de vapor. Sin embargo, incluso cuando el aire es relativamente húmedo, las corrientes de aire se perciben claramente como agradables. Para generar estas corrientes de aire es posible recurrir a la ventilación natural o mecánica. En el primer caso es imprescindible que se sea consciente de apagar el aire acondicionado (si los existiese), con el fin de evitar un gasto innecesario de energía.</p>	<p>4.4 y 4.5</p>
 <p>Reducción de combustibles fósiles</p>	<p>Se evita el uso de combustibles fósiles.</p> <p>Siempre que sea posible, se evitará por completo la quema de combustibles fósiles en el edificio o en el recinto. A menudo es inevitable que la electricidad disponible a nivel local se genere sin combustibles fósiles. En este caso, el objetivo debe ser que la autogeneración de energía eléctrica renovable (principio 14) pueda compensar la cantidad de electricidad generada por los combustibles fósiles a lo largo del año. Por otra parte, el uso indirecto de combustibles fósiles como componente de la electricidad se reducirá siempre que sea posible.</p>	<p>N/A</p>
 <p>Enfriamiento nocturno</p>	<p>Se facilita el enfriamiento nocturno del edificio para el día siguiente particularmente en climas secos.</p> <p>En climas secos con importantes diferencias de temperatura entre el día y la noche (por ejemplo, mayor a 10°C), merece la pena la estrategia de enfriar la masa térmica interior del edificio con el aire exterior frío. En el mejor de los casos, esto debe hacerse tan profundamente que la frescura del interior refrigerado se mantenga hasta la noche. No es posible cubrir más de un ciclo día-noche económicamente. En climas altamente húmedos, el intercambio de aire externo nocturno directo puede llegar a no ser tan favorable. El ciclo de humedad relativa es generalmente más alto en horas nocturnas, debido a la baja en temperatura. Por lo tal, el aire externo puede llegar a deteriorar las condiciones controladas de humedad que se mantuvieron durante el día en edificios climatizados en climas húmedos.</p>	<p>4.4 y 4.5</p>

 <p>Diseño bioclimático de los espacios exteriores</p>	<p>Se optimizan espacios exteriores para facilitar un mejor confort térmico.</p> <p>Tanto plantas como toldos y muros pueden facilitar la producción de sombras y flujos de aire claves para espacios exteriores. Estas consideraciones pueden llevar a incluso tener un efecto positivo en el confort dentro de los edificios.</p>	<p>4.2</p>
 <p>Equipos eléctricos y luminarias de alta eficiencia</p>	<p>Se proporciona equipo eléctrico y luminarias de alta eficiencia.</p> <p>Equipos y aparatos eléctricos instalados de forma permanente incluyen los grandes electrodomésticos y los equipos auxiliares de los edificios, como bombas, ventiladores, válvulas, etc. Equipos eléctricos y luminarias de alta eficiencia (por ejemplo LED) se han convertido ya en las tecnologías más obvias por razones económicas. El uso de equipo de alta eficiencia debe ser especificado ya que este influye el consumo energético y el diseño de los sistemas y/o estrategia de climatización.</p>	<p>N/A</p>
 <p>Comportamiento de los usuarios</p>	<p>Se establecen pautas para el ahorro basado en el comportamiento de los usuarios.</p> <p>Gran parte de la eficiencia energética en edificaciones tiene que ver con el uso correcto de equipos eléctricos, así como el uso de agua caliente. Por otra parte, zonas con aire acondicionado pueden llevar a un gasto energético si condiciones propicias de hermeticidad no se satisfacen (ventanas y puertas cerradas). Muchos de estos factores pueden prevenirse con campañas sencillas de concientización a los usuarios finales de las edificaciones.</p>	<p>N/A</p>
 <p>Manejo consciente del agua</p>	<p>Se establecen pautas técnicas para el manejo de agua.</p> <p>En conjunto con Principio 12, las pautas técnicas del manejo del agua incluirán información sobre el dimensionamiento y la selección de los dispositivos y accesorios de ahorro de agua. Las pautas se expresan sobre la demanda de agua y el uso del agua en el edificio, los principios del diseño de la instalación del sistema y de accesorios, el manejo y el posible uso de las aguas pluviales, así como las aguas grises y las aguas residuales. Se presta especial atención al agua caliente debido a la mayor demanda de energía.</p>	<p>N/A</p>

 <p>Climatización eficaz</p>	<p>Se promueve un sistema de climatización de alta eficiencia en recintos aislados.</p> <p>Cuando no se pueda prescindir de la climatización artificial u aire acondicionado, ésta debería llevarse a cabo con la mayor eficiencia posible y el frío producido deberá conservarse cuidadosamente en los locales refrigerados. Con el aire acondicionado, se crea un clima interior artificial. Esto va acompañado de una delimitación coherente entre el interior y el exterior a través de la envolvente del edificio. Este es también el requisito previo para mantener cuidadosamente el frío generado, en primer lugar, a través de una envolvente del edificio adecuadamente aislada y ventanas sombreadas, en segundo lugar, a través de una envolvente razonablemente hermética y en tercer lugar a través de la recuperación de energía durante el intercambio de aire.</p>	<p>4.6 y 4.7</p>
 <p>Autogeneración de energía eléctrica renovable</p>	<p>Se maximizan las superficies disponibles para la autogeneración de energía eléctrica renovable.</p> <p>El mercado de energías renovables ha llegado a tener una paridad económica con otras formas de energía convencionales. En particular, la energía solar es una de las alternativas más factibles técnica y económicamente para la autogeneración de energía en hogares, oficinas y escuelas. La autogeneración con energía solar permite no solo ahorros de energía, pero también la reducción de emisiones de carbono y como tal debe favorecer tanto como sea posible. Para esto se deberían adecuar áreas y superficies de edificios para el uso de estas fuentes de energía.</p>	<p>4.8</p>
 <p>Monitoreo</p>	<p>Se establece un monitoreo de los principales parámetros que afectan la eficiencia y el confort.</p> <p>La forma clave para controlar y optimizar la eficiencia energética y el confort térmico sólo puede registrarse si se facilitan datos de medición al respecto. Sólo así los usuarios y los operadores de los edificios pueden actuar de forma específica para mejorar estos dos parámetros.</p>	<p>4.9</p>



**B**

**BASES TÉCNICAS / TDR  
ESTANDARIZADOS**



## 4. Aspectos técnicos

### 4.1 Filosofía de diseño

#### 4.1.1 Fases de diseño

El diseño y la ejecución de instituciones educativas con criterios EECA, requiere tomar en consideración diversos aspectos en todas las fases de diseño, que van desde el programa o layout hasta la ingeniería de detalle. En la figura 13 se muestran de manera simplificada diversas consideraciones para las distintas fases de diseño, y se destacan en verde las fases en las cuales resulta más necesario el diseño integrado entre las distintas especialidades que participan en el desarrollo de un proyecto.

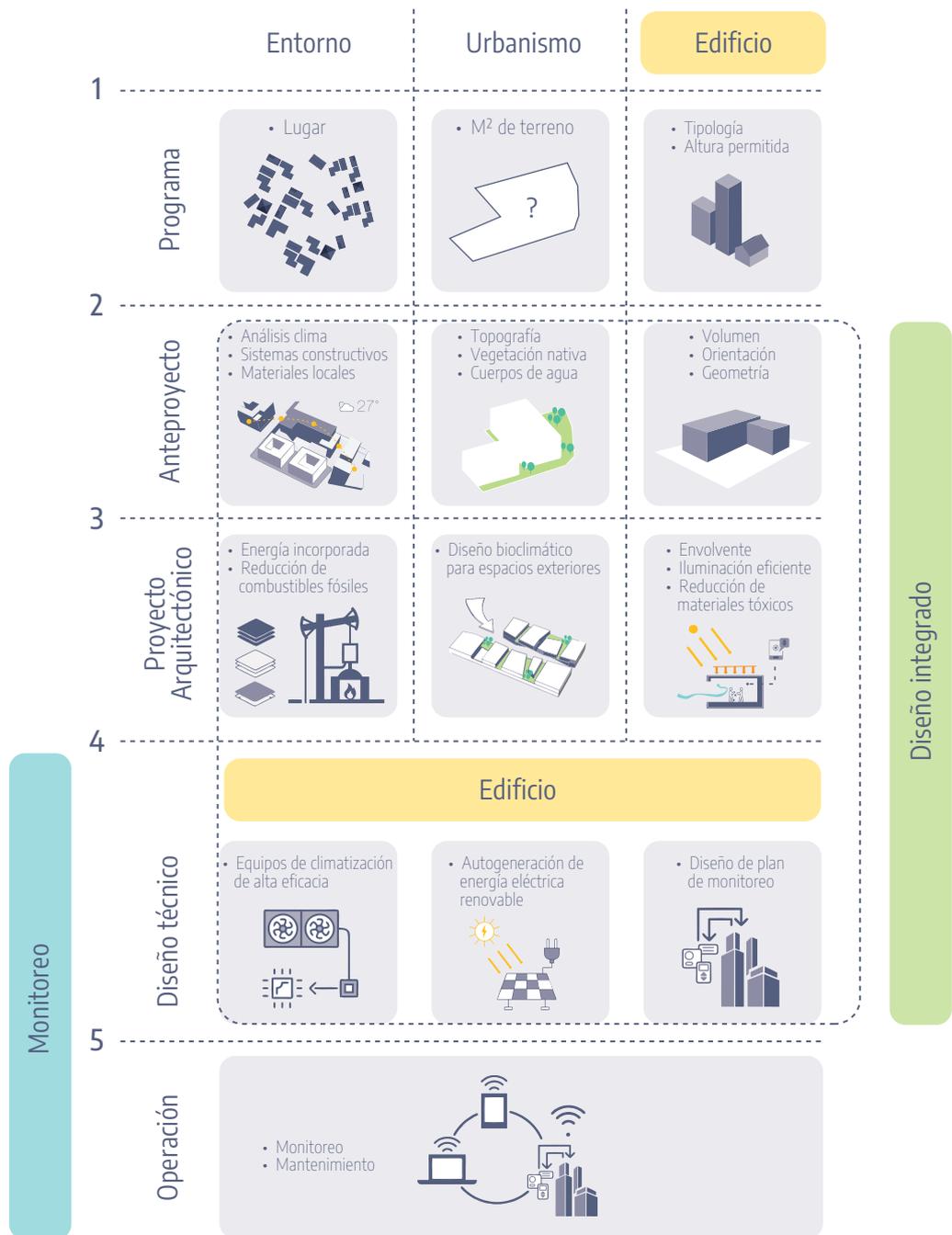


Figura 13 Consideraciones para las distintas fases de diseño a nivel de entorno, urbanismo y edificio.

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2 Diseño integrado

El diseño integrado es una estrategia que tiene amplias ventajas al ser utilizada en el diseño de edificaciones con criterios de confort y eficiencia energética, ya que incorpora de manera coordinada el trabajo de las distintas especialidades que están asociadas al desempeño energético y ambiental del edificio. Típicamente, la especialidad de arquitectura plantea las bases del proyecto y luego las distintas especialidades se van ajustando a estas bases, de manera que las modificaciones en el proyecto arquitectónico son principalmente asociadas a temas estructurales o técnicos como el paso de tuberías o requerimientos de espacio para máquinas. Esto se muestra de manera esquemática en la figura 14.

Manera usual:

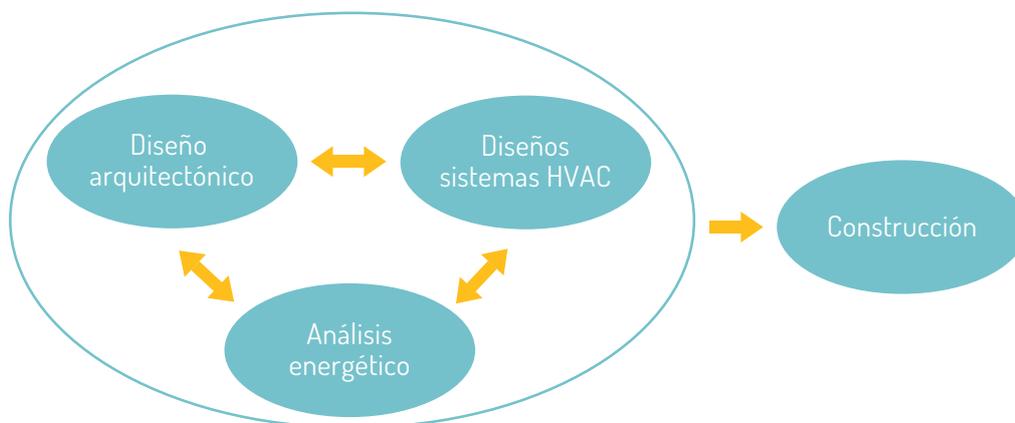


**Figura 14 Interacción típica entre especialidades para el desarrollo de un proyecto.** ▲

Fuente: Sustainable building design for tropical climates. UN Habitat.

En la óptica del diseño integrado, la arquitectura trabaja a la par con las especialidades de sistemas como iluminación y climatización; además, se integra una especialidad de Eficiencia Energética o de Análisis Energético, con dedicación exclusiva a evaluar el desempeño energético del edificio, y retroalimentando a las demás especialidades, especialmente a Arquitectura y a Climatización.

Esta forma de diseño integrado se muestra en la figura 15.



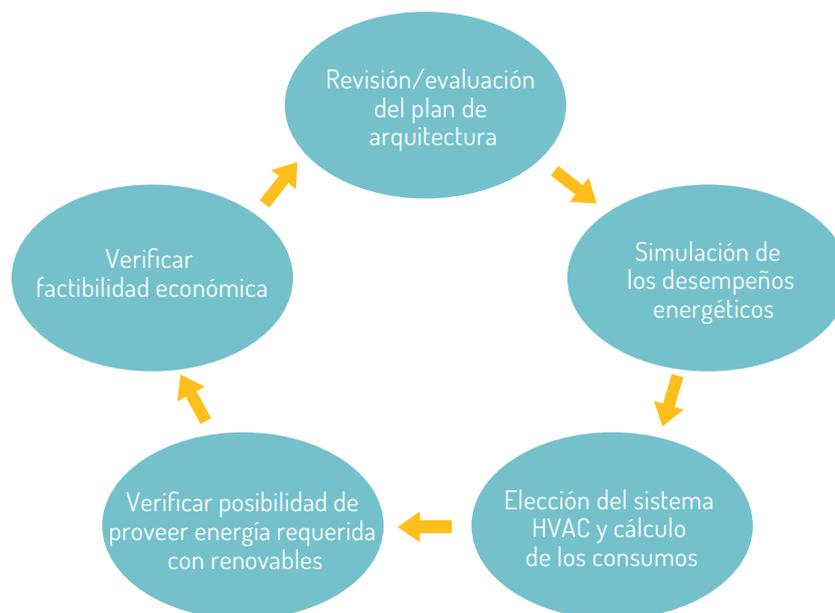
**Figura 15 Interacción entre las distintas especialidades para el desarrollo de un proyecto con Diseño Integrado.** ▲

Fuente: Sustainable building design for tropical climates. UN Habitat.

El especialista de eficiencia energética además estará encargado de evaluar las distintas variantes de diseño arquitectónico en etapas tempranas y determinar al menos:

1. El potencial consumo de energía dada la orientación, alturas, aperturas, envolvente, y tipología de la edificación.
2. Las superficies disponibles y el potencial para la autogeneración de energía solar.
3. El potencial para la ventilación e iluminación natural.

El diseño integrado tendrá como ventaja, en etapas tempranas de un proyecto, la verificación de la factibilidad técnica, económica y cultural de posibles tecnologías para la autogeneración de energía de manera local y el ahorro de energía. Este diseño integrado se puede considerar también como un proceso de mejora continua, con actividades mínimas como las indicadas en la figura 16:



**Figura 16 Flujo de trabajo en un proceso de diseño integrado.**

Fuente: Sustainable building design for tropical climates. UN Habitat.

Además de los procesos para la mejora continua en el diseño integrado, se pueden realizar procesos participativos complementarios, que pueden ser entre las distintas especialidades o entre estas y los futuros usuarios de las edificaciones. Este último caso podría ser especialmente relevante en edificaciones de uso público, en donde se quieren conocer las necesidades y visiones de los usuarios. Un ejemplo de este tipo de proceso puede ser el *Design Charrete*:

Un *Design Charrette* corresponde a un taller intensivo de trabajo de varias sesiones, donde se reúnen distintos participantes (de diferentes especialidades), para evaluar un proyecto de arquitectura y construcción, desde el punto de vista de los criterios de eficiencia energética y confort adaptativo (EECA) definidos en el proyecto CEELA. Los enfoques que tiene este taller son al menos los siguientes:

**Tabla 8 Enfoques para el desarrollo de una Design Charrette.**

Enfoque en principios de EECA	Enfoque en estrategias de los principios de EECA priorizados	Decisión de medidas concretas en base a resultados
Los equipos de trabajo se enfocan en determinar los principios de EECA que se consideran de mayor relevancia en el proyecto.	Los equipos de trabajo se enfocan en levantar estrategias en base a los principios de EECA que han sido priorizados.	Los equipos de trabajo se enfocan priorizar medidas de EECA en base a datos y resultados concretos de los estudios realizados por el equipo CEELA.

En la tabla 9 se muestran ejemplos de resultados que se podrían obtener de trabajo del proceso de *Design Charrette*, en tres sesiones distintas:

**Tabla 9 Resultados del trabajo en los equipos.**

Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3
Priorización de los principios de EECA que son relevantes para el proyecto, indicando su respectivo impacto y conclusiones relevantes.	Priorización de estrategias de diseño que buscan mejorar el confort térmico e incrementar la eficiencia energética del proyecto. Identificar los resultados de la aplicación de los principios de EECA en el proyecto.	Evaluación de estrategias priorizadas según criterios técnicos y económicos. Selección de medidas que se propone avanzar a etapa de diseño.

El diagrama muestra un flujo de tres elementos conectados por líneas curvas azules. El primer elemento es un círculo verde con el texto 'Principio EECA priorizado'. Una línea curva azul lo conecta con el segundo elemento, un círculo amarillo con el texto 'Estrategia concreta'. Otra línea curva azul lo conecta con el tercer elemento, un círculo gris con el texto 'Medida de diseño'.

## 4.2 Emplazamiento y espacios exteriores

Se deben evaluar distintas estrategias de planeación urbana, diseño urbano y de emplazamiento de edificios en el terreno para mejorar las condiciones bioclimáticas tanto del espacio público como de las edificaciones.

En un proyecto urbano o un proyecto de un conjunto de edificios, se debe evaluar y optimizar el balance entre el confort del espacio público (prioridad en banquetas, plazas y parques) y la mejor orientación del propio edificio a construir.

Como condición mínima, se debe contar con la siguiente información para conocer las condiciones climáticas del lugar y evaluar estrategias de emplazamiento:

1. Temperaturas mínimas y máximas, humedad relativa.
2. Roseta o rosa de los vientos, para determinar dirección y velocidad de vientos dominantes.
3. Trayectoria solar, para determinar orientación de la radiación más fuerte en el terreno.

Se deberá evaluar como mínimo una de las siguientes estrategias para ser aplicadas en el diseño de la(s) edificación(es):

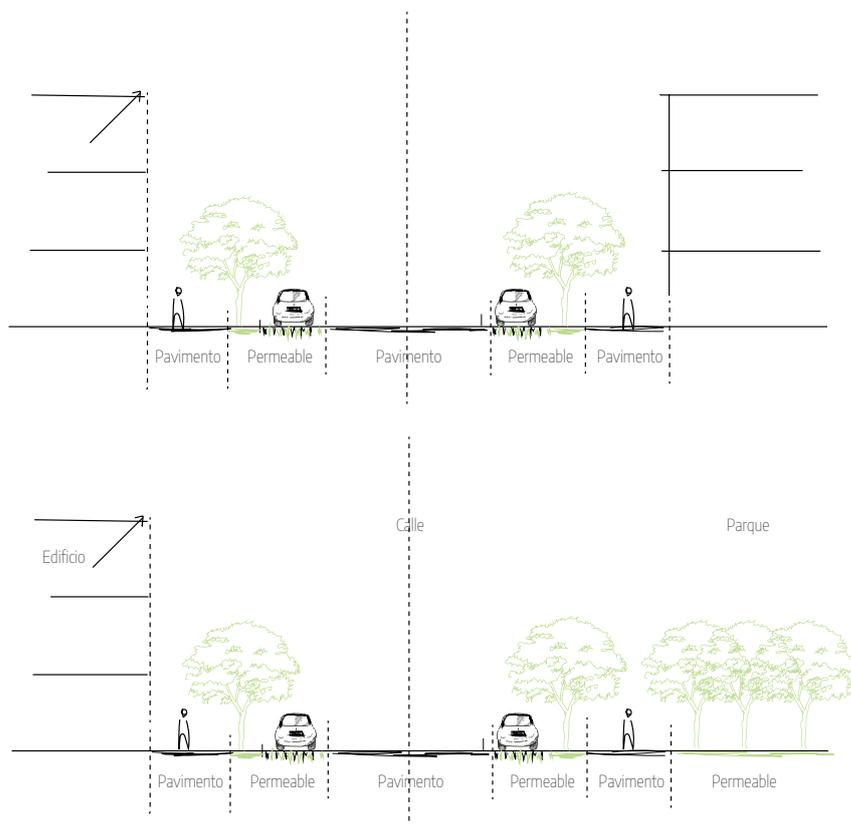
### **a) Disminución de islas de calor a través de cuerpos de vegetación y permeabilidad del suelo.**

*Esta estrategia aplica en climas cálido húmedo y cálido seco.*

Se debe asegurar la existencia de generosas áreas verdes en forma de parques y mediante la arborización de las calles que proveen sombra a los edificios y a las vialidades. Toda la vegetación debe ser nativa o adaptada para no necesitar riego. En caso de que un riego mínimo sea necesario, este será automatizado y según uno de los métodos siguientes:

- Riego por aspersion (regador de impacto, boquilla fija y rotores o rotores MP rotador).
- Microjet y micro-aspersores.
- Goteo.

De manera conjunta, se minimiza el área pavimentada (vialidades y banquetas/aceras) y se favorecen los estacionamientos con pavimento permeable (por ejemplo, en forma de adopasto).



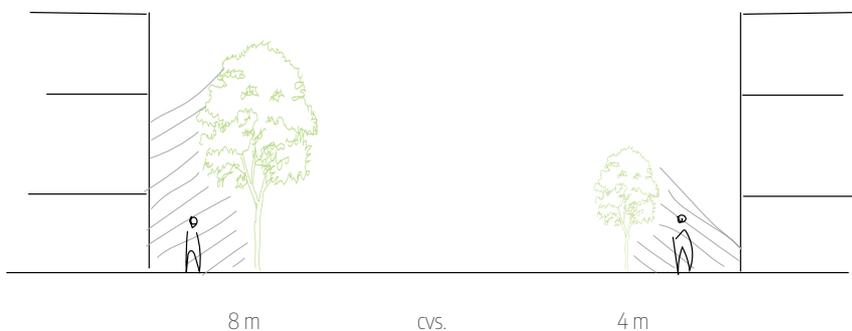
**Figura 17 Ejemplos de estrategias para la reducción de islas de calor a través de cuerpos de vegetación y permeabilidad del suelo.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

**b) Conservación de la vegetación existente– sombra desde el día 1.**

*Esta estrategia aplica en climas cálido húmedo y cálido seco.*

Se debe respetar e integrar la vegetación existente en los proyectos para aprovechar la calidad de sombra que puedan dar los árboles desde el primer día de la ocupación de un edificio o un conjunto de edificios.



**Figura 18 Conservación de la vegetación existente.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

### c) Planeación de morfología urbana adecuada al clima

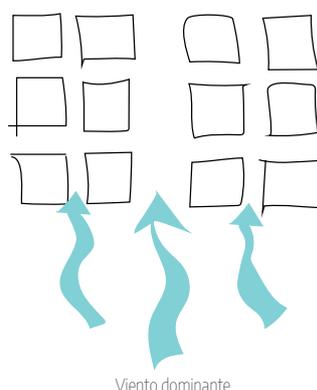
Se debe de encontrar un compromiso entre la mejor orientación para un edificio (estrategia b. **Optimización bioclimática de edificios**) y su espacio público (estrategia a. **Optimización bioclimática del espacio público**).

Se deberá evaluar la factibilidad de las siguientes acciones y aplicar las más adecuadas según el lugar y características del proyecto.

#### C.1) Optimización bioclimática del espacio público

Esta acción se puede desarrollar de diversas maneras, dependiendo de la disponibilidad de espacios y las geometrías de las edificaciones. A continuación se indican algunas de estas:

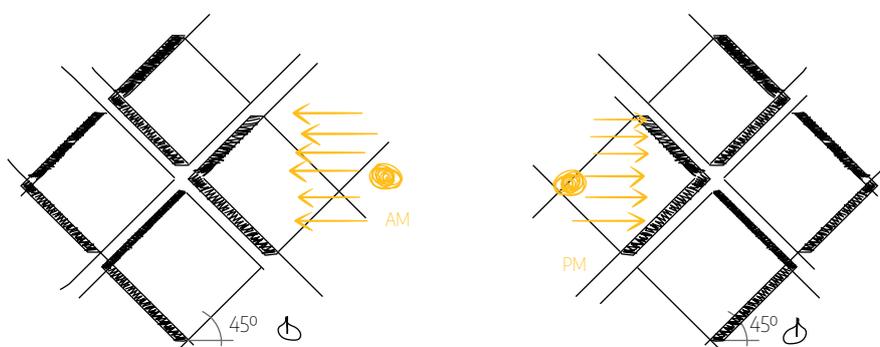
- i. Calles abiertas en dirección de vientos dominantes para libre circulación del aire. *(prioridad en clima cálido húmedo).*



**Figura 19** Circulación del aire por calles abiertas en dirección del viento dominante. ▲

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

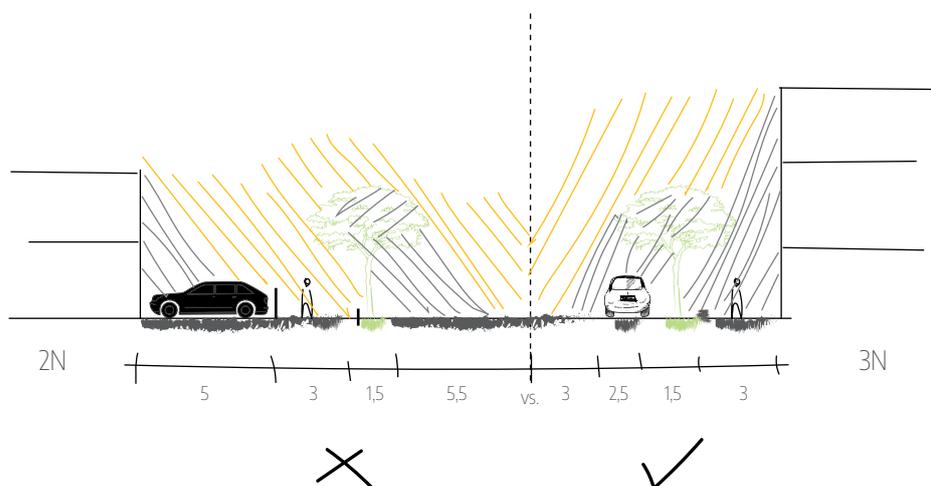
- ii. Trazo de calles giradas a 45° respecto al norte que permiten un sombreado de las banquetas de un lado de la calle a cualquier hora del día. *(prioridad en clima cálido seco).*



**Figura 20** Sombreamiento sobre zonas de circulación favorecidas por la orientación de las edificaciones. ▲

Fuente: Elaboración propia.

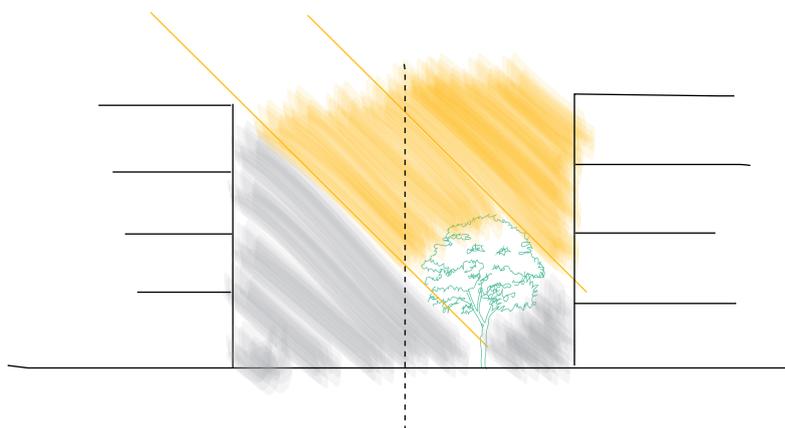
- iii. Fachadas de edificaciones en contacto inmediato con la vereda / andén / acera para generar sombra. Esta estrategia es eficiente para edificaciones de más de 3 niveles (*prioridad en clima cálido seco*).



**Figura 21 Fachadas en contacto inmediato con las zonas de circulación para la generación de sombras.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

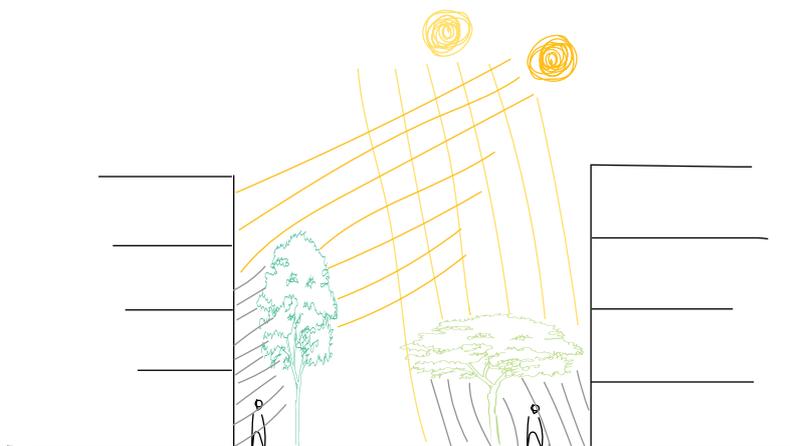
- iv. Calles estrechas para generar mayor sombra en la calle. (*aplica sólo en clima cálido seco*). En el caso de clima cálido húmedo, se pueden favorecer calles anchas para permitir circulación de aire.



**Figura 22 Ejemplo de uso de calles estrechas para la generación de sombras y circulación de aire.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

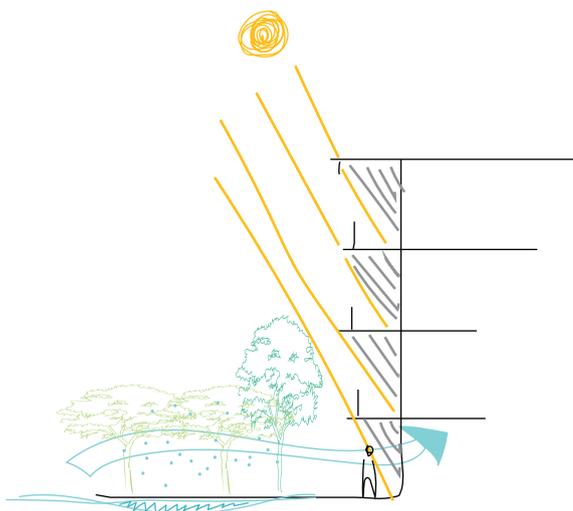
- v. Selección de arbolado en función de las sombras que se quiere obtener: con frondas horizontales se protege el peatón y con frondas verticales las fachadas (*aplica en cálido seco y húmedo*).



**Figura 23 Tipos de sombra para distintos arboles.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

- vi. Cuerpos de agua en combinación con vegetación para fomentar un efecto de evapotranspiración y así reducir la temperatura ambiental . (*aplica sólo en clima cálido seco*).

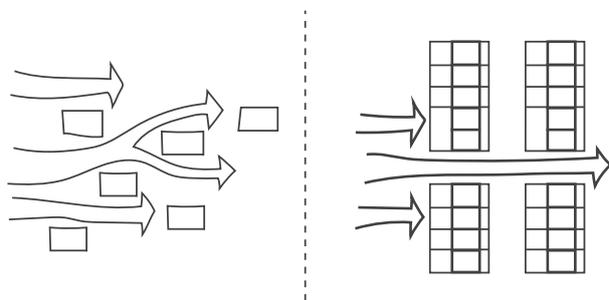


**Figura 24 Ejemplo de evapotranspiración con cuerpos de agua y vegetación.**

Fuente: Elaboración propia.

C.2) Optimización bioclimática de distribución de edificios

- i. Propiciar la distribución no uniforme de volúmenes para permitir el libre flujo de aire entre los edificios (*prioridad en clima cálido húmedo*).

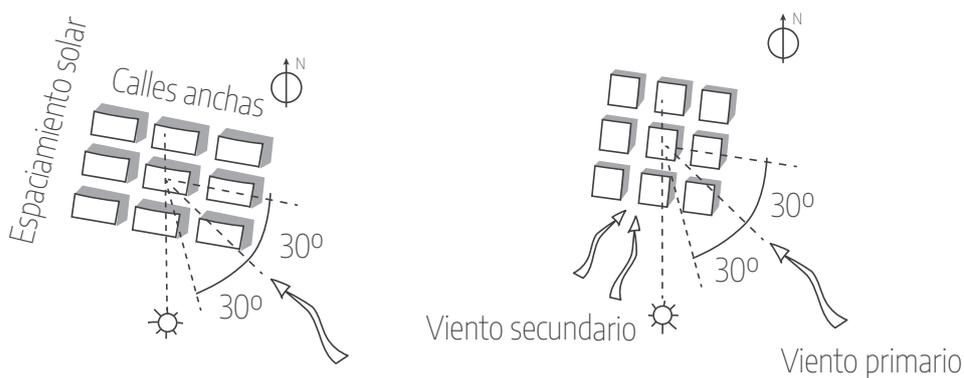


**Figura 25 Optimización del flujo de aire entre edificios.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

La configuración no uniforme (izquierda) permite que la velocidad del viento no sufra reducciones sustanciales. Una configuración uniforme bloquea el viento para edificaciones en la zona posterior.

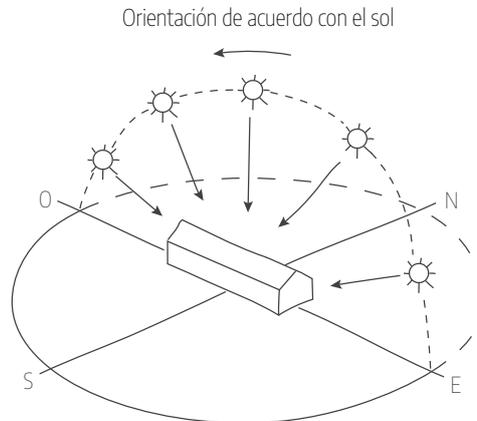
- ii. Propiciar la orientación del edificio en 20 a 30° con respecto a los vientos dominantes para optimizar ventilación cruzada. (*prioridad en clima cálido húmedo*).



**Figura 26 Ejemplo del efecto de la orientación de los edificios con respecto a los vientos dominantes.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

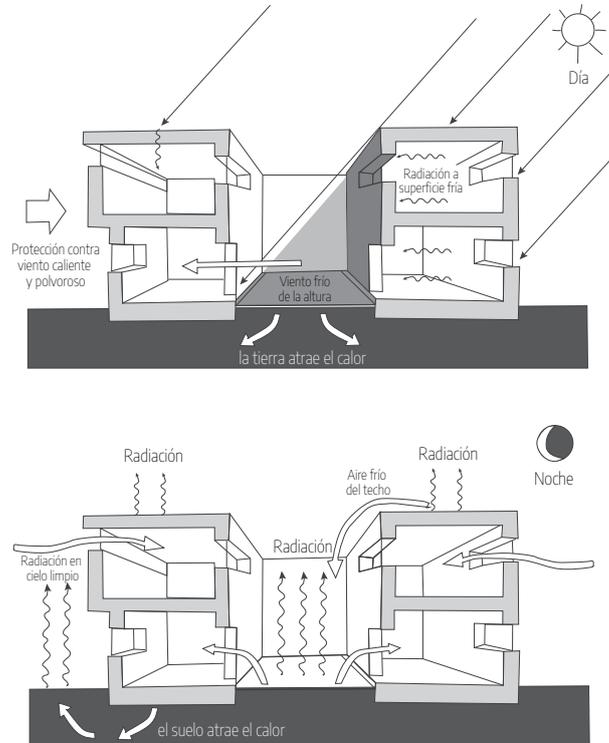
- iii. Propiciar la orientación de bloques alargados en sentido oriente – poniente para tener fachadas largas en norte y sur y así reducir radiación solar sobre las fachadas. (*prioridad en clima cálido seco*).



**Figura 27 Trayectoria solar y su incidencia sobre un bloque orientado oriente – poniente.** ▲

Fuente: Elaboración propia.

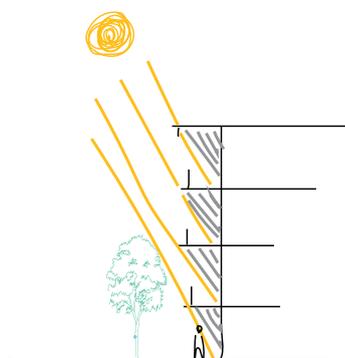
- iv. Propiciar tipologías de edificios que generen espacios de sombra por sus propios paramentos como patio, retranqueos de fachadas etc. para tener pozo de aire más fresco. (*aplica en clima cálido seco*).



**Figura 28 Ejemplos de espacios de sombras interiores en edificaciones.** ▲

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

- v. Favorecer tipologías de edificios que propician la generación de sombra sobre la fachada y sobre los andadores peatonales (balcones, volados, verandas, etc.), (aplica en cálido seco y húmedo).



**Figura 29 Edificación con sombra sobre su fachada.**

Fuente: Elaboración propia.

## 4.3 Requerimientos técnicos envolvente y arquitectura

### 4.3.1 Recomendaciones generales

En la tabla siguiente se muestran a nivel conceptual distintas estrategias de diseño que se pueden aplicar en cada uno de los climas considerados.

**Tabla 10 Estrategias de diseño recomendadas.**

Clima	1ra prioridad	2da prioridad	Diseño
Cálido seco	Sombreamiento	Ventilación nocturna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compacto.</li> <li>• Calles estrechas orientadas N/S para maximizar sombras.</li> <li>• Edificaciones rotadas para aumentar sombras en la calle</li> <li>• Rotar edificaciones de acuerdo a viento predominante en las noches de temporadas cálidas.</li> <li>• Bloques elongados en la dirección E/O.</li> <li>• Sombreamiento de ventanas o elementos traslúcidos.</li> <li>• Aislamiento en techo y al menos en muros expuestos directamente al sol.</li> </ul>
Cálido húmedo	Ventilación	Sombreamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificios en disposición no alineada para favorecer ventilación.</li> <li>• Orientar las calles 20 a 30° oblicuas al viento predominante.</li> <li>• Bloques elongados en la dirección E/O.</li> <li>• Calles anchas para facilitar el flujo de viento.</li> <li>• Sombreamiento de ventanas o elementos traslúcidos.</li> <li>• Aislamiento en techo y al menos en muros expuestos directamente al sol.</li> <li>• Para temperaturas y humedades demasiado altas (36° y 80%), se requiere climatización y un sistema de ventilación mecánico con recuperación de calor.</li> </ul>

### 4.3.2 Factor de forma

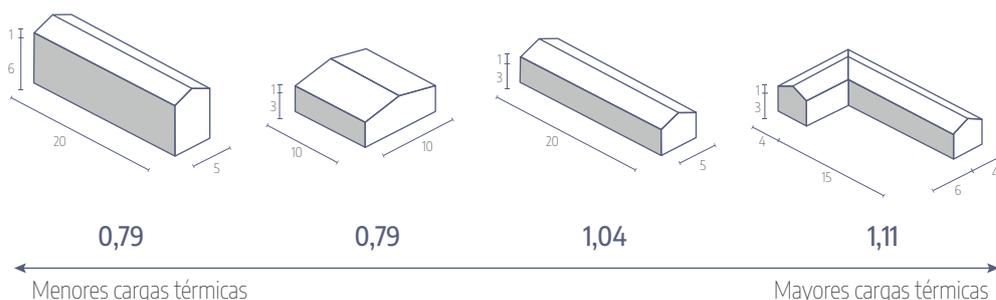
El diseño de la edificación debe tener en cuenta el factor de forma a la hora de definir su geometría. Este factor se define de la siguiente manera:

$$\text{Factor de forma} = \frac{\sum \text{superficies de envolvente (m}^2\text{)}}{\sum \text{superficie habitable edificio (m}^2\text{)}}$$

Un bajo factor de forma significa que un edificio tendrá menor superficie expuesta, por lo tanto, menores cargas térmicas hacia el interior del recinto (CITEC UBB DECON UC, 2015).

Cuando las edificaciones tengan climatización activa, siempre se debe diseñar minimizando el factor de forma.

Edificación de 100 m<sup>2</sup>



**Figura 30** Ejemplo de factor de forma de acuerdo a volumen de la edificación. ▲

Fuente: Elaboración propia.

Cuando las edificaciones se climaticen naturalmente, se deberán tener en consideración otros aspectos adicionales:

- En climas cálidos secos, se deberá diseñar con un factor de forma óptimo que considere el uso de la edificación y la oscilación térmica. Por ejemplo, si la edificación tiene altas cargas internas y es utilizado en horarios de menor radiación solar, podría ser favorable diseñar con un mayor factor de forma que permita liberar el calor al exterior de manera más rápida.
- En climas cálidos húmedos, como la oscilación es menor, se deberán evaluar las cargas térmicas interiores y las exteriores. Se propiciará un mayor factor de forma cuando las cargas térmicas interiores sean mayores a las exteriores, especialmente a través de áreas que tienen menor incidencia de radiación solar.

Estas recomendaciones se deben complementar con las indicaciones descritas en el capítulo 5.2.

### 4.3.3 Estanqueidad

Para clima cálido seco y cálido húmedo, se minimizarán las infiltraciones con el objetivo de tener el mayor control posible sobre la ventilación, ya sea a través de un sistema mecánico o mediante accionamiento manual.

Cuando los edificios estén climatizados, se deberán implementar al menos **tres** de las siguientes estrategias para reducir las infiltraciones:

- Ventanas de doble vidrio hermético.
- Marcos de ventanas con materiales que permitan mayor estanqueidad, como PVC.
- Sellos en ventanas y encuentro de materiales (ejemplo en cubiertas).
- Sellos de la envolvente y de los sistemas, de acuerdo a la tabla 11.

**Tabla 11 Recomendaciones de sellos (IC, 2014).**

Área o elemento	Recomendación
Sellos en ventanas.	Sello de silicona neutra o sello de silicona estructural.
Sellos en materiales de la envolvente (cubiertas, muros, juntas de dilatación).	Silicona neutra, espuma de poliuretano.
Sellos en instalaciones (paso de instalaciones a través de la envolvente).	Espuma de poliuretano, adhesivo de poliuretano. En el caso de sellos instalados en el exterior de la envolvente, estos deben contar con protección UV.

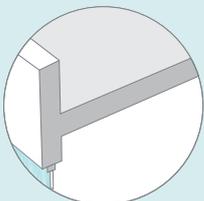
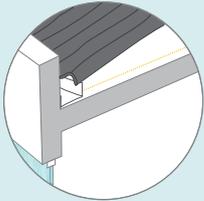
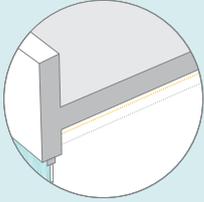
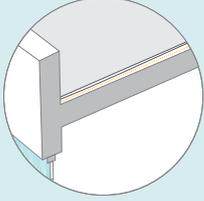
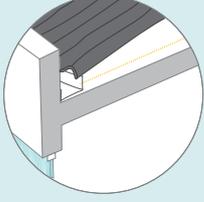
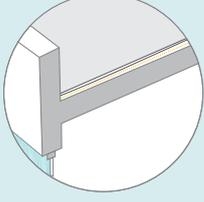
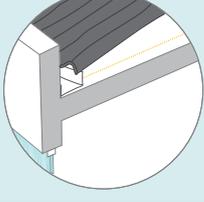
En el caso de edificaciones no climatizadas, el requisito de hermeticidad no se aplica.

### 4.3.4 Aislación térmica de la envolvente

Durante el proceso de diseño, se deberá tener en consideración el impacto de la envolvente (cubiertas, muros, ventanas, pisos y pisos ventilados) en las cargas térmicas de la edificación. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes que se deben considerar:

- **Aislamiento térmico en cubiertas:** Las cubiertas deben presentar un alto nivel de aislamiento térmico. Para edificaciones climatizadas, se deben seguir como mínimo los niveles de aislamiento según lo indicado a continuación:

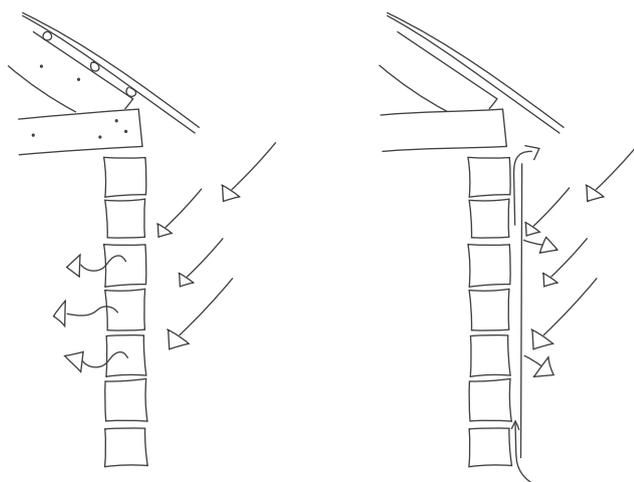
Tabla 12 Ejemplo de sistemas de aislamiento térmico.

Descripción e indicación	
	<p>Losa de hormigón o bloque sin aislamiento térmico. Valor de transmitancia típico <math>\sim 3,4 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>NO PERMITIDO.</p>
	<p>Losa de hormigón sin aislamiento con cubierta tipo cercha. Valor de transmitancia típico <math>\sim 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>NO PERMITIDO.</p>
	<p>Losa de hormigón o bloque con aislamiento térmico interior con al menos 40 mm de aislamiento térmico. Valor de transmitancia máximo <math>\sim 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>VALOR MÍNIMO PERMITIDO para climas cálido seco y cálido húmedos.</p>
	<p>Losa de hormigón o bloque con aislamiento térmico exterior de al menos 40 mm de espesor. Valor de transmitancia máximo <math>\sim 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>VALOR MÍNIMO PERMITIDO para climas cálido seco y cálido húmedos.</p>
	<p>Losa de hormigón o bloque con estructura tipo cercha, aislamiento térmico exterior de 40 mm. y entretecho ventilado. Valor de transmitancia estimado <math>\sim 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>VALOR PERMITIDO para ambos climas.</p>
	<p>Losa de hormigón o bloque con aislamiento térmico exterior con 100 mm de aislamiento térmico. Valor de transmitancia máximo <math>\sim 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>VALOR RECOMENDADO para ambos climas, principalmente cuando son edificaciones sin sistema de climatización.</p>
	<p>Losa de hormigón o bloque con estructura tipo cercha, aislamiento térmico exterior de 100 mm. y entretecho ventilado. Valor de transmitancia estimado <math>\sim 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}</math>.</p> <p>VALOR RECOMENDADO para ambos climas.</p>

Adicionalmente, la estrategia de aislamiento de cubierta se debe combinar con la selección de terminaciones de alta reflectancia como se presenta más adelante.

### 4.3.5 Fachadas ventiladas

Como una medida **complementaria** a la aislación térmica de la envolvente, se podrá implementar una fachada doble o una fachada ventilada que permita la disipación del calor generado por la radiación solar incidente.



**Figura 31 Radiación solar incidente sobre una fachada sin ventilar (izq.) y sobre una fachada ventilada (der.)**

Fuente: Elaboración propia.

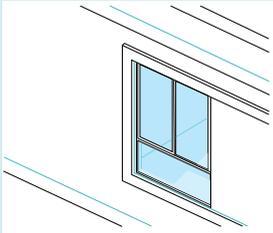
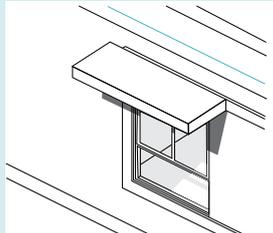
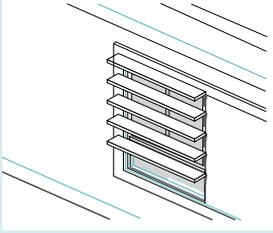
La fachada ventilada siempre deberá ser aplicada en combinación con la aislación térmica de la envolvente.

Se podrán considerar distintas expresiones arquitectónicas para la fachada ventilada, como celosías o paneles.

### 4.3.6 Protección solar

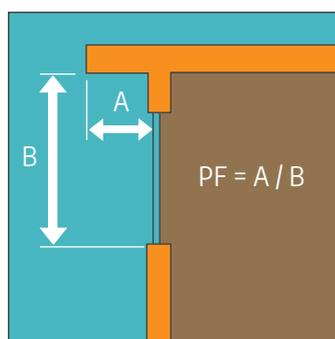
La protección solar debe ser considerada como un principio de diseño que se aborde desde el inicio de la planificación, considerando las características de: operación, orientación, iluminación natural, entre otros. Se deberá considerar al menos uno de los siguientes tipos de protecciones solares en aquellas ventanas orientadas hacia el sur en el hemisferio norte, o hacia el norte en el hemisferio sur.

Tabla 13 Tipologías de protección solar que se deben considerar para implementar.

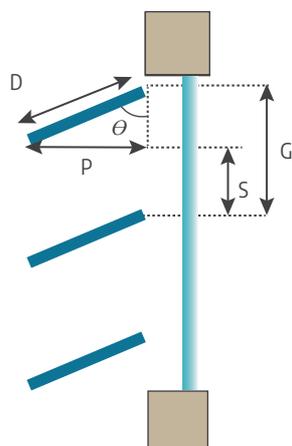
Tipo de protección solar	Descripción y requerimiento
	<p>Incorporación de láminas que reducen la incidencia solar en las ventanas.</p> <p>El conjunto de la ventana, incluyendo la protección solar, debe tener un valor de SHGC menor a 0,25</p>
	<p>Incorporación de alero horizontal.</p> <p>El especialista deberá proponer una longitud del alero y un ángulo de manera que su valor PF sea mayor a 0,5.</p>
	<p>Incorporación de lamas horizontales o celosías.</p> <p>El especialista deberá proponer una longitud del alero de manera que su valor PF sea mayor a 0,5.</p>

El factor PF de un alero, se define como el cociente entre la distancia alero - ventana (A) y la distancia vertical entre la base de la ventana y la parte superior del alero (B).

Si el alero está inclinado, se debe considerar el punto más bajo del alero para medir las distancias A y B.



En el caso de lamas o celosías, el factor PF se calcula con las distancias S y P como se indica en la siguiente figura.



$$\text{Projection Factor} = \frac{P}{S} = \frac{D \times \sin(\theta)}{G - D \times \cos(\theta)}$$

P= Projection, S= Spacing,  $\theta$ = Angle, G= Gap, D= Depth

**Figura 32 Cálculo del factor PF de un alero, lama o celosía.**

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.7 Reflectancia de la envolvente

La aplicación de recubrimientos de alta reflectancia se podrá considerar de manera complementaria a una capa de aislación y NO podrá reemplazar a esta última. Aumentar el espesor de aislación es una medida de mayor costo efectividad que la aplicación de recubrimientos de alta reflectancia.

Cuando se requiera el uso de recubrimientos de alta reflectancia, como por ejemplo, cuando se quieran mitigar islas de calor.

En el caso de climas cálidos húmedos, los techos son propensos al crecimiento de hongos y acumulación de humedad, lo que será más visible con este tipo de recubrimientos, por lo que se deberán utilizar recubrimientos que cuenten con elementos antihongos.

En climas cálidos (secos y húmedos), se recomienda que el recubrimiento reflectivo tenga un índice de reflectancia solar SRI superior a 90.

## 4.4 Calidad del aire interior

### 4.4.1 Parámetros de diseño

Para efectos de este manual, la calidad del aire interior hace referencia a los distintos parámetros que afectan la salud y el confort de los ocupantes del edificio,

incluyendo gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), Material Particulado (MP), así como a parámetros que afectan al confort térmico, principalmente la temperatura y la humedad relativa del aire. En este capítulo se indican estrategias únicamente para la dilución de contaminantes, mientras que las estrategias para control de temperatura y humedad son revisadas en las secciones 4.1, 4.2, 4.5, 4.6 y 4.7.

El equipo de diseño deberá definir las condiciones de ventilación natural o mecánica que permitan una concentración máxima permisible de CO<sub>2</sub> tipo IDA 2, según las calidades definidas por la norma europea UNE 13779:2008:

**Tabla 14 Categorías para calidad del aire según UNE 13779:2008.**

Categoría	Calidad	Edificio
IDA 1	Aire de óptima calidad	Hospitales, clínicas, laboratorios, guarderías.
IDA 2	Aire de buena calidad	Oficinas, residencias, sala de lecturas, aulas, museos, salas de tribunales, piscinas.
IDA 3	Aire de calidad media	Edificios comerciales, cines, teatros, habitación de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales deportivos, sala de computadores.
IDA 4	Aire de calidad baja	-

Las concentraciones máximas permitidas para cada una de estas categorías, se definen en concentraciones **por sobre** la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire exterior, son las indicadas a continuación:

**Tabla 15 Concentraciones máximas permitidas para CO<sub>2</sub> según categoría IDA.**

Clasificación	Concentración interior CO <sub>2</sub> (ppm)
IDA 1	<400
IDA 2	400 - 600
IDA 3	600 - 1000
IDA 4	>1000

De esta manera, si la concentración exterior de CO<sub>2</sub> es de 400ppm, las aulas se encuentran en la categoría IDA 2, por lo que un límite razonable es de entre 800 y 1.000ppm de CO<sub>2</sub>.

El volumen de aire necesario para el cumplimiento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> para cada edificación se obtiene mediante la ecuación:

$$Q_{ah} = \frac{Q_p \cdot P_s \cdot S \times 10^3}{IDA}$$

En donde:

Q<sub>ah</sub> corresponde al caudal de aire requerido.

Q<sub>p</sub> Caudal de CO<sub>2</sub> generado por persona (l/h · persona).

P<sub>s</sub> Cantidad de personas por superficie (persona/m<sup>2</sup>).

S Superficie de edificación (m<sup>2</sup>).

IDA = concentración límite de CO<sub>2</sub> por tipología de edificación.

La cantidad de CO<sub>2</sub> que emite por persona Q<sub>p</sub> dependerá de la actividad de las personas. Como referencia se puede tomar la siguiente tabla:

**Tabla 16 Cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por persona.**

Fuente: CES

	Carga Sensorial olf / ocupante	CO <sub>2</sub> [l/(h x ocupante)]
Sedentarios, 1-1,2 met <sup>1</sup> 0% de fumadores	1	19
<b>Ejercicio físico</b>		
Bajo, 3 met	4	50
Medio, 6 met	10	100
Alto (atlético), 10 met	20	170
<b>Niños</b>		
Centro de atención infantil (3-6 años), 2,7 met	1,2	18
Colegio (14-16 años), 1,2 met	1,3	19

*1 met es la tasa metabólica de una persona sedentaria en reposo (1 met = 58 W/m<sup>2</sup> de superficie cutánea).*

Cuando exista bibliografía local sobre los niveles de producción de CO<sub>2</sub> por ocupante, se utilizarán estas por sobre la referencia internacional.

#### 4.4.2 Reducción de materiales tóxicos

Se deberá prestar atención para evitar el uso de materiales con impacto negativo en la salud humana. Como mínimo, se deberán considerar las siguientes acciones:

- Evitar el uso de conservantes de la madera con biocidas, así como de materiales con un alto contenido de formaldehído en espacios interiores.
- No utilizar pinturas y barnices que contengan plomo y más de un 50% de disolventes.
- Para los materiales que emiten fibras minerales (por ejemplo, los materiales aislantes de fibra mineral) estos no deben entrar en contacto con el aire interior: en estos casos se deben colocar vellón o papel reforzado para separarles del ambiente interior.

#### 4.5 Ventilación natural

La ventilación natural será aplicable solo para climas cálido-secos sin sistemas de climatización.

Para climas cálidos húmedos, se utilizará ventilación natural únicamente cuando no resulte factible un sistema de climatización y ventilación mecánica por restricciones presupuestarias que estén bien fundamentadas.

La ventilación natural solo será un mecanismo de ventilación secundario para edificaciones que cuenten con sistema de climatización, siendo requerimiento el uso de ventilación mecánica (sección 4.6).

##### 4.5.1 Principios básicos

Durante la etapa de diseño se deben incorporar los siguientes principios para favorecer la ventilación natural:

- a. El aire se mueve desde zonas de baja presión (-) a zonas de alta presión (+).
- b. Cuando un flujo de aire pasa a través de una disminución de sección, existe un aumento de velocidad del flujo.
- c. Cuando un flujo de aire se encuentra con una edificación, la cara del edificio que está enfrentando el viento representa una zona de alta presión, mientras que las zonas laterales del edificio (paralelas a la dirección del viento), así como la cara que se encuentra a sotavento, son zonas de baja presión (-).
- d. La diferencia de temperaturas del aire en un recinto genera que el aire caliente se desplace hacia la parte superior de este, debido a su menor densidad. Esto genera un movimiento de aire que puede ser aprovechado para extraer el aire de manera natural.

A modo de guía, en la sección 4.5.2 se indican distintos principios de diseños para implementar estos principios básicos en el diseño:

## 4.5.2 Principios de diseño

**Requisito:** Se deberán analizar los siguientes principios de diseño para implementar la ventilación natural en los proyectos.

Por lo menos se deberá aplicar una de las medidas básicas según las características del proyecto.

En el caso del clima cálido húmedo se debe además considerar una de las medidas indicadas en “Optimización de la ventilación cruzada.”

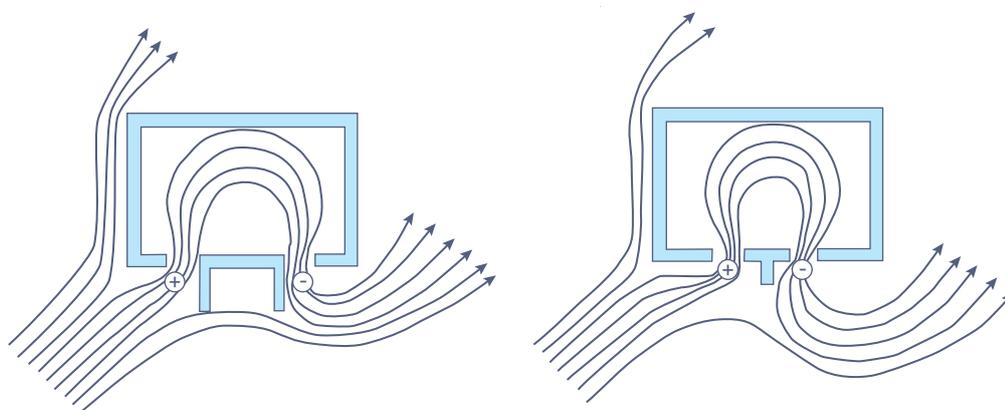
En ocasiones, cuando las medidas basadas en ventilación cruzada provocada por la orientación a los vientos dominantes no son óptimas por la densidad de construcción u otras obstrucciones al flujo de aire, se deberá aplicar una estrategia alterna (c.).

### Medidas básicas

Se deberá aplicar al menos una de las siguientes medidas básicas:

*Ventilación natural simple (entrada y salida de aire por aperturas en el mismo plano)*

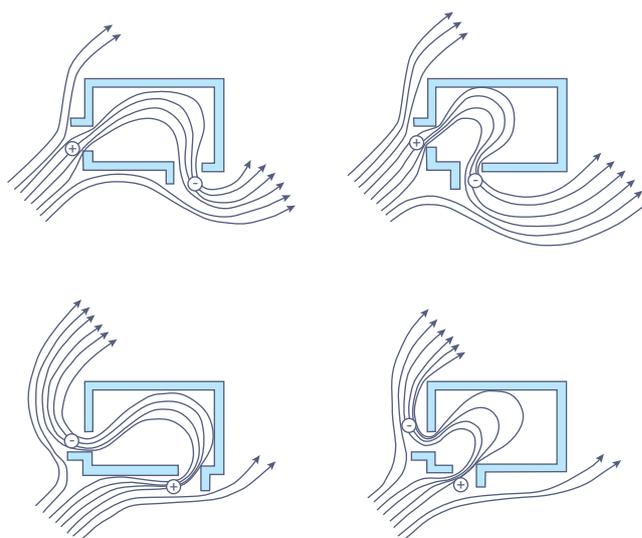
Se aplica en espacios o unidades que solo tengan una fachada hacia el exterior mediante una única o dos aperturas por la que entra y sale el aire. Su funcionamiento es más eficiente si la orientación del hueco coincide con la dirección del viento, y si éste está en contacto con una zona protegida del sol, como puede ser un patio.



**Figura 33 Ventilación natural en esquina (entrada y salida de aire por aperturas en planos perpendiculares).**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

Se aplica en espacios o unidades ubicados idealmente a 45° respecto al flujo de aire. Se puede optimizar la entrada de aire mediante paramentos verticales exteriores adosados a los vanos de las ventanas para conducir el aire hacía el interior.

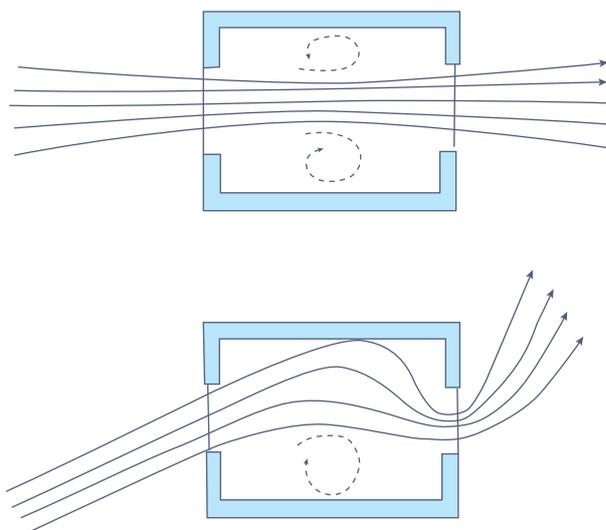


**Figura 34 Ventilación natural cruzada (entrada y salida de aire en muros paralelos).** ▲

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

Consiste en crear aberturas (puertas o ventanas) ubicadas en muros paralelos opuestos de la edificación, para permitir la circulación de aire en el recinto.

Una entrada de aire en un ángulo entre  $0^\circ$  y  $30^\circ$  con respecto a la dirección del viento mejora la ventilación porque genera más turbulencias en el espacio.



**Figura 35 Diferencia de flujo de aire según ángulo de entrada del aire.** ▲

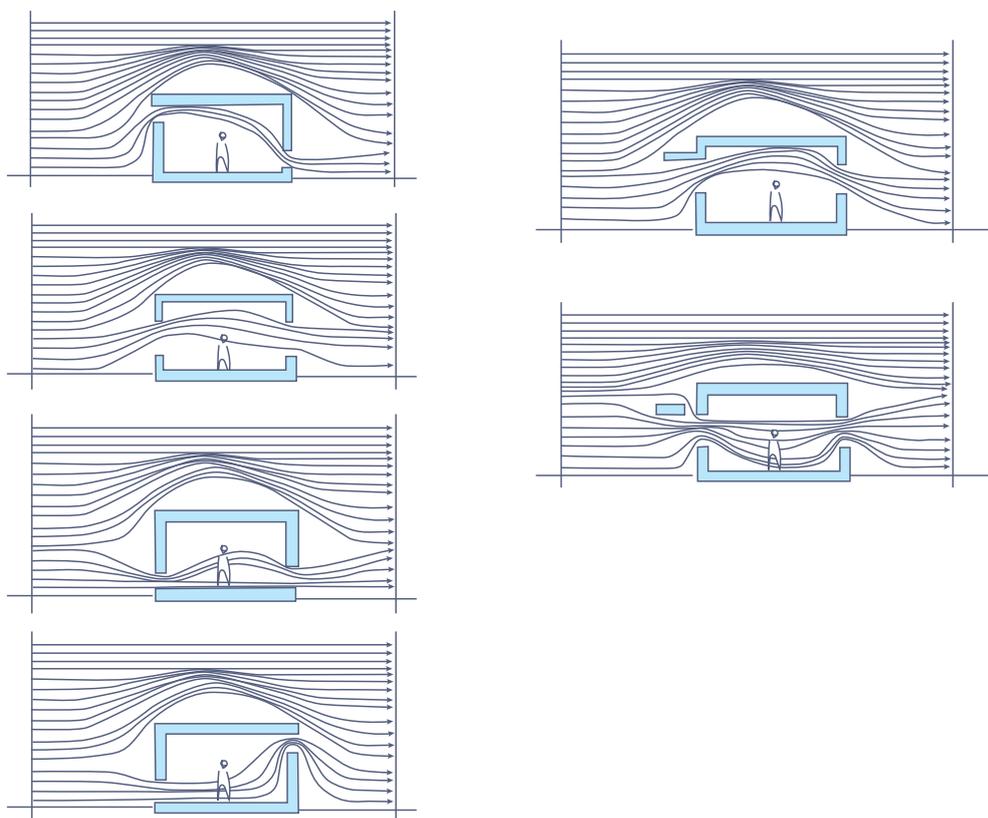
Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

**Optimización de ventilación cruzada** Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

Las edificaciones ubicadas en climas cálido-húmedo que opten por ventilación natural, deberán considerar al menos una estrategia para la optimización de la ventilación cruzada:

La posición de la ventana tiene diferentes efectos sobre el flujo de aire en el interior y se deberá definir según el uso de cada espacio. La superficie de entrada y salida debe ser igual, pero propiciando que el vano de la salida sea de un formato más horizontal que la entrada.

Se deberán considerar aleros horizontales arriba de los vanos para inducir un mayor flujo de aire al espacio a ventilar.



**Figura 36 Ejemplos de ventilación cruzada e influencia de elementos arquitectónicos.** ▲

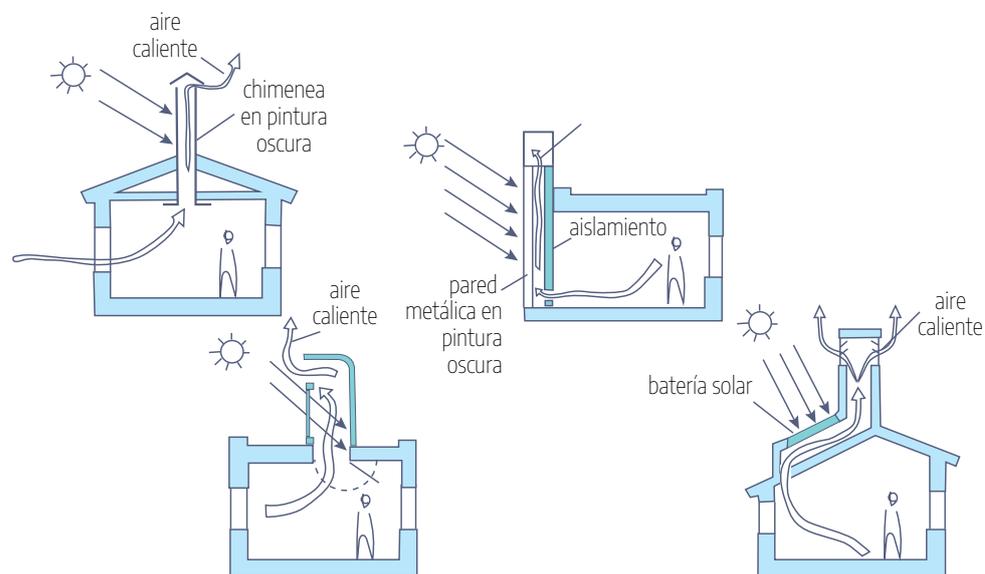
Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

### Estrategias adicionales

Las estrategias adicionales indicadas no son obligatorias, pero se recomienda analizar su factibilidad técnica para ser implementadas.

#### a. Chimenea térmica

Este sistema, también llamado ventilación inducida, hace uso de la estratificación natural del aire. El aire caliente se eleva, mientras que el aire denso y frío tiende a descender. Las aberturas de ventilación se colocan por tanto en la parte inferior y superior del espacio para provocar un flujo de aire vertical. Cuanto más significativa sea la diferencia de altura, mejor. El tiro frío se extrae de las entradas bajas, mientras que la succión del aire caliente se realiza a través de conductos de ventilación o chimeneas.

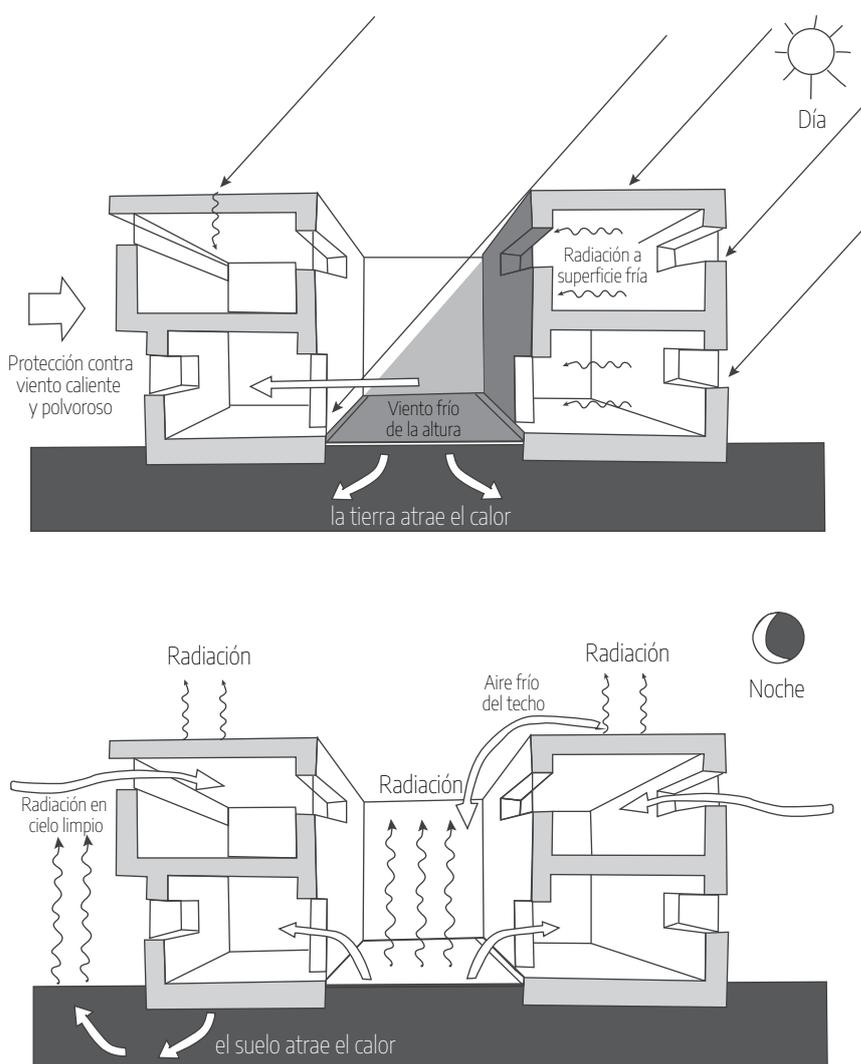


**Figura 37 Ejemplos de otras estrategias adicionales para mejorar ventilación.**

Fuente: Elaboración propia.

## b. Patios interiores

El patio es especialmente adecuado en climas cálidos y áridos, donde es tradicional y común. En un patio se puede retener una piscina de aire fresco de la noche, ya que es más pesado que el aire cálido circundante. Si el patio es pequeño (el ancho no es mayor que la altura), la brisa dejará intactas esas piscinas de aire fresco. El pequeño patio es un excelente regulador térmico. Los altos muros cortan el sol, excepto alrededor del mediodía, y grandes áreas de las superficies interiores y del piso están sombreadas durante el día, evitando un calentamiento excesivo. (Handbook Sustainable Building Design for Tropical Climates)

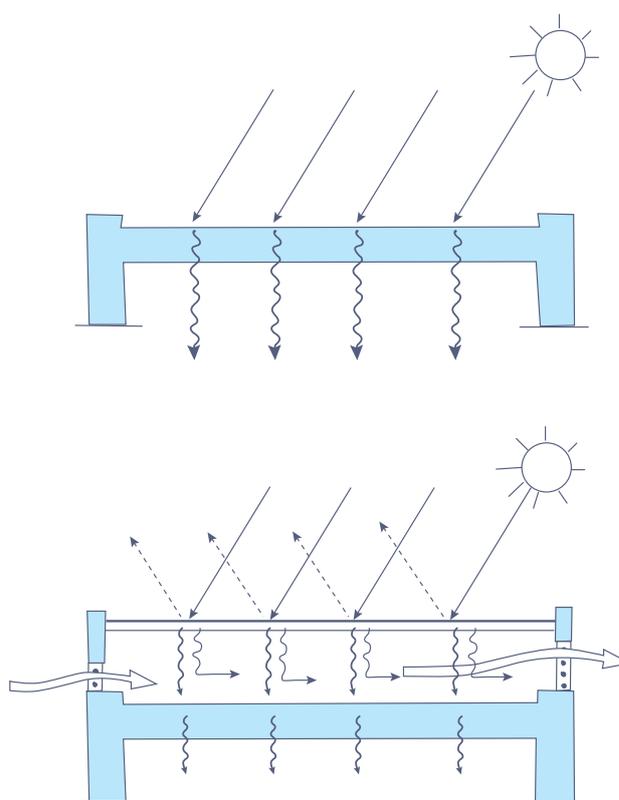


**Figura 38 Ejemplos de patios interiores.**

Fuente: Elaboración propia.

c. Techo ventilado

Un techo ventilado considera al menos dos aperturas en el espacio entre el cielo y el techo. Estas aperturas tendrán una mayor eficacia para eliminar el calor entre las dos pieles si las aperturas se ejecutan enfrentando los vientos dominantes y la abertura de salida (a sotavento) es más grande que la abertura de entrada (barlovento), además de estar a diferentes alturas para obtener el movimiento del aire por efecto chimenea cuando no sopla el viento. La carga de calor se reduce mediante la ventilación durante el día y se permite un enfriamiento rápido durante la noche. (Handbook Sustainable Building Design for Tropical Climates)



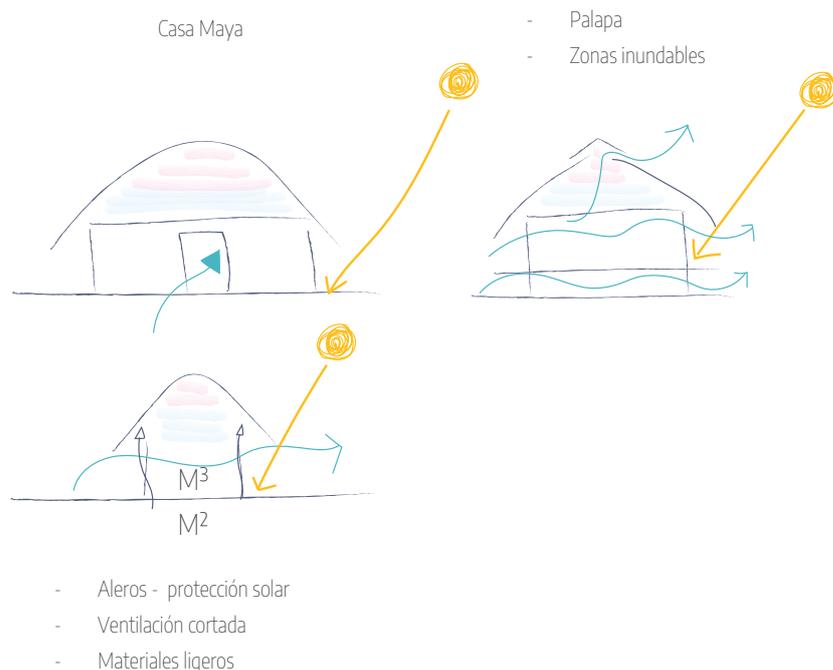
**Figura 39 Efecto del techo ventilado sobre la techumbre.**



Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

d. Principio de la palapa

La palapa, una tipología vernácula de zonas calidad húmedas, aprovecha el principio de la ventilación inducida, donde se crean aberturas cerca del suelo, permitiendo que la entrada de aire frío empuje el aire caliente hacia las salidas que se encuentran en el techo. Se apoya en el hecho de que el aire caliente tiende a ascender. El gran volumen de aire y la gran altura en el centro del espacio propician que el aire más caliente esté lejos de la altura de la cabeza. El techo inclinado protege el interior de la radiación solar.

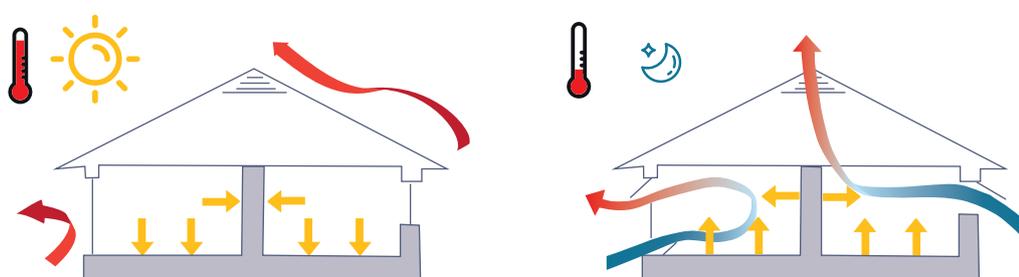


**Figura 40 Principio de la Palapa.**

Fuente: Elaboración propia.

e. Ventilación nocturna (clima cálido seco)

La ventilación nocturna elimina el calor acumulado durante el día y enfría la masa térmica utilizando las corrientes de aire nocturnas a menor temperatura. Este sistema es muy eficaz en climas cálido-secos, ya que tienen un diferencial de temperatura significativo entre día y noche, y permite la combinación con los otros sistemas de ventilación por viento o chimenea para aumentar la refrigeración nocturna, especialmente en edificios que se usan sólo durante el día. (AQSO arquitectos office).



**Figura 41 Flujos de aire para ventilación nocturna.**

Fuente: Elaboración propia, en base a Sustainable building design for tropical climates, UN Habitat.

## 4.6 Ventilación mecánica

### 4.6.1 Principios básicos

Para efectos de este manual, se entenderá como ventilación mecánica a aquella que tiene como función el movimiento del aire, mientras que el diseño y los principios para aquellos elementos que tienen la finalidad de acondicionar la temperatura y/o humedad del aire se detallan en la sección 4.7.

Para climas cálidos-húmedos, la ventilación mecánica será requerimiento obligatorio, excepto en aquellas ocasiones en donde existan restricciones económicas fundamentadas que no permitan contar con esto.

Todas las instalaciones que cuenten con sistemas de climatización tendrán como requerimiento obligatorio la instalación de un sistema de ventilación mecánico.

Es deber del especialista de eficiencia energética establecer de manera bien fundamentada la necesidad o no de ventilación mecánica y de sistemas de climatización.

En términos generales, se debe propiciar el uso de ventilación natural como una alternativa secundaria al uso de sistemas de ventilación mecánica.

La ventilación mecánica deberá considerar los principios que se deben considerar para el diseño son los siguientes:

a. Facilidad de integración de ventilación mecánica.

La ventilación mecánica puede incorporarse para edificaciones nuevas o existentes, y puede incorporarse en etapas posteriores de diseño si así fuese necesario. Por otro lado, la ventilación natural requiere ser incorporada en etapas tempranas de diseño y difícilmente puede ser incorporada de manera posterior.

b. Ventilación mecánica y natural simultánea.

El uso simultáneo de ventilación mecánica y natural se debe realizar considerando que cada uno de estos sistemas debe funcionar de manera autónoma. La estrategia de control de estos sistemas debe cambiar entre uno y otro, o bien lograr que ambos funcionen de manera paralela para diferentes tareas. Ejemplos de operación de la ventilación mecánica en conjunto con la ventilación natural son los siguientes:

- Ventilación mecánica durante los meses más calurosos del año y ventilación natural para los meses más templados.
- Ventilación mecánica para un recinto cuya ubicación no favorece la ventilación natural, mientras que otros recintos con mejores condiciones únicamente requieren de ventilación natural.
- Ventilación mecánica durante los días ocupados, y ventilación natural durante la noche o en jornadas sin uso de los recintos.

c. Ventilación mecánica con equipos pasivos.

Este principio indica que los sistemas de ventilación mecánica pueden optimizar las condiciones existentes de manera natural. Los extractores eólicos son un buen ejemplo de este tipo de sistemas, ya que aprovechan la velocidad existente del viento.

d. Configuración de la ventilación mecánica.

Existen diversas configuraciones posibles para la ventilación mecánica, cada una apropiada para un determinado rango de aplicaciones. De manera general, las configuraciones son:

- Ventilación por inyección.
- Ventilación por extracción.
- Sistemas de extracción balanceada.
- Ventilación para refrigeración de espacios.

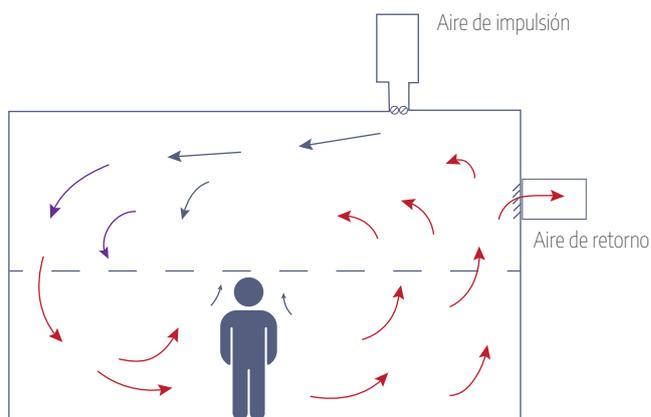
El aire refrigerado es intensivo en el uso de energía y también puede contribuir a un aumento en los peaks de demanda eléctrica, pero a menudo las condiciones climáticas indican que esta es la única opción, especialmente cuando se requiere controlar el nivel de humedad. Cuando se utiliza aire refrigerado, las tasas de ventilación deben ser minimizadas para evitar la pérdida de energía.

e. Ventilación por dilución (mezcla) y por desplazamiento.

El proyecto deberá fundamentar el principio de ventilación bajo el cual actuará la ventilación mecánica, entregando en una memoria de cálculo la justificación de su selección. Podrán optar por utilizar un sistema de ventilación por mezcla o bien un sistema de ventilación por desplazamiento.

La ventilación por dilución se logra al mezclar el aire entrante con el aire ya presente en el recinto. La generación de esta mezcla ocurre por la turbulencia natural en los flujos de aire y, en el caso de ventilación mecánica, por el diseño de los inyectores de aire. Esta ventilación por dilución o mezcla es especialmente relevante cuando se utiliza la recirculación para el acondicionamiento térmico del recinto. Si la mezcla está bien realizada, el nivel de contaminantes (CO<sub>2</sub> por ejemplo) es uniforme en todo el recinto.

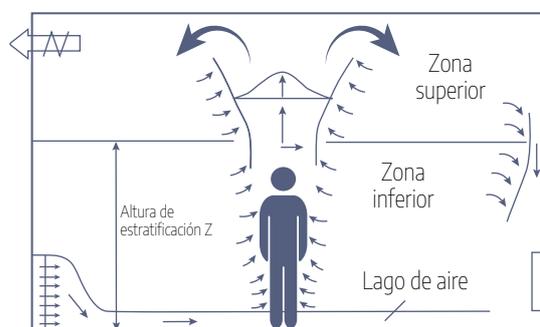
La ventilación por desplazamiento remueve el aire interior y lo "reemplaza" por el aire fresco. En principio, esta técnica es más efectiva para lograr los requerimientos de ventilación que a través de dilución, pero la capacidad de refrigerar o calentar el aire entrante requiere ser cuidadosamente controlada en la inyección del aire. A diferencia de la ventilación por difusión, la concentración de los contaminantes no es uniforme, si no que se generan zonas con altas concentraciones aguas abajo del flujo de aire y con bajas concentraciones aguas arriba.



**Figura 41 Ventilación por mezcla.**

Fuente: Atecyr.org.

En un sistema de mezcla, la inyección del aire se puede realizar desde techo, paredes o suelos. La velocidad de inyección es elevada.

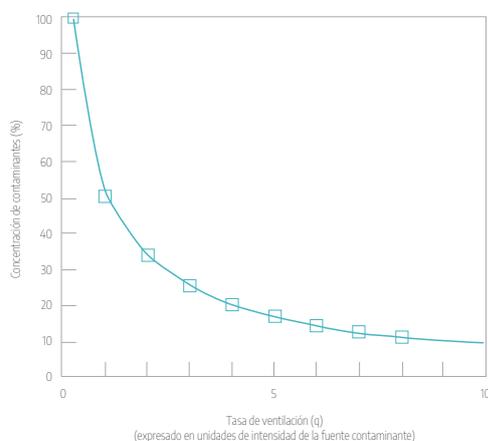


**Figura 42 Ventilación por desplazamiento.**

Fuente: Wei Ye, Yiqun Pan, Lianjie He, Bingqian Chen, Junjie Liu, Jun Gao, Yi Wang, Yang Yang, Chapter 3 - Design with modeling techniques.

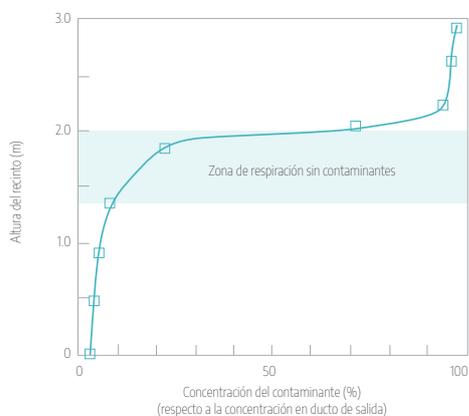
Industrial Ventilation Design Guidebook (Second Edition), Academic Press, 2021, Pages 109-183, ISBN 9780128166734, En un sistema de desplazamiento, la inyección se hace por la parte inferior del recinto o por el suelo, y a bajas velocidades. La extracción se realiza por la parte superior.

La manera en que los contaminantes se comportan en ambos sistemas de ventilación se grafica en la figura 43 y figura 44.



**Figura 43 Concentración de contaminantes en un recinto en función de la tasa de ventilación para un sistema de dilución o mezcla.**

Fuente: A guide to energy efficient ventilation, Air Infiltration and Ventilation Centre International Energy Agency.



**Figura 44 Perfil de la tasa de concentración de un contaminante según la altura del recinto. La franja gris muestra el rango de alturas objetivo en las cuales se quiere mantener una zona libre de contaminantes.**

Fuente: A guide to energy efficient ventilation, Air Infiltration and Ventilation Centre International Energy Agency.

## 4.6.2 Tipos de ventiladores

Se deberá seleccionar un equipo de ventilación dimensionado de acuerdo a los requerimientos de caudal de aire, seleccionando al menos una de las siguientes alternativas.

### Equipos pasivos

Estos equipos se permiten para edificaciones con ventilación natural en climas que tengan una velocidad de viento mayor o igual a 7 km/h durante al menos un 40% de las horas del año. Preferentemente se utilizarán extractores eólicos.

Los extractores eólicos contienen álabes que permiten que incluso pequeñas velocidades de viento les permiten rotar. A mayor velocidad de viento, mayor la velocidad de rotación. Estos elementos también aprovechan el efecto de convección, ya que cuando el aire caliente tiene a subir, lo que puede generar también un movimiento en el extractor.



Figura 45 Extractor eólico.

Fuente: [www.nearsay.com](http://www.nearsay.com)

Los ventiladores pasivos como el extractor eólico se especificarán como complemento a la ventilación natural. Se deberá presentar memoria de cálculo indicando el dimensionamiento del extractor, considerando como mínimo los parámetros de la velocidad del viento, el diferencial de temperatura entre el interior y el exterior, condiciones ambientales y el tamaño del edificio.

### Ventiladores mecánicos

A diferencia de los equipos pasivos, los ventiladores mecánicos utilizan energía eléctrica para producir el movimiento e inducir el movimiento de aire. En base a los datos climáticos, se debe analizar la necesidad de utilizar ventilación mecánica. Si es necesario, se deben analizar las siguientes estrategias de ventilación y aplicar una de ellas:

### 4.6.3 Principios de diseño para ventilación mecánica

Para el diseño de ventilación en los recintos, se deben evaluar las siguientes alternativas para ventilación mecánica:

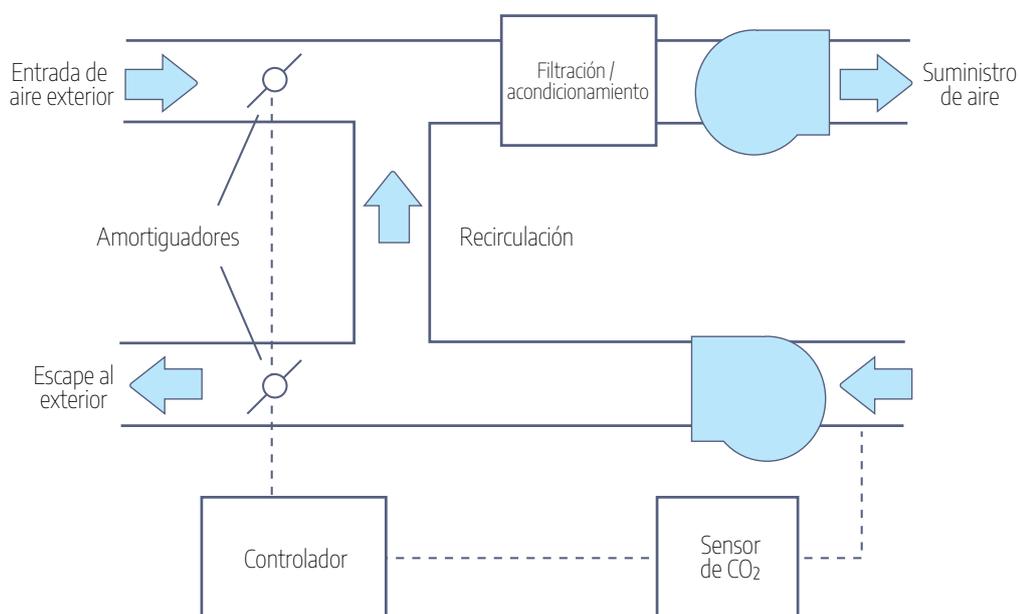
#### Ventilación controlada por demanda

##### *Recomendaciones generales*

Se recomienda la ventilación controlada por demanda para climas cálido secos y cálido húmedos.

La ventilación controlada por demanda ajusta la tasa de ventilación automáticamente de acuerdo a la variación de la calidad del aire interior. De esta manera, la ventilación se administra únicamente cuando es necesario, o bien puede disminuirse para minimizar las pérdidas energéticas del recinto climatizado.

Para que esta configuración de ventilación sea efectiva, se requiere el uso de uno o más sensores que detecten los distintos contaminantes y que tengan la capacidad de comunicarse con el equipo de ventilación para poder modular o restringir esta.



**Figura 46** Esquema de funcionamiento de ventilación controlada por demanda. ▲

Fuente: Elaboración propia.

La variable que se utilizará para la regulación del sistema de ventilación es la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire interior.

### **Ventilación por extracción**

La ventilación por extracción solo podrá ser utilizada en climas cálido-secos y nunca en sistemas cálido-húmedos.

El especialista deberá indicar las condiciones de diseño del extractor, indicando cómo se espera que opere el ventilador:

- Proceso dominado por la ventilación mecánica (la baja de presión provocada por el extractor es mayor que la baja de presión provocada por efecto del viento).
- Proceso dominado por la ventilación natural o la infiltración del aire (la baja de presión provocada por el extractor es menor que la baja de presión provocada por efecto del viento).

Cuando el recinto sea climatizado, la ventilación siempre deberá estar dominada por la ventilación mecánica. Solo se permite un proceso dominado por la ventilación natural en recintos no climatizados.

El dimensionamiento del extractor será de tal manera que la baja de presión provocada por el ventilador sea levemente mayor que la presión provocada por el viento.

Si se utiliza un sistema de ventilación mecánica por extracción, el diseñador deberá entregar de manera detallada las medidas tomadas para controlar la infiltración del aire y deberá presentar una memoria de cálculo con el dimensionamiento de las entradas de aire específicas para el ingreso de aire fresco.

Cuando sea posible, la extracción del aire se debe realizar por locales "contaminados" como cocinas o baños, para evitar que el flujo de estos recintos se dirija a otros recintos ocupados.

#### Recomendaciones generales

Se debe diseñar de manera adecuada la caída de presión provocada por la ventilación por extracción, evitando bajas de presión excesivas.

Si el edificio es demasiado hermético o las aperturas para el ingreso de aire son insuficientes, habrá un aumento en la caída de presión y el consumo eléctrico, o bien el ventilador no será capaz de entregar el flujo de aire de diseño. Un aumento en la caída de presión puede provocar el ingreso de elementos no deseados al interior de los recintos, corrientes de aire indeseadas, ruido o incluso dificultad para abrir las puertas en los casos más severos.

La extracción se podrá realizar utilizando uno de los siguientes mecanismos:

### Extracción con recuperación de calor

Se recomienda con especial énfasis utilizar extracción con recuperación de calor.

El calor residual del aire que se extrae de los recintos puede ser recuperado utilizando una bomba de calor aire-agua, o un serpentín intercambiador de calor, lo que permite recuperar el calor extraído desde el interior del recinto. Las alternativas de recuperación de calor con el aire de extracción se revisan en detalle en la sección 4.7.

### Extracción centralizada

Se permitirá el uso de sistemas de extracción centralizada para climas cálidos-secos, o bien para climas cálido-húmedos sin climatización

Este tipo de extracción utiliza un sistema de ductos para proveer de ventilación a los recintos. El sistema opera a través de un ventilador centralizado que está conectado a puntos de extracción a través de ductos.



**Figura 47 Extracción centralizada por ductos.**

Fuente: <https://alitersoluciones.es/sistema-de-ventilacion-industrial/>.

Al igual que para extractores locales, los puntos de extracción preferentemente estarán en recintos húmedos o contaminados.

### Extracción local

No se recomienda el uso de extractores locales. Sin embargo, se permite su utilización cuando por motivos presupuestarios no sea posible utilizar alguna de las alternativas anteriores.

Típicamente, la ventilación por extracción se realiza a través de una extracción local, utilizando ventiladores de baja capacidad, que conducen el aire directamente al exterior. Este tipo de extractores se utilizan principalmente como apoyo a la ventilación natural y su operación debería ser intermitente, a través de un interruptor horario o con sensores de CO<sub>2</sub> o de humedad.



**Figura 48** Extractor eólico local.

Fuente: S&P.

Extractor de aire local. Este tipo de extractores descargan directamente al exterior o hacia un espacio común. No se recomienda el uso de ductos para este tipo de extractores, ya que reduce significativamente su desempeño.

### **Ventilación por inyección**

En este caso, el aire exterior es introducido a los recintos a través de un ventilador. A diferencia del caso de extracción, se produce una presión mayor a la presión atmosférica (positiva) al interior de los recintos, por lo que el aire interior será expulsado a través de las infiltraciones o bien a través de aperturas construidas con este propósito.

### Recomendaciones generales

La ventilación por inyección permite que el aire pueda ser filtrado a continuación del ventilador. Este filtraje permite eliminar el material particulado y el polvo, además de otros contaminantes.

Al igual que para un sistema de extracción, la eficiencia óptima de ventilación se produce cuando el sistema está diseñado para operar a presiones cercanas a las producidas por efecto del viento. En este caso, las presiones deben ser ligeramente superiores.

Los dampers son elementos mecánicos que se utilizan para permitir o restringir el paso del aire de inyección. En algunos sistemas de inyección, estos se cierran para reducir el consumo de energía, pero esta práctica puede provocar un aumento de presión estática en el sistema y generar problemas.

### Sistemas con ductos

La principal ventaja de un sistema de ventilación por inyección es que los contaminantes externos pueden ser filtrados. Típicamente la inyección se realiza a través de ductos, y puede ser incorporado como parte de un sistema de climatización, como se ve de manera más detallada en la sección 4.7.

Al inyectar aire, el recinto tendrá una presión positiva con respecto al ambiente, y el aire interior buscará una vía de escape a través de las infiltraciones del edificio y de las aperturas o celosías que se instalen para este propósito. Otra parte del aire inyectado se recircula y se mezcla con el aire interior.

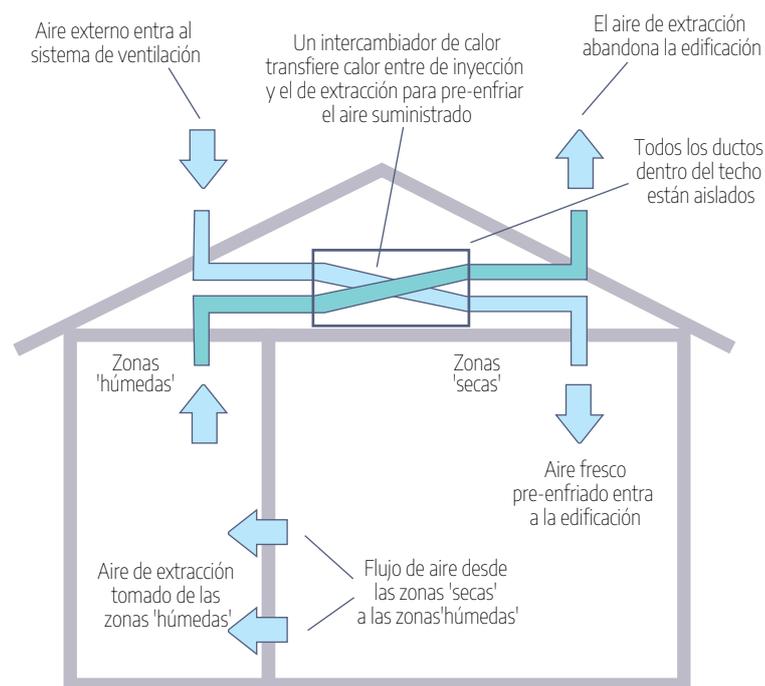
Una situación en la cual podría no ser recomendable el uso de ventilación por inyección es en recintos que tengan fuentes de producción de humedad como cocinas, ya que este vapor puede penetrar la envolvente del edificio y condensar dentro de esta.

## **Ventilación balanceada**

### Ventilación balanceada de mezcla

En esta configuración, la renovación del aire se realiza tanto por mecanismos de inyección como por mecanismos de extracción a través de redes de ductos por separado. Esto implica que se requieren mayores inversiones en equipos y que también se debe tener mayor cuidado con el mantenimiento de los sistemas. Sin embargo, este tipo de ventilación permite de mejor manera el uso de recuperadores de calor y que evita de mejor manera problemas asociados a presiones, como contracorrientes.

Típicamente el aire es inyectado y mezclado en las zonas con ocupación y es extraído de las zonas "contaminadas" como baños o cocinas, como se ve en la figura 49.



**Figura 49 Sistema de ventilación mecánica balanceado.**

Fuente: Elaboración propia en base a Guía Técnica de Climatización con Equipos Autónomos, IDAE.

De esta manera, se crea un flujo entre las áreas de inyección y las de extracción, que requiere de rejillas de ventilación entre distintos recintos cuando estos están separados. En general, un sistema balanceado requiere que la envolvente tenga un nivel adecuado de hermeticidad.

Se recomienda para esta configuración de ventilación el uso de recuperadores de calor, lo que permite pre-enfriar el aire exterior que es inyectado, lo que genera ahorros de energía en la operación.

En general, los sistemas balanceados son de "presión neutra", lo que significa que la presión generada por la inyección es de la misma magnitud, pero de signo contrario a la presión de extracción. Sin embargo, puede ser conveniente en el caso de climas cálidos húmedos, provocar un desbalance de presiones, de manera que la presión de inyección sea ligeramente superior a la de extracción, generando así una presión positiva en la edificación.

#### Ventilación balanceada por desplazamiento

En este caso, la ventilación se genera de la misma manera que en el caso de ventilación balanceada por mezcla, pero la diferencia es que se modifican las velocidades de inyección y extracción, así como la ubicación de los sistemas, para lograr una ventilación por desplazamiento. La principal ventaja de este tipo de ventilación

es que puede lograr una mayor eficiencia de ventilación; sin embargo, presenta la desventaja de que requiere utilizar espacio útil en el piso.

Como se mencionó anteriormente, en un sistema por desplazamiento, el aire es inyectado a una baja altura, y a una muy baja velocidad, entre 0,1 y 0,3 metros por segundo. Para lograr esto, típicamente los difusores de aire por donde se realiza la inyección se colocan a nivel de muros o bien embutidos en el piso. Se debe contar con una amplia área de difusión, sobre la cual el aire es uniformemente inyectado.

## 4.7 Climatización

### 4.7.1 Principios básicos

Los sistemas de climatización se deberán diseñar teniendo en cuenta la temperatura y un nivel de humedad adecuados para el confort humano. No se permitirán diseños de climatización que consideren únicamente la temperatura como parámetro de diseño.

Se deben tener en cuenta los siguientes principios básicos para el diseño del sistema de climatización:

- El aire caliente puede contener una mayor masa de agua que el aire frío. De esta manera, cuando una masa de aire caliente es enfriada, disminuye su capacidad de retener agua. Si la temperatura del aire está por debajo de la temperatura de saturación, se producirá la condensación del agua. Se debe estudiar detalladamente la posibilidad de condensación en el diseño de los sistemas de climatización, para poder gestionarlo.
- Para definir la energía requerida para la climatización del aire, se debe diferenciar entre el calor latente y el calor sensible. El calor latente es aquel que provoca el cambio de estado, lo que ocurre a una temperatura constante. El calor sensible es aquel que causa un cambio de temperatura en el aire. Para efectos de climatización, una carga térmica de calor latente es la que origina un aumento de la humedad absoluta en el aire, como la respiración, la combustión u el ingreso de aire exterior, ya que el equipo de aire acondicionado debe eliminar este vapor de agua.
- Es posible diseñar edificaciones que puedan lograr confort térmico a través de sistemas de ventilación exclusivamente, sin considerar equipos de climatización. Sin embargo, cuando se toma la decisión de incorporar un sistema de enfriamiento o calefacción, resulta mucho más accesible la incorporación de un sistema de ventilación complementario.
- Se deberá tener especial cuidado en considerar de manera adecuada la eficiencia de los equipos de climatización, considerando que esta se representa de varias maneras, dependiendo del país de origen del equipo, o bien de los requerimientos locales:
  - COP: Por las siglas en inglés de coeficiente de desempeño (coefficient of performance), es el cociente entre la energía térmica desplazada por el sistema y la energía eléctrica requerida para lograr este cambio. Tanto la energía

térmica desplazada como la energía eléctrica utilizada se miden en Watts, por lo que este indicador es adimensional.

- EER: Algunos fabricantes utilizan un indicador alternativo al COP, denominado Índice de Eficiencia Energética, o EER por sus siglas en inglés (Energy Efficiency Rate). Es similar al COP, pero la energía térmica se mide en BTUs en vez de Watts.
- SCOP: Su nombre proviene de las siglas en inglés de COP estacional. Este indicador muestra el valor COP promedio del equipo durante su época de operación. Este indicador es típicamente utilizado para sistemas de calefacción.
- SEER: Al igual que el SCOP, este indicador representa el valor EER promedio durante el período de utilización de un equipo de frío durante una temporada de utilización. Este indicador es típicamente utilizado para sistemas de frío.

El valor de SEER para los equipos de fríos debe evaluarse con atención, ya que existen distintos estándares para su cálculo y dos equipos podrían indicar valores de SEER que no son comparables. Por ejemplo, el estándar europeo pondera los EER a un 100%, 75%, 50% y 25% de carga, con factores de ponderación de 3%, 33%, 41% y 23% respectivamente, mientras que el SEER definido para Estados Unidos está determinado por el consumo del equipo para 8 temperaturas exteriores diferentes, entre 67 y 102°F, con intervalos de 5° entre cada obtención de resultados.

#### 4.7.2 Principios de diseño

Si el diseño, construcción y operación de los sistemas de climatización no es adecuado, estos pueden crear problemas de humedad y moho. Por lo tanto, debe prestarse especial atención al diseño, la selección de equipos, la instalación, puesta en marcha y operación de estos sistemas.

A continuación se mencionan una serie de indicaciones que deben ser consideradas para el diseño de los sistemas de climatización:

- Los sistemas de climatización de edificaciones deben considerar diversos criterios de diseño y operación para mantener el control de las condiciones de confort al interior de los recintos. Para el caso de los climas cálidos húmedos, toma particular relevancia el control de la humedad.
- En climas húmedos, cuando se despresuriza el edificio (presión negativa), el resultado puede ser un problema de humedad y moho por la intrusión y condensación del aire húmedo proveniente del exterior. De acuerdo al Centro de Energía Solar de Florida (Florida Solar Energy Center, 2004), presiones del edificio tan bajas como +1 pascal (Pa) en relación con las condiciones exteriores son suficientes para evitar problemas de infiltración de aire exterior. Por otra parte, incluso un edificio ligeramente despresurizado (-1 Pa respecto a las condiciones exteriores normales) puede desarrollar problemas devastadores de humedad y crecimiento microbiano cuando la envolvente del edificio atrapa esta humedad.

- Para garantizar una presurización adecuada del edificio, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:
  - Control de la despresurización inducida mecánicamente.
  - Distribución adecuada del aire de reposición en los espacios del edificio.
- La presurización del edificio debe superar cualquier despresurización provocada por otros elementos, incluyendo el efecto chimenea o el efecto del viento. El equipo de diseño debe tener en cuenta cómo afectarán los sistemas de extracción de aire a las presiones de los espacios.
- Se debe considerar un control centralizado para los sistemas de climatización. El uso de temperaturas muy bajas en los aires acondicionados en climas cálidos puede provocar que se llegue a temperaturas por debajo del punto de rocío del aire, lo que genera condensación y humedad al interior del recinto.
- En climas cálidos húmedos, como se vio anteriormente, es importante contar con control de la humedad. Cuando las edificaciones están climatizadas, este control de la humedad se vuelve aún más relevante. El control de humedad se debe realizar considerando tanto aspectos arquitectónicos como de operación de los sistemas de clima:
- En lo arquitectónico, es fundamental diseñar soluciones de muro que efectivamente logren detener el ingreso de humedad desde el exterior. Si se utilizan barreras de vapor, estas deben estar ubicadas en lado "caliente" de la envolvente, es decir en el lado más externo de las edificaciones. El colocar una barrera de vapor en el lado interior podría traer problemas importantes de humedad y de mohos en los recintos.
- Se deben evaluar las propiedades del aire para la localidad en donde estará ubicada la edificación. El especialista de climatización deberá determinar el riesgo de condensación si es necesario contar con un proceso de deshumidificación por separado.
- En cuanto a la instalación de los equipos, se deben respetar las distancias entre muros y unidades, así como la protección al sol indicada por los fabricantes de equipos. Al momento de entregar las instalaciones al usuario, el especialista de climatización o el contratista de la instalación debe establecer un plan de mantenimiento, con encargados y recursos bien definidos.

### **Eficiencia de los equipos**

Para la selección de equipos de climatización, se debe tener como requerimiento un valor mínimo de SEER de acuerdo a lo indicado en la Tabla 17. Se utilizarán como referencia los valores de SEER de acuerdo al estándar norteamericano ANSI/AHRI 210/240 en su versión más reciente. Si los equipos disponibles cuentan con otro estándar de determinación del SEER, o utilizan otro indicador diferente, se deberá hacer la conversión necesaria para calcular su equivalente.

Para equipos centralizados, se deben cumplir los siguientes requerimientos mínimos:

**Tabla 17 Requerimientos mínimos de SEER para equipos de climatización centralizados.**

Requerimientos mínimos	Cálido húmedo	Cálido Seco
Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER)	14	14
EER equipos de capacidad menor a 45.000 BTU/hr	—	12,2
EER equipos de capacidad mayor o igual a 45.000 BTU/hr	—	11,7

Para equipos individuales, se considerarán las eficiencias mínimas indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla 18 Eficiencias (SEER) mínimas para equipos unitarios.**

Tipos de productos	SEER
Bombas de calor tipo Split	14
Aires acondicionados tipo Split	14
Bombas de calor compactas	14
Sistemas de baja silueta con ductos y alta velocidad.	12

### **Deshumidificación**

En climas cálidos húmedos, se debe evaluar la necesidad y la factibilidad de utilizar sistemas para la deshumidificación del aire, así como evaluar de manera detallada y adecuada los riesgos asociados al exceso de humedad en el aire y evaluar posibles estrategias para la deshumidificación.

Cuando resulte necesario contar con un sistema de deshumidificación, se considerarán al menos las siguientes indicaciones:

- **Dimensionamiento del serpentín:** El especialista de climatización serpentín debe presentar una memoria de cálculo, justificando el tamaño adecuado para equiparar la carga sensible y latente del aire exterior y del aire de recirculación. El aire debe enfriarse a una temperatura tal que la humedad del aire se condense, eliminando así el calor latente del aire.

Como recomendación general, el enfriamiento del aire debería realizarse a temperaturas que van entre 10 y 13°C, de manera que el aire que circula por el sistema de climatización alcance un 100% de humedad relativa y efectivamente logre condensar la humedad del aire.

- **Tiempo de funcionamiento:** El especialista de climatización deberá estimar la necesidad de establecer procedimientos adicionales que permitan eliminar la humedad del aire interior, incluso cuando se hayan alcanzado las temperaturas interiores de confort. El sobre enfriamiento no debe afectar a las temperaturas interiores y al confort de los ocupantes. Como métodos de deshumidificación, podrá sobre enfriar el aire y luego volver a calentarlo antes de inyectarlo, o bien utilizar desecantes.

El condensado generado por el proceso de deshumidificación debe ser eliminado adecuadamente al exterior, evitando descargar a lugares con circulación o en donde pueda haber salpicadura hacia los muros.

### Control de climatización

El diseño de los sistemas de climatización deberá considerar estrategias de control para que permitan optimizar su funcionamiento sin afectar el confort de los usuarios de los recintos.

Se debe implementar al menos dos de las siguientes estrategias para proveer climatización en una manera eficiente.

- Distribución de climatización solo a los espacios que lo requieren, a través de una buena sectorización de los espacios y una ubicación adecuada de los ductos.
- Uso de sensores de CO<sub>2</sub> y temperatura: Se regulará el flujo de ventilación de espacios con una actividad variable durante el día a través de dampers manuales o automáticos utilizando sensores de CO<sub>2</sub> o temperatura.
- Desconexión del sistema de distribución de ventilación y/o climatización fuera de los horarios de utilización, a través del uso de interruptores horarios electro-mecánicos o digitales. Los interruptores horarios preferentemente se conectan a los tableros eléctricos, y se configuran para que el circuito de climatización se apague automáticamente durante los horarios de no utilización.



**Figura 50 Interruptor horario.**

Fuente: vitel.cl.

El sistema de control no deberá permitir temperaturas por debajo de los 24°C. Esto es de especial relevancia debido a que quien maneja los termostatos típicamente no asume los costos asociados al equipo de climatización.

El especialista de climatización evaluará la capacidad del sistema de climatización para realizar enfriamiento nocturno y hará las recomendaciones necesarias a los usuarios de las edificaciones. Esto es, operar los equipos durante la noche, en donde tienen un mejor rendimiento, y aprovechar la inercia térmica de los materiales de la construcción para mantener la temperatura fresca al interior de los recintos sin la necesidad de activar nuevamente los sistemas de climatización.

### **Configuraciones de los sistemas de climatización**

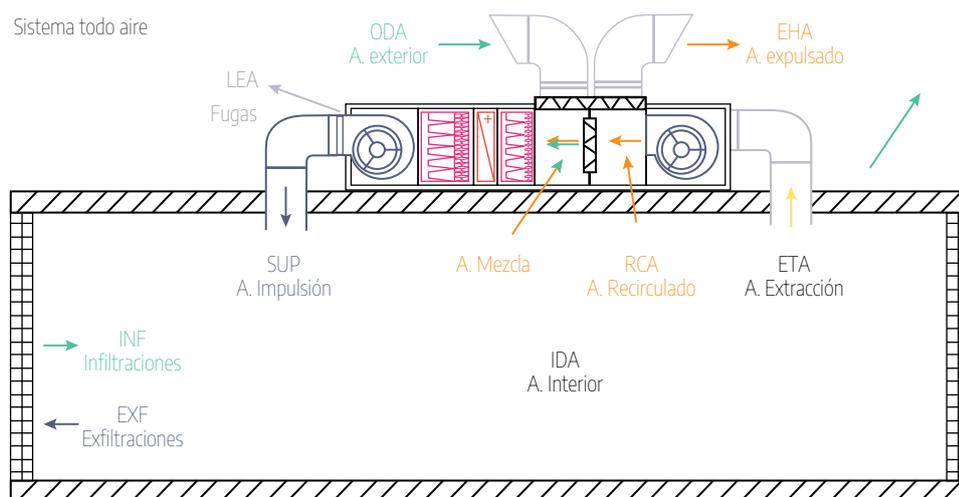
El sistema de climatización se diseñará utilizando alguna de las tipologías de sistemas indicadas a continuación.

Las ilustraciones utilizadas para las distintas configuraciones de sistemas de climatización muestran sistemas de climatización de expansión indirecta utilizando fan coils tipo cassette o de ducto, pero las configuraciones indicadas también son válidas para el uso de fan coils de piso, suelo o techo.

#### **1) Climatización por aire – expansión directa con unidad manejadora de aire, con recirculación y sin recuperación de calor:**

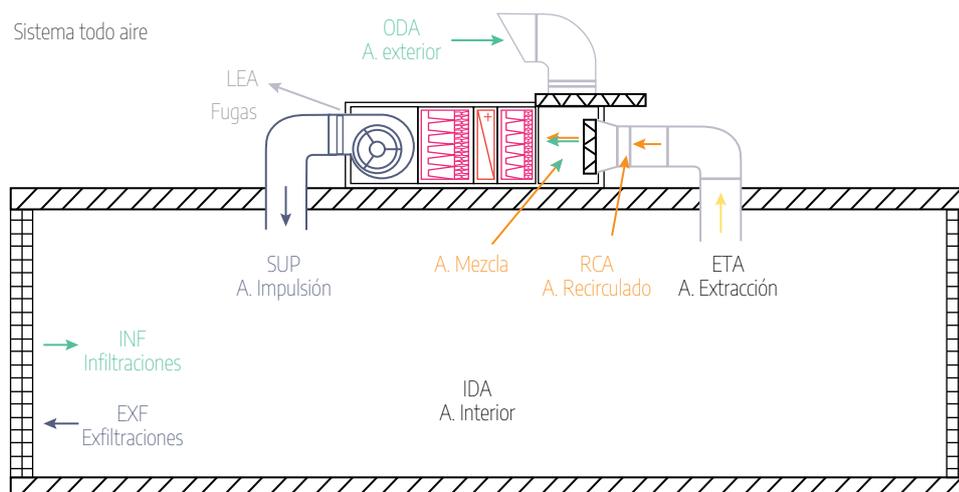
Esta tipología de diseño se logra con una Unidad Manejadora de Aire (UMA) con una batería de refrigeración, que tenga la capacidad de recircular el aire interior y mezclarlo con el aire fresco antes de entrar a la batería de refrigeración. El uso de filtros es opcional, dependiendo de la calidad de aire que se quiere lograr y del nivel de contaminantes del aire exterior.

El nivel de aire recirculado se dimensionará de acuerdo a los requerimientos de ventilación del local, buscando siempre la optimización energética. La cantidad de aire que se permitirá recircular depende de la calidad de aire que se quiere lograr en el recinto. La UMA contará con un ducto para ingreso del aire fresco exterior. Podrá contar con un ducto para la expulsión del aire de extracción, o bien podrá prescindir de este ducto y generar la extracción a través de exfiltraciones por la envolvente. Se debe evaluar cuidadosamente el riesgo de condensación en este último caso.



**Figura 51 Sistema de expansión directa solo aire, sin recuperación de calor, con toma de aire y conducción del aire expulsado.**

Fuente: Guía Técnica de Climatización con Equipos Autónomos, IDAE.



**Figura 52 Sistema de expansión directa solo aire, sin recuperación de calor, con toma de aire y expulsión de aire por exfiltraciones.**

Fuente: Elaboración propia en base a Guía Técnica de Climatización con Equipos Autónomos, IDAE.

La unidad manejadora de aire podrá alimentar uno o más recintos. En este último caso, se propiciará que los recintos alimentados por la UMA tengan condiciones de utilización similares en cuanto a horarios y cargas térmicas, de manera de poder optimizar el uso de la instalación de climatización.

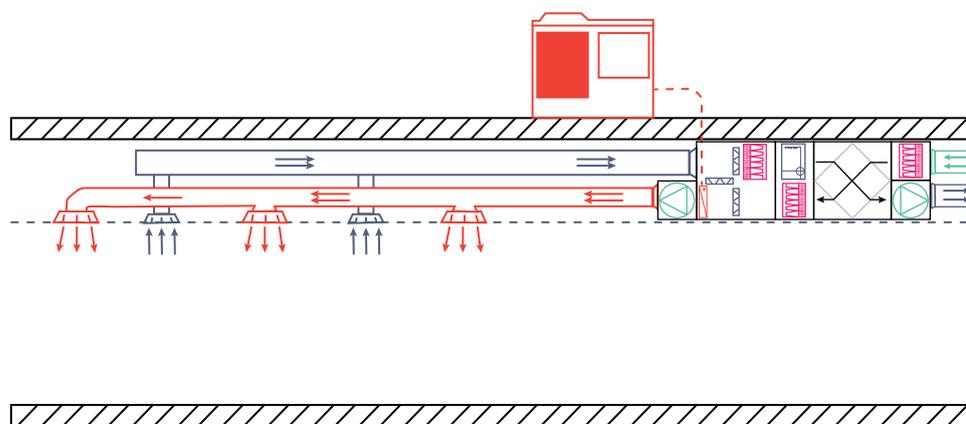
La batería de frío con la que cuenta la UMA, será alimentada por un único sistema de climatización, que podrá ser exclusivo para la UMA o bien de una unidad centralizada.

## 2) Climatización por aire – expansión directa con unidad manejadora de aire sin recirculación y con recuperación de calor:

En este caso, se utiliza una UMA que cuenta con un sistema de recuperación de calor y una batería de frío. También es posible utilizar filtros para esta configuración, aunque no son obligatorios.

Esta configuración utiliza un único equipo para la ventilación, la climatización del local y la recuperación de calor del aire. La batería de frío, al igual que en los casos anteriores, es alimentada por un sistema externo de alta eficiencia, como una bomba de calor geotérmica.

En los climas cálidos secos y, en menor medida, en los climas cálidos húmedos, cuando se requiera de una alta tasa de ventilación, puede resultar interesante climatizar el local con sólo el aire exterior.



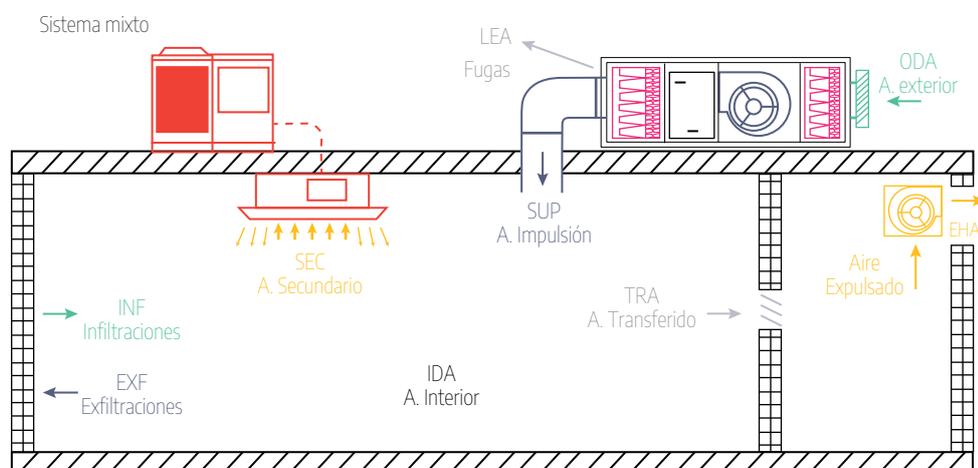
**Figura 53 Sistema de climatización por aire con recuperación de calor, sin recirculación.** ▲

Fuente: Elaboración propia en base a Guía Técnica de Climatización con Equipos Autónomos, IDAE.

## 3) Climatización por aire – sistema mixto sin recuperación de calor

Los sistemas mixtos separan la unidad de climatización de la UMA. Esta última únicamente se encarga de filtrar el aire e introducirlo al recinto, por lo que en algunas ocasiones se les denomina también como ventiladores de inyección (VIN). La climatización del aire se realiza de manera separada por un equipo tipo Split, en donde las unidades interiores están conectadas a una o varias unidades exteriores.

La extracción del aire del recinto se realizará a través de un sistema de extracción ubicado preferentemente en locales húmedos como baños y/o cocinas.



**Figura 54 Sistema mixto sin recuperación de calor.**

Fuente: Elaboración propia en base a Guía Técnica de Climatización con Equipos Autónomos, IDAE

#### 4) Climatización por aire – sistema mixto con recuperación de calor

Esta configuración, al igual que la anterior, separa las unidades de climatización de las de ventilación, pero en este caso la unidad de ventilación cuenta con una batería de recuperación de calor que permite que el aire exterior ingresado al recinto intercambie calor con el aire extraído, disminuyendo así la carga térmica por ventilación al recinto.

#### Aislación térmica de tuberías

El aislamiento mínimo de tuberías para los sistemas de climatización será de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

**Tabla 19 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios**

Diámetro exterior tubería	$T_{\min}$ d del fluido 0 a 10°C			
	$\lambda_{\text{ref}} = 0,04$ [W/mK]		$\lambda_{\text{ref}} = 0,035$ [W/mK]	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
$D \leq 35$	20	40	16,6	32,1
$35 < D \leq 60$	30	50	25	40,8
$60 < D \leq 90$	30	50	25,4	41,5
$90 < D \leq 140$	40	60	34,0	50,3

También podrán proponerse otros espesores de aislación térmica cuando no se cumplan los criterios de conductividad de referencia o de temperaturas del fluido. En estos casos, se deberá adjuntar una memoria de cálculo indicando la conductividad térmica del material y la metodología utilizada para calcular el espesor.

## 4.8 Uso de energías renovables para el autoconsumo

### 4.8.1 Principios básicos

A nivel de edificaciones, las tecnologías mayormente utilizadas para el autoconsumo corresponden a los sistemas solares fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica; los sistemas solares térmicos para la generación de energía térmica en forma de agua caliente sanitaria; el uso de sistemas de bombas de calor geotérmicas para la climatización y, en mucho menor medida, a sistemas de microgeneración, que generan electricidad y aprovechan el calor residual de este proceso para la generación de energía térmica.

Para los climas cálidos-secos y cálidos-húmedos, el uso de energías renovables preferentemente se hará a través de sistemas fotovoltaicos y el uso de bombas de calor geotérmicas; ya que son las alternativas que pueden responder de mejor manera a las demandas de climatización y electricidad en estos climas.

### 4.8.2 Sistemas fotovoltaicos

Con respecto a los distintos componentes del sistema fotovoltaico, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones de diseño:

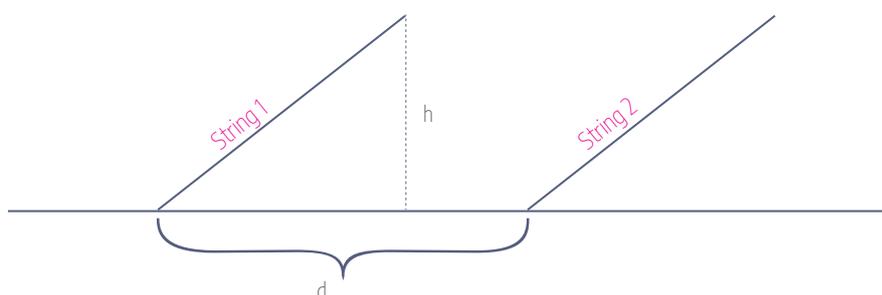
- *Paneles fotovoltaicos*: La cantidad de paneles fotovoltaicos que se instalarán se dimensionará utilizando la demanda eléctrica existente o prevista del edificio. Se dimensionará de manera que puedan satisfacer hasta un máximo de un 75% de la demanda anual de electricidad, o bien maximizando el autoconsumo y disminuyendo la inyección a la red. Este requerimiento viene dado por la cantidad de horas al año que los establecimientos educacionales están con bajos niveles de funcionamiento (vacaciones, fines de semana).

El tipo de panel fotovoltaico podrá ser monocristalino, policristalino o de capa fina, pero deben considerarse los rendimientos de cada tecnología para su dimensionamiento.

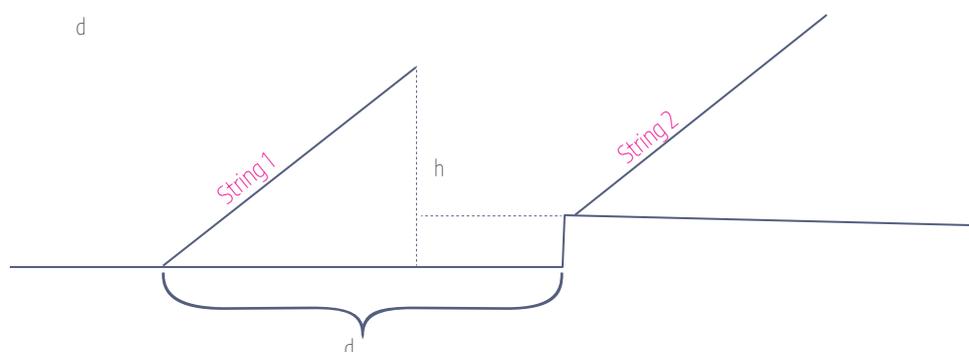
La inclinación de los sistemas fotovoltaicos deberá ser idealmente igual a la latitud de la ubicación de la edificación. Este criterio podrá ser flexibilizado y utilizar la inclinación existente de la techumbre para poder integrar arquitectónicamente el sistema fotovoltaico a la edificación.

Cuando los módulos fotovoltaicos estén dispuestos en strings con una inclinación diferente a la del techo (utilizando estructuras metálicas para modificar su inclinación), la separación entre los distintos strings deberá cumplir el siguiente criterio:

$$d > 0.6 \cdot h$$



En el caso que los strings no estén en un mismo nivel, la ecuación anterior sigue siendo válida. La altura corresponde a la diferencia entre la parte superior de un string y la parte inferior del siguiente.



- **Inversor:** Para climas cálidos y húmedos se favorecerá la utilización de micro inversores por sobre el uso de inversores centralizados o de string. Esto es debido a que en este clima existe una gran posibilidad de que uno o más módulos puedan presentar sombras por animales o vegetación. Los microinversores son inversores de menor capacidad, que se colocan por cada uno de los paneles que conforman el sistema. Al funcionar cada microinversor de manera independiente, se logra una mayor generación de energía, especialmente en el caso en que el arreglo fotovoltaico tiene uno o más paneles que potencialmente podrían recibir sombra de elementos como chimeneas, árboles o animales.

En el caso de climas cálidos secos, también se deberá favorecer el uso de microinversores, excepto en los casos en que se justifique económicamente el uso de inversores centralizados o de strings.

La principal ventaja de los inversores de string, es que tienen un costo de inversión menor en comparación al uso de microinversores. Su principal desventaja es que su desempeño estará limitado por el peor de los desempeños del arreglo de paneles. Es decir, si un panel fotovoltaico está recibiendo sombra en algún momento del día, mientras que el resto del arreglo no recibe sombra, el rendimiento del sistema entero se verá limitado por el panel que recibe sombra.

En el caso de uso de inversores de string o centralizados, se debe propiciar el uso de un inversor de menor capacidad a la instalación fotovoltaica para ahorrar costos, sin afectar mayormente la generación del sistema. Este sobredimensionamiento estará dado por la siguiente ecuación:

$$0,9 \leq \frac{DC}{AC} \leq 1,6$$

En donde DC es la capacidad del inversor y AC es la capacidad del sistema fotovoltaico.

- Uso de baterías: Siempre que sea posible de acuerdo a la normativa nacional, se inyectarán los excedentes a la red, evitando el uso de baterías. El uso de baterías para almacenar la energía no consumida se recomienda solamente para edificaciones ubicadas en sectores sin acceso a la red, ya que el uso de baterías encarece el costo de inversión del sistema y además aumentan los gastos de mantención.

En todos los casos, el dimensionamiento y la selección de los componentes del sistema fotovoltaico se hará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y siempre verificando que los voltajes de las conexiones de los módulos en series o en paralelo, cumplan con los voltajes máximos y mínimos por el inversor.

### 4.8.3 Bombas de calor geotérmicas

Un sistema de bomba de calor geotérmica se considera aquel que tiene como sumidero de calor cuerpos de agua o el subsuelo. Si se utilizan cuerpos de agua, se deberán realizar mediciones de la temperatura del agua y se deberán estimar sus caudales disponibles para poder estimar la potencia disponible.

En el caso de utilización del subsuelo como sumidero de calor, se podrán utilizar modelos disponibles en la literatura para estimar la temperatura a distintas profundidades, o bien tomar mediciones directas. Se recomienda estimar temperaturas del subsuelo a 2, 5 y 10 metros.

El rendimiento (COP) del sistema dependerá en gran medida de las temperaturas de distribución ( $T_{hot}$ ) y del sumidero ( $T_{cold}$ ), y de manera general se puede escribir como:

$$COP = 0,5 \frac{(T_{hot} + 273)}{(T_{hot} - T_{cold})}$$

El cálculo de COP indicado es una estimación preliminar y deberá ser ajustado de acuerdo a las indicaciones del fabricante, considerando las temperaturas de trabajo de los fluidos.

Se deberá evaluar en base a la información disponible el uso de sistemas abiertos o sistemas cerrados.

En el caso de sistemas abiertos, el sumidero de calor es un cuerpo de agua cercano. El agua es bombeada hasta llegar a la bomba de calor donde se le extrae calor y luego es retornada al acuífero desde donde se obtuvo. El nivel de potencia que puede entregar un cuerpo de agua en función de su caudal depende de la eficiencia de la bomba de calor (COP) y la baja de temperatura del agua bombeada:

$$\frac{Q_{BCG}}{C_{H_2O}} = \frac{COP}{COP - 1} \cdot \rho_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} \cdot \Delta T$$

En donde:

$Q_{BCG}$  corresponde a la potencia disponible por el caudal de agua.

$C_{H_2O}$  corresponde al caudal de agua disponible.

$\rho_{H_2O}$  Corresponde a la densidad del agua a la temperatura promedio de uso.

$C_{pH_2O}$  corresponde al calor específico del agua. Para agua de mar se puede usar 3.850 [J/kg·K] y para agua dulce 4.180 [J/kg·K].

$\Delta T$  es el salto de temperatura del agua utilizada entre la entrada y la salida a la bomba de calor. Típicamente se utiliza un salto de temperatura de 3°C.

En el caso de colectores cerrados, la energía térmica es inyectada al subsuelo, por lo que se debe tener un conocimiento del tipo de suelo en donde se va a utilizar este sistema y determinar su resistencia térmica en base a mediciones o información bibliográfica. Estos sistemas pueden ser de tipo vertical u horizontal.

La capacidad por área de un sistema horizontal viene dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_{BCG}}{A_{col}} = \frac{COP}{COP - 1} \cdot \frac{\Delta T_{suelo-col}}{R_{suelo} \cdot F + R_{tub}} \cdot \frac{1}{S_{col}}$$

En donde

$Q_{BCG}$  corresponde a la potencia disponible por el subsuelo.

$A_{col}$  corresponde al área de los colectores horizontales.

$\Delta T_{suelo-col}$  corresponde a la diferencia de temperatura entre suelo y colector.

$R_{suelo}$  corresponde a la resistencia térmica del suelo en [(m K)/W].

$R_{tub}$  corresponde a la resistencia térmica de la tubería en [(m K)/W].

$S_{col}$  corresponde a la separación entre tuberías del colector [m].

Para el caso de sondas verticales, se tiene la siguiente capacidad:

$$\frac{Q_{BCG}}{A_{col}} = \frac{COP}{COP - 1} \cdot \frac{\Delta T_{suelo-col}}{R_{suelo} \cdot F + R_{tub}}$$

La resistencia térmica de las tuberías depende de sus diámetros interior ( $\varnothing_i$ ) y exterior ( $\varnothing_e$ ) y su conductividad ( $\lambda$ ), según la siguiente ecuación:

$$R_{tub} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{tub}} \cdot \ln \left( \frac{\varnothing_e}{\varnothing_i} \right)$$

## 4.9 Monitoreo

Se deberá contar con un sistema de monitoreo para las edificaciones, con la capacidad de medir parámetros de rendimiento del rendimiento energético y el confort de las edificaciones.

Los requerimientos de monitoreo obligatorios, mínimos, serán los siguientes:

- Energía consumida total del establecimiento.
- Energía total generada por sistemas de energías renovables.
- Medición de CO<sub>2</sub> en las aulas.
- Temperatura y humedad relativa al interior de las aulas.

De manera opcional, se podrá realizar monitoreo sobre otras variables como:

- Temperatura y humedad relativa en el exterior.
- Consumo de energía de sistemas específicos (iluminación, climatización, etc.), de acuerdo a lo indicado en la figura 55.
- Otros parámetros de calidad del aire como concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) o monóxido de carbono (CO).
- Ocupación de los recintos.

Para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía del recinto, el especialista de eficiencia energética deberá proponer los factores de emisión dentro de su proyecto.

Las mediciones deben ser continuas y los datos deben permitir una comparación con los años anteriores y deben almacenarse al menos como valores mensuales y anuales.

El concepto de supervisión debe mostrar sus conceptos de medición, incluyendo qué sensores se aplican y dónde se van a instalar.

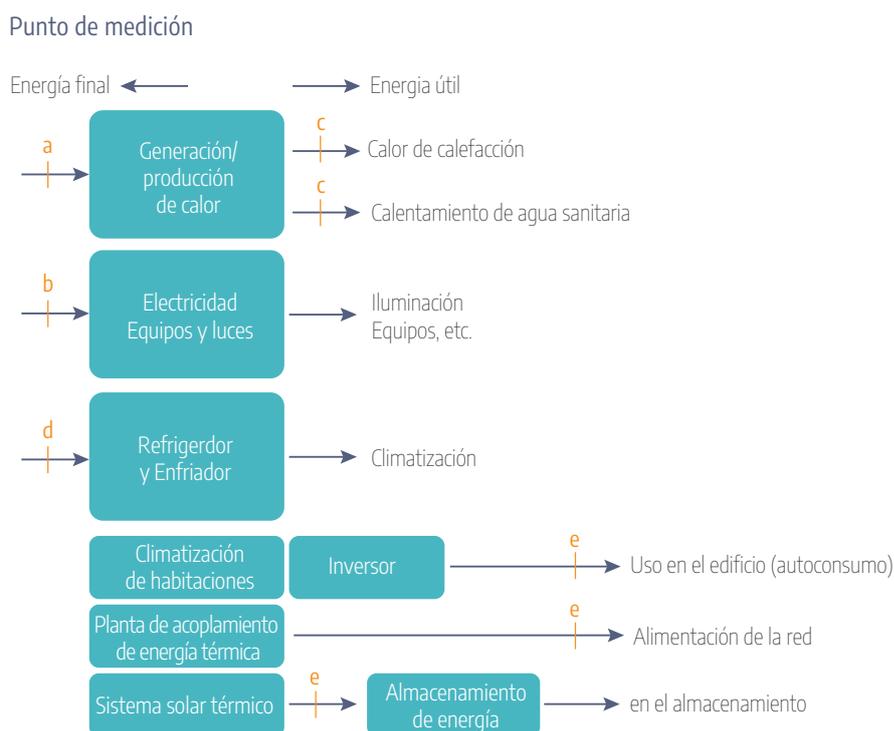


Figura 55 Ejemplo de puntos recomendados para medir el consumo de energía. ▲

Fuente: Elaboración propia.

## 4.10 Construcción baja en carbono – emisiones incorporadas

Para edificaciones nuevas, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones para una construcción baja en carbono.

### 4.10.1 Recomendaciones generales

Se deberán considerar las siguientes recomendaciones, priorizando su implementación en aquellos materiales que tienen una incidencia mayor en el presupuesto de la construcción (ej. hormigón, acero estructural, ventanas, etc.).

#### 1. Uso eficiente de los materiales.

El especialista de arquitectura deberá orientar su proyecto de manera que reduzca la necesidad de materiales, así como utilizar materiales con potencial de reciclaje y baja generación de desechos. La utilización de elementos y materiales bajo estos criterios no deben comprometer la calidad de la edificación, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas requeridas.

Como mínimo, se debe implementar una de las siguientes estrategias en el diseño de edificaciones nuevas o existentes:

### 1. *Reutilización de elementos existentes*

En caso de existir construcciones previas en buen estado, se deberá mantener la mayor cantidad de elementos estructurales y no estructurales; reutilizando paredes, pisos, techos y otros existente.

### 2. *Planificación de desmontaje y flexibilidad*

Desde el diseño se debe considerar la posibilidad de: desmontaje, deconstrucción y cambio de uso de los elementos constructivos. De esa manera, al final del ciclo de vida favorecer la reutilización y adaptación a otros usos.

### 3. *Uso de pre-fabricados*

Cuando sea posible, utilizar elementos que hayan sido previamente construidos o ensamblados en fábrica para ser incorporados en la estructura, envolvente o particiones (no se consideran elementos como puertas y ventanas).

### 4. *Diseño con dimensiones estandarizadas*

Modulación de los elementos de construcción y coordinación de las dimensiones del proyecto con las dimensiones características de los productos, materiales y elementos; de manera de reducir los desperdicios de los materiales.

## **2. Selección materiales sustentables de alto impacto.**

Se deben especificar y utilizar materiales que generen el menor impacto para su fabricación, traslado y disposición final.

Como mínimo, se debe considerar una de las siguientes medidas durante la fase de diseño:

### 1. *Uso de materiales de extracción /fabricación local*

Se deberá especificar materiales y elementos constructivos cuyas materias primas hayan sido extraídas y luego fabricadas en las cercanías del proyecto, es decir, aquellos lugares en el mismo país, o bien un radio de 500km desde el sitio del proyecto. Esto también incluye materiales tradicionales y arraigados culturalmente, y que sean fabricados bajo las normativas nacionales ambientales.

Se deberá especificar al menos un 20% de materiales de uso permanente de origen local, en base a los costos de materiales de construcción permanente. En caso de que no sea posible, se debe justificar por qué.

### 2. *Contenido reciclado*

Los materiales reciclados son materiales que estén compuestos del reciclaje de otros materiales o bien que incluyan un porcentaje que pertenezca a desechos de otro proceso. También se valora la utilización de elementos y materiales que proengan de la recuperación o reciclaje.

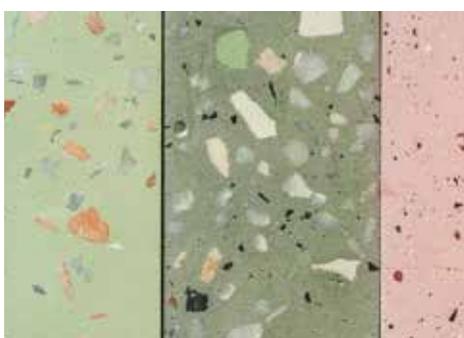
Se deberá especificar al menos un 10% de los costos de materiales de construc-

ción, en base al total de materiales de construcción permanentes, con elementos que puedan acreditar contenido reciclado a través de Ecoetiqueta tipo I, II o III (ver párrafo más abajo).

### 3. *Duraderos, fácil mantenimiento y desecho sustentable*

Se deberá especificar el uso de materiales de calidad y con características técnicas que posibiliten un uso prolongado de estos, que disminuyan sus necesidades de mantenimiento, y que permitan reutilización o reciclaje.

Un ejemplo de durabilidad, resistencia y fácil mantenimiento es el terrazo, fabricado con residuos de mármol, vidrio o granito mezclado con cemento. También la utilización de piedras tiene ventajas por ser duradero, el poco mantenimiento requerido, su origen natural y bajo impacto en extracción.



**Figura 56** Palmetas de terrazo.



**Figura 57** Pared de piedra.

Se deben considerar productos de materiales homogéneos, mono-componentes o desmontables en partes que puedan separarse para permitir el reciclaje de cada una de ellas. Algunos ejemplos de elementos que consideran su disposición son principalmente el mobiliario y luminarias que puedan estar certificados "Cradle to Cradle Certified®", estos productos generalmente están basados en contenido reciclable, sus partes están identificadas para un reciclado más efectivo.

#### 4. *Limitar el uso de materiales de alto impacto ambiental*

Se deberá reducir el uso de elementos de construcción cuyos procesos de fabricación o extracción requieran de uso intensivo de energía, o agua, privilegiando aquellos que puedan acreditar un bajo nivel de energía incorporada o bien algunas de las características indicadas en los puntos anteriores.

- Evitar: Metales (aluminio, acero o cobre), cerámicos, plásticos, pinturas al aceite,
- Privilegiar: Maderas, Bambú, corcho, fibras naturales, piedras naturales, ladrillos, estucos de yeso, hormigón.

Para poder orientar la toma de decisiones, el especialista de eficiencia energética deberá realizar un análisis de ciclo de vida (ACV) de los principales elementos de construcción utilizados. Existen herramientas de acceso gratuito, recomendables para comparar el impacto de diferentes materiales durante el proceso de diseño, algunas son: Gabi, Simapro, Umberto y OpenLCA.

#### **Documentos justificativos a solicitar**

En los casos que corresponda, el atributo de sustentabilidad de los materiales debe ser acreditado por el fabricante o proveedor a través de una la Declaración Ambiental del Producto (DAP).

Es esperable que, basado en los costos de los materiales de construcción, al menos el 5% de estos materiales que conforman los elementos permanentes\* cuenten con una declaración ambiental de productos que cumpla con las normas internacionales que las regulan (ISO 14025:2012 e ISO 21930). Etiquetas y certificaciones locales están incluidos en el Capítulo 7, correspondientes a Certificaciones.

A nivel internacional se encuentran las "Ecoetiquetas", en donde se entrega información ambiental de los productos, estas son clasificadas según es verificado su impacto ambiental:

**Tabla 20 Selección ejemplar de declaraciones medioambientales internacionales**

Tipo	Descripción	Ejemplos
Tipo I, Ecoetiquetas.	Sistema voluntario de calificación ambiental en base a ISO 12024, otorgado por un tercero imparcial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy Star</li> <li>- FSC</li> <li>- Water Sence</li> <li>- Fairtrade</li> <li>- Cradle to cradle</li> <li>- Der Blaue Engel</li> <li>- EU Ecolabel</li> <li>- Nordic Ecolabel</li> </ul>
Tipo II, Afirmaciones ambientales autodeclaradas.	Información ambiental entregada por el fabricante con o sin la verificación de un tercero independiente en base a ISO 12021.	Realizadas por cada productor.
Tipo III, Declaraciones ambientales de producto (DAP).	Cuantificación de los impactos medioambientales en el ciclo de vida según ISO 14025.	<p>Operadores de programas DAP:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FDES</li> <li>- UL Environment</li> <li>- BRE</li> <li>- UL Environment</li> <li>- ADEME</li> <li>- JEMAI</li> <li>- IFT Rosenheim</li> <li>- KEITI</li> <li>- ICC Evaluation System</li> <li>- DAPc</li> <li>- Norway EDP Foundation</li> <li>- IBU</li> <li>- The Green Standard</li> <li>- FP Innovations</li> <li>- IES</li> <li>- NRMCA</li> </ul>

Hacer un análisis global, implica un análisis del ciclo de vida. Los cálculos de impacto ambiental, como lo son la huella de carbono en edificaciones, están incluidos en los estándares ISO 21930 y EN 15804.

\* Elementos permanentes: Cimientos, muros, estructuras, ventanas y puertas, paneles y placas, cubiertas, terminaciones interiores y terminaciones exteriores.

Algunos de los estándares utilizados en los países CEELA son los siguientes:

**Tabla 21 Estándares y etiquetados de sustentabilidad de materiales de construcción.**

País	Estándares y etiquetados de sustentabilidad de materiales de construcción.
México	- ECOCASA.exe para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México y la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF).
Colombia	- SAC (Sello Ambiental Colombiano): Mobiliario de oficina, baldosas cerámicas, cemento, ahorradores de agua, ladrillos, luminarias, pinturas, etc.
Ecuador	- No disponible.
Perú	- Certificación EDGE (Software que calcula la energía embebida en materiales, además de ahorros de agua y energía).

## 5. Elaboración y evaluación de una licitación

El presente documento se centra en los aspectos relevantes de una licitación para asegurar una buena calidad técnica en el diseño y la ejecución del proyecto. Los aspectos mencionados en esta sección son aplicables para cualquier tipo de licitación de diseño y/o construcción de instituciones educativas.

### 5.1 Bases técnicas de la licitación

Los documentos técnicos de una licitación deben al menos contar con los siguientes elementos:

- **Descripción breve del proyecto:** incluyendo el alcance de intervención y una definición clara de las metas.
- **Requerimientos de calidad:** Se especifica la calidad mínima de los materiales y productos, así como sus condiciones de garantía. También se definen las competencias profesionales mínimas que se espera del equipo desarrollador.
- **Requerimientos técnicos:** de las distintas partidas o especialidades, según el capítulo 8 Aspectos técnicos (para control de calidad CEELA) a continuación.
- **Documentación requerida:** Se especifican los documentos requeridos para entregar una vez finalizada la obra y en operación, como planimetría relacionada y actualizada, permisos de construcción, reportes de puesta en servicio, itemizado de especificaciones técnicas, etc.
- **Requerimientos de obra:** procesos de toma de decisión y de control de calidad, aspectos de seguridad, protección del medio ambiente, gestión del almacenamiento de materiales y de los desechos de obra, etc.
- **Otros:** Requerimientos de servicios de capacitación y/o mantención de los equipos técnicos por un período a definir después de la entrega de obra.

### 5.2 Evaluación de las ofertas

#### 5.2.1 Evaluación general

La incorporación de criterios de confort y eficiencia energética en las edificaciones requiere que estos parámetros sean debidamente valorados en la evaluación de las ofertas. Si bien las ponderaciones de los distintos criterios de evaluación serán propias de cada proyecto, según las necesidades del organismo licitante, a continuación se sugieren distintos criterios y sus ponderaciones:

**Tabla 22 Criterios mínimos y recomendados para la comparación de ofertas.**

Criterio	Peso	Documento justificativo	Comentario
Criterios mínimos – Sin cumplimiento, la oferta no será evaluada			
Garantía de cumplimiento de las normas laborales y medidas de seguridad.	Criterio excluyente	Autodeclaración firmada.	Evalúa cumplimiento de derechos del trabajo, limitación de la corrupción, impuestos, etc.
Contenidos mínimos de la oferta.	Criterio excluyente	Depende de la licitación.	Evalúa que el proponente entrega toda la documentación requerida.
Jefe de proyecto con experiencia en eficiencia energética o con especialidad relacionada.	Criterio excluyente	Currículum Vitae de jefe de proyecto.	Evalúa capacidad de jefe de proyecto para aplicar principios de diseño integrado.
Criterios de evaluación – Permiten comparar las ofertas entre ellas			
Costos	40%-60%	Presupuesto de obra firmado, incluido las horas de diseño.	Cuanto mayor el trabajo intelectual, menor peso deben tener los costos en la evaluación. Cuando el diseño está totalmente definido y solo hace falta construir, entonces los costos pueden tener un peso más importante.
Experiencia a. Experiencia del jefe de proyecto y del jefe alterno. b. Composición del equipo c. Experiencia de la empresa. d. Sistema de control de calidad en la empresa.	20%-40%	a. Currículum especialistas b. Organigrama, incl. especialistas. c. Comprobantes experiencia o referencias de proyectos realizados. d. Descripción del sistema de control de calidad de diseño y de obra.	Es importante asegurar la presencia de los especialistas relevantes en el equipo de trabajo y que tengan la experiencia para aportar la calidad solicitada a la obra.
Calidad de la oferta a. Calidad técnica de los servicios. b. Calidad de los productos. c. Calendario de trabajo.	30%-50%	a. Descripción técnica del proyecto b. Lista de materiales propuestos y sus especificaciones técnicas. c. Propuesta de planificación de obra (etapas y plazos), resguardando las interacciones con los eventuales usuarios y/o vecinos.	Es importante indicar con claridad los requerimientos técnicos que se deben solicitar. Por ejemplo, para elementos de envolvente es fundamental contar con el valor de transmitancia o resistencia térmica, espesores y densidades de los elementos. Las fichas técnicas comerciales muchas veces no incluyen estos valores.
Otros a. Certificaciones de calidad de la empresa. b. Paridad hombres y mujeres en la empresa.	2% - 5%	a. Certificados ISO 50.001 (energía); ISO 14.001 (ambiente); ISO 9001 (calidad), etc. b. Autodeclaración.	

### 5.3 Normativa internacional de referencia para construcción sustentable

A continuación, se muestra un listado de normativas de referencia para los distintos tópicos evaluados en esta guía. Las referencias mostradas corresponden en su mayoría a estándares ASHRAE, ya que estos típicamente son utilizados como referencia en Latinoamérica y también es el principal referente en certificaciones como Minergie, LEED o EDGE. Estas guías se deberán tener como referencia cuando no exista un estándar nacional aplicable:

**Tabla 23 Normas de referencia para ser utilizadas en instituciones educativas con criterios de eficiencia energética.**

Materia	Norma internacional de referencia	Descripción breve
Diseño edificaciones sustentables	ASHRAE 189.1-2014 - Standard for the Design of High-Performance Green Buildings.	Proporciona una orientación para el diseño, la construcción y el funcionamiento de edificios ecológicos de alto rendimiento. Abarca tópicos como la ubicación, el emplazamiento la eficiencia del uso del agua, la eficiencia energética, la calidad del ambiente interior y el impacto del edificio en la atmósfera, los materiales y los recursos y el reciclaje.
	ASHRAE 90.1 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.	Proporciona los requisitos mínimos para el diseño de la eficiencia energética de edificios, excepto los edificios residenciales de baja altura. Indica los requisitos mínimos de eficiencia energética para el diseño y la construcción de nuevos edificios y sus sistemas, así como los criterios para determinar el cumplimiento de estos requisitos.
Ventilación y calidad del aire interior	ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.	El objetivo de esta norma es especificar los índices mínimos de ventilación y otras medidas destinadas a proporcionar una calidad de aire aceptable para los ocupantes y que minimice los efectos adversos para la salud.
	ASHRAE 55 – 2020 Thermal environmental Conditions for Human Occupancy.	La Norma 55 de ASHRAE especifica las condiciones para lograr un confort térmico aceptable y está destinada a su uso en el diseño, el funcionamiento y la puesta en marcha de edificios.
	ASHRAE Fundamentals 2010, capítulos 9 al 13.	Capítulo 9: Confort térmico. Capítulo 10: Salud ambiental interior. Capítulo 11: Contaminantes del aire. Capítulo 12: Olores. Capítulo 13: Modelación del ambiente interior.

Materia	Norma internacional de referencia	Descripción breve
<b>Equipos de climatización y ventilación</b>	ANSI/ASHRAE Standard 183-2007 Peak Cooling and Heating Load Calculation in Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.	Indica los requerimientos mínimos para el cálculo de las demandas pico de calefacción y refrigeración.
	ANSI/ASHRAE Standard 111-2008 -- Testing, Adjusting, and Balancing of Building HVAC Systems.	Indica procedimientos para la medición, testeo, ajuste, balance, evaluación y reporte del desempeño de los sistemas de climatización del edificio.  Indica los requerimientos mínimos de configuración para asegurar que el sistema pueda ser testeado y balanceado.
	ASHRAE Guideline 36-2018 High- Performance Sequences of Operation for HVAC Systems.	Indica secuencias detalladas de operación de sistemas de climatización y describe pruebas que confirman la implementación de las secuencias de operación.
	ASHRAE Fundamentals 2021, capítulos 14 al 19, excepto 17 (Cálculo de cargas térmicas).	Capítulo 14 Información para el diseño climático Capítulo 15 Fenestraciones Capítulo 16 Ventilación e infiltración Capítulo 18 Cálculo de cargas de calefacción y enfriamiento para edificaciones no residenciales Capítulo 19 Métodos de modelación y estimación de energía.
	ASHRAE Fundamentals 2021 capítulos 20 al 24 y capítulo 29.	Capítulo 20 Difusión espacial del aire. Capítulo 21 Diseño de ductos. Capítulo 22 Diseño de tuberías. Capítulo 23 Aislación para sistemas mecánicos. Capítulo 24 Flujo de aire alrededor de las edificaciones. Capítulo 29: Refrigerantes.
<b>Envolvente de la edificación</b>	ASHRAE Fundamentals 2021 capítulos 25 al 27	Capítulo 25: Control del calor, humedad y el aire en edificaciones - Fundamentos. Capítulo 26: Control del calor, humedad y el aire en edificaciones - Propiedades de los materiales. Capítulo 27: Control del calor, humedad y el aire en edificaciones - Ejemplos.

## 6. Bibliografía

- CITEC UBB DECON UC. (2015). *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.*
- Cluadio Vásquez, A. P. (2013). La Fachada Ventilada. *ARQ*, 6-9.
- Environmental Protection Agency. (4 de 9 de 2022). *Indoor Air Quality in schools.* Obtenido de How does indoor air quality impact student health and academic performance: <https://www.epa.gov/iaq-schools/how-does-indoor-air-quality-impact-student-health-and-academic-performance>
- Florida Solar Energy Center. (2004). *Alleviating moisture problems in hot, humid climate housing.*
- GlobalABC. (2019). *GlobalABC Regional Roadmap for Buildings and Construction in Latin America.* Global Alliance for Buildings and Construction.
- I. A. Wahab, L. H. (2012). *Natural Ventilation Approach in Designing Urban Tropical House.*
- IC, I. d. (2014). *Certificación CES Manual 1 de Evaluación y Calificación.* Santiago, Chile.
- IEA. (2018). *World Energy Outlook 2018.* International Energy Agency.
- Maarof Shafizal, J. P. (s.f.). *Thermal comfort factors in hot and humid region: Malaysia.*
- Mercon, M. G. (2008). *Confort térmico y tipología arquitectónica en clima cálido húmedo - Análisis de la cubierta ventilada.* Barcelona.
- MIDUVI. (2018). *Norma Ecuatoriana de la Construcción Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales.*
- Shaughnessy R.J, e. a. (2006). A preliminary study on the association between ventilation rates in classroom and student performance. *Indoor Air* 16 (6), 465-468.
- Shendell, D., Prill, R., Fisk, W., Apte, M., Blake, D., & Faulkner, D. (2004). Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air*, 14(5): 333-41.
- Szokolay, S. V. (2004). *Intriduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design.* Oxford: Architectural Press.



PROYECTO  
**CEELA**

CEELA es un proyecto de:



Schweizerischen Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE

Implementado por:



**efizity**

