



**Universitat**  
de les Illes Balears

# INFORME SOBRE LAS POSIBLES ACCIONES A IMPLANTAR PARA PROMOVER LA SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS DOCENTES DE EDUCACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

Equipo investigador:

Dra. Susana Hormigos Jiménez  
Dr. Cristian Carmona Gómez  
Dr. Francisco Masdeu Mayans

30-5-2023

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1. LA SOSTENIBILIDAD Y LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE	2
1.2. EL CONFORT	2
<b>2. LAS CONDICIONES AMBIENTALES INTERIORES EN CENTROS EDUCATIVOS Y FACTORES DE INFLUENCIA</b>	<b>4</b>
2.1. NIVELES DE SALUBRIDAD ESTABLECIDOS PARA CADA PARÁMETRO DEL CONFORT	4
2.2. LOS FACTORES EN LAS AULAS QUE INFLUYEN DIRECTAMENTE EN EL CONFORT INTERIOR Y EN LA SOSTENIBILIDAD	5
<b>3. LAS CONDICIONES AMBIENTALES INTERIORES EN CENTROS EDUCATIVOS Y FACTORES DE INFLUENCIA</b>	<b>9</b>
3.1. EL AMBIENTE EXTERIOR	9
3.2. ESTRATEGIAS PARA ALCANZAR EL CONFORT INTERIOR. LÍNEAS GENERALES	12
<b>4. ESTRATEGIAS PASIVAS PARA PROMOVER LA MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS DOCENTES</b>	<b>15</b>
4.1. LA ENVOLVENTE TÉRMICA	16
4.2. ACTUACIONES EN LA ENVOLVENTE TÉRMICA QUE MEJORAN LA SOSTENIBILIDAD	16
<b>5. ESTRATEGIAS ACTIVAS PARA PROMOVER LA MEJORA DE LA SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS DOCENTES</b>	<b>17</b>
5.1. SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN	17
5.2. SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	23
<b>6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS GUÍA</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>25</b>

# 1. Introducción

En el presente informe se presenta un análisis sobre la aplicación de técnicas, tanto pasivas como activas, que promuevan la mejora de la sostenibilidad en edificios docentes de educación primaria y secundaria. Como punto de partida, debe reflejarse el papel de la sostenibilidad en el ámbito de los edificios y aquellos principios que deben tenerse en cuenta.

## 1.1. La sostenibilidad y la construcción sostenible

De acuerdo con el Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el desarrollo, de Río de Janeiro, en 1992, la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades.

Posteriormente, en el Documento Final de la Cumbre Mundial de 2005, de Nueva York, se estipulan los 3 pilares del desarrollo sostenible:

1. El desarrollo social.
2. El desarrollo económico.
3. La protección del medio ambiente.

Así, los principios del desarrollo sostenible quedan descritos de la siguiente manera:

- Ningún recurso renovable se tiene que utilizar a un ritmo superior al que precisa su generación.
- No deben producirse contaminantes a un ritmo superior al que puedan ser reciclados, neutralizados o asimilados por el medioambiente.
- Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la estrictamente necesaria, para poder sustituirlo por un recurso renovable usado de manera sostenible.

En este contexto, la construcción sostenible es aquella que hace posible el aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que minimizan el impacto ambiental de los edificios sobre el medioambiente y sus habitantes. Por ello, un edificio sostenible debe contemplar los siguientes factores:

- En entorno en el que se ubican los edificios: el clima, la hidrografía y el propio ecosistema. Así, es posible diseñar estrategias pasivas (aquellas que no suponen un coste energético) de implantación en los edificios, para reducir el impacto.
- Con el punto anterior, viene relacionado el siguiente factor: la disminución del consumo energético tanto en climatización como en iluminación.
- Los materiales de construcción, que sean del entorno cercano, sostenibles.
- Los requisitos de habitabilidad y de confort: confort higrotérmico, confort acústico, confort lumínico y calidad del aire.

## 1.2. El confort

Como punto de partida, debe indicarse que, dentro de un espacio construido, la sostenibilidad debe velar por el confort de los usuarios. No debe perderse de vista que los edificios deben constituir un refugio seguro para las personas que los utilizan. El confort puede definirse como el punto en el que una persona gasta la mínima energía para adaptarse a su entorno. En este

sentido, y partiendo de la base que las condiciones de seguridad estructural y de habitabilidad vienen garantizadas por el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación, el confort en interiores está determinado por 4 parámetros, que condicionan la calidad ambiental interior:

1. Confort higrotérmico (temperatura y humedad relativa).
2. Confort acústico.
3. Confort lumínico.
4. Calidad del aire interior

El confort higrotérmico es la sensación de bienestar en relación con la temperatura y la humedad; esta se consigue al alcanzar el equilibrio entre el calor corporal y el calor ambiental. Dicho equilibrio depende de:

- el metabolismo de la persona,
- la ropa,
- la temperatura de la piel,
- la temperatura del aire,
- la humedad relativa,
- la temperatura superficial de los elementos y
- la velocidad del aire.

Para lograr el confort higrotérmico es indispensable moderar los cambios de temperatura mediante diferentes estrategias como la ventilación (natural, híbrida o mecánica); el empleo de elementos ajustables (ventanas, persianas, lamas, etc.), para dar respuesta a condiciones variables a lo largo del día o del año; y sistemas de climatización.

Respecto al confort acústico, o la sensación de bienestar con respecto a la acústica, aunque no resulta una cuestión prioritaria en una construcción sostenible, debe tenerse en cuenta en edificios que pueden llegar a ser especialmente ruidosos o donde obtener unas buenas condiciones acústicas es importante. Posibles fuentes de molestias acústicas pueden ser: el ruido producido por las instalaciones del edificio, ruidos producidos por las actividades que se desarrollen dentro del edificio o ruidos producidos en exteriores. Es importante, por ello, disponer de un buen aislamiento y acondicionamiento acústico, dependiendo de la tipología edificatoria.

Por otro lado, el confort lumínico, o la sensación de bienestar visual, depende de que exista una iluminación confortable. Por ello, es esencial considerar:

- la cantidad de luz,
- la distribución de la luz y
- la calidad de la luz.

En cuanto a la cantidad y calidad de luz, es importante tener en cuenta que la fuente de luz natural ofrece más ventajas, indudablemente, desde el punto de vista de la sostenibilidad frente a las fuentes de luz artificial. Adicionalmente, la calidad de la luz natural es excelente respecto a la reproducción del color. Sin embargo, la distribución de la luz en un espacio suele resultar más relevante, puesto que afecta a la percepción de la claridad en cuanto a contraste.

Finalmente, una adecuada calidad del aire interior es esencial para evitar la transmisión de enfermedades infecciosas, el agravamiento de patologías respiratorias como el asma o la posible aparición de otras enfermedades. El control de contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC, por sus siglas en inglés) o el material particulado (PM) resulta indispensable para ofrecer niveles seguros de calidad del aire en el interior de los edificios.

## 2. Las condiciones ambientales interiores en centros educativos y factores de influencia

Cabe destacar que, en los países desarrollados, la mayor parte del tiempo se invierte en espacios interiores y, dependiendo de la persona, la presencia en un ambiente interior varía entre un 60% y un 90% del día (Klepeis et al., 2001). Por ello, la calidad del ambiente interior influye notablemente sobre la salud y el bienestar de los ocupantes (Bluyssen, 2016a; Merabtime et al., 2018a; Wong et al., 2018; Zhang et al., 2019a).

Teniendo en cuenta el tiempo invertido en interiores, una de las tipologías más afectadas viene determinada por los edificios educativos donde los ocupantes llegan a invertir en torno a un tercio del día. Por este motivo, el alumnado y el equipo docente constituyen uno de los sectores de población más susceptibles, no solo a los efectos de exposiciones tóxicas, sino también a condiciones acústicas, lumínicas e higrotérmicas deficientes (Bluyssen, 2016b). Además, en el caso de los niños y niñas, al estar en proceso de maduración y tener demandas metabólicas más elevadas, la influencia del ambiente interior es todavía mayor (Mendell & Heath, 2005a).

Ha quedado patente, en los últimos años, que es necesario actuar sobre los edificios para evitar la transmisión de enfermedades infecciosas. La estrategia más extendida es aumentar notablemente la ventilación natural, para mejorar la calidad del aire interior (Dai & Zhao, 2020; Orosa et al., 2020; Pulimeno et al., 2020). Se trata de una medida efectiva, como se ha demostrado en diversos estudios en los últimos años (Bluyssen et al., 2018a; Elshafei et al., 2017; Golshan et al., 2018a; Hormigos-Jimenez et al., 2017a; Sarbu & Pacurar, 2015a); sin embargo, si las condiciones del ambiente exterior no son favorables, lleva consigo una merma del confort interior (principalmente higrotérmico).

Resulta esencial, por tanto, trabajar en la búsqueda de un equilibrio entre los 4 factores de calidad del ambiente interior (CAI) (Bluyssen, 2016b; Sarbu & Pacurar, 2015b): (1) el aire interior, (2) el ambiente higrotérmico, (3) el ambiente acústico y (4) la calidad de la iluminación.

### 2.1. Niveles de salubridad establecidos para cada parámetro del confort

**El aire interior.** Concentraciones máximas admisibles (European Concerted Action (ECA), 1992; Gobierno de España, 2011; INSHT, 1995, 2005, 2017; Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013a); (Minguillón et al., 2020):

- CO<sub>2</sub>: 800 ppm, o bien 500 ppm por encima de la concentración del aire exterior
- TVOC: 300 µg/m<sup>3</sup>
- HCHO: 100 µg/m<sup>3</sup>
- PM<sub>10</sub>: 40 µg/m<sup>3</sup>
- PM<sub>2.5</sub>: 15 µg/m<sup>3</sup>

Según las normativas en vigor actuales, el valor de concentración máxima admisible de CO<sub>2</sub> son 1000 ppm en el espacio interior; sin embargo, de acuerdo con las recomendaciones del CSIC (Minguillón et al., 2020) considerando la pandemia Covid-19, se llegó a establecer un valor máximo de 800 ppm.

**El ambiente higrotérmico.** Rangos de confort (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013b):

- Temperatura del aire interior: 23-25 °C (verano); 21-23 °C (invierno).
- Humedad relativa: 40-60%.

- Velocidad del aire: según especificaciones del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013b)

El ambiente acústico

- 35 dB, como máximo, en ámbitos de estudio (World Health Organization, 2005)

**La calidad de la iluminación** (natural y artificial). Rangos de confort recomendados (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2001), iluminancia media:

- 300-500 lux en aula de enseñanza
- 750 lux en aulas de dibujo

Estos 4 parámetros, junto con el ambiente exterior, precisan de estudios cuantitativos y cualitativos para poder determinar las correlaciones o combinaciones que puedan resultar más beneficiosas, y de la misma forma, poder determinar las más perjudiciales.

## 2.2. Los factores en las aulas que influyen directamente en el confort interior y en la sostenibilidad

Respecto a los edificios educativos, en los últimos años, diversos estudios han demostrado que las condiciones del ambiente interior en las aulas pueden perjudicar la salud a corto y a largo plazo, afectando también a la productividad y al desarrollo cognitivo (Bluyssen, 2016b; Buratti et al., 2018; Golshan et al., 2018b; Mendell & Heath, 2005b; Sadick & Issa, 2018a).

Considerando el espacio arquitectónico, el ambiente interior en aulas viene determinado, principalmente, por 5 aspectos que influyen directamente en los 4 factores de la CAI (Bluyssen, 2016b; Bluyssen et al., 2018b; Deme Belafi et al., 2018a; Sadick & Issa, 2018b; Wu & Ng, 2003a; Zhang et al., 2019b):

- los ocupantes y las actividades que realizan,
- los sistemas constructivos y los elementos del espacio interior (sistemas de la envolvente térmica, mobiliario, materiales destinados a acabados);
- el número, dimensiones y localización de las ventanas,
- el sistema de climatización y ventilación y
- el ambiente exterior

### 1. Los ocupantes y las actividades que realizan.

Los ambientes educacionales requieren requisitos ambientales específicos, debidos a las características singulares de dichos espacios (Zomorodian et al., 2016):

- los periodos de ocupación variables durante el día y el año,
- la diferencia en la actividad y vestimenta de los ocupantes
- el nivel de libertad para acciones de adaptación (cambio de posición, ropa, apertura / cierre de ventanas y persianas) y
- puntos de ajuste de temperatura cambiantes en aulas, frente a oficinas y espacios residenciales, que requieren la realización de estudios específicos de confort térmico.

Además, no se lograría una condición aceptable del ambiente interior, a menos que se lograra una aceptación holística en la calidad del aire, comodidad térmica, acústica y visual al mismo tiempo. Y cualquier cambio en estas medidas genera incomodidad y pérdida de productividad.

Hay dos categorías principales de modelos de confort térmico:

- Racional (RTC; (Shaw, 1972))
- Adaptativo (ATC;(Nicol F et al., 2015))

El modelo RTC de Fanger se basó en estudios realizados a estudiantes universitarios en contextos de clima controlado; por ello, varios estudios argumentan que no podía predecir con precisión los niveles de confort térmico en condiciones reales (De Giuli et al., 2012; Mors et al., 2011; Teli et al., 2012). Desde la introducción del ATC, varios estudios han apoyado modelos adaptativos, en las evaluaciones del confort térmico, para establecer índices cuantitativos que permitan a los usuarios mejorar sus condiciones de confort (Buratti & Ricciardi, 2009). Este modelo de confort térmico también se ha evaluado en las aulas y se han investigado los comportamientos adaptativos de los estudiantes. Se han desarrollado varias ecuaciones de confort basadas en estudios de campo, que relacionan la temperatura de confort interior con la temperatura exterior media mensual (Mishra & Ramgopal, 2013).

## 2. Los sistemas constructivos y los elementos del espacio interior

Por un lado, los materiales de revestimiento contribuyen en gran medida a la calidad del ambiente interior debido a la amplitud de la superficie que ocupan; por tanto, afectan tanto al aire interior como al ambiente higrotérmico, acústico y lumínico (Bluyssen, 2016b). Además, dichos materiales emiten VOC (compuestos orgánicos volátiles) (Bluyssen, 2016b; Hormigos-Jimenez et al., 2017b) cuya concentración interior aumenta junto con la temperatura; por tanto, el aspecto térmico en el ambiente interior afecta a la calidad del aire interior (Bluyssen et al., 2018b; Merabtine et al., 2018b).

Al emplear revestimientos absorbentes del calor, se contribuye a un sobrecalentamiento interior (por medio de la radiación), lo que genera también un aumento de las emisiones de VOC. Este factor también se ve afectado por el color del material y su capacidad de absorción. En este sentido, la ventilación del aula cobra gran importancia, ya que, en la gran mayoría de casos, las emisiones producidas por los materiales y por los ocupantes no se eliminan de manera eficiente (Bluyssen, 2016b; Hormigos-Jimenez et al., 2017b; Hormigos-Jimenez, Padilla-Marcos, Meiss, Gonzalez-Lezcano, & Feijó-Muñoz, 2018).

Adicionalmente, respecto a la calidad de la acústica, se ha demostrado que los niños y las niñas son más susceptibles a un ambiente acústico deficiente que la población adulta; por ello, se debe prestar atención a los materiales empleados, que funcionen como absorbente acústicos para mejorar el ambiente interior (Harris, 2015; Shield & Dockrell, 2003).

## 3. El número y localización de las ventanas

La cantidad de ventanas y la posición que ocupen en el aula será determinante para la eficiencia de la ventilación natural. Aunque exista una tasa de ventilación adecuada, pueden existir zonas de aire viciado debido al flujo de aire que se produzca en el aula (Deme Belafi et al., 2018b; Hormigos-Jimenez et al., 2019; Hormigos-Jimenez, Padilla-Marcos, Meiss, Gonzalez-Lezcano, & Feijó-Muñoz, 2018). Este viene determinado, en la ventilación natural, por la posición de las aberturas de admisión de aire (las ventanas) y las aberturas de extracción (puertas).

Por otro lado, la posición y las dimensiones de las ventanas influye directamente en la iluminación natural. Resulta esencial llegar a alcanzar una iluminación adecuada para garantizar la salud de ocupantes, que sea uniforme y evitando los deslumbramientos; para ello, es preciso analizar la

iluminación natural, la iluminación artificial, la proporción y orientación de los huecos en fachada (Winterbottom & Wilkins, 2009; Wu & Ng, 2003b) y el color de las superficies (Yildirim et al., 2015).

#### 4. El sistema de ventilación y climatización

El objetivo principal de la ventilación de las aulas es crear condiciones ambientales interiores que reduzcan el riesgo de problemas de salud entre los ocupantes, aumente la sensación de confort y minimice cualquier efecto negativo sobre el aprendizaje (Sarbu & Pacurar, 2015b). Varios estudios muestran los niveles mínimos de tasas de ventilación en edificios educaciones (Bakó-Biró et al., 2012a; Cândido et al., 2010) para albergar un efecto positivo sobre la salud y el rendimiento de los ocupantes. Además, las bajas tasas de ventilación en las aulas también se han asociado con una menor atención y concentración de los estudiantes (Bakó-Biró et al., 2012b; Brink et al., 2020; Mishra & Ramgopal, 2015), y un aumento del ausentismo (Mendell et al., 2013; Shendell et al., 2004). En la literatura científica se indica que la ventilación de las aulas es inadecuada y que, además, son considerablemente más bajas que en las oficinas (Daisey et al., 2003; Norback & Nordstrom, 2008).

Las directrices actuales sobre ventilación en las aulas recomiendan una cantidad mínima de aire fresco de 7-8 l / ocupante (Asociación Española de Normalización, 2014, 2020) y un diferencial de concentración de CO<sub>2</sub> interior-exterior de menos de 500 ppm (Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013b). Alcanzar estas tasas de flujo de aire con un sistema de ventilación mecánica aumenta el consumo de energía y el coste de mantenimiento en los edificios educaciones que, en la mayoría de los casos, tienen un presupuesto limitado. En muchos climas, como es el caso del clima mediterráneo, un sistema de ventilación natural (VN) bien diseñado puede proporcionar una calidad del aire interior adecuada sin coste de funcionamiento.

Implementar sistemas VN efectivos en edificios educativos resulta complicado, debido al uso prolongado de los espacios de las aulas y la dependencia del sistema de la geometría del edificio y de las condiciones exteriores (temperatura, humedad, contaminación y ruido). En una VN, el flujo de aire se genera por diferencias de presión, viento o una combinación de ambos. Estas diferencias de presión impulsan el flujo de aire de las zonas de presiones altas a bajas, a través de diferentes zonas dentro del edificio o entre el ambiente interior y exterior. Para ventilar un espacio de forma natural, existen tres enfoques principales que se pueden utilizar: ventilación unilateral (VU), ventilación cruzada (VC) y ventilación por desplazamiento (VD) (Sarbu & Pacurar, 2015b).

- VU es el sistema más común debido a su simplicidad: requiere aberturas en una sola fachada (Koinakis, 2005). Sin embargo, estos sistemas a menudo tienen dificultades para proporcionar un flujo de aire suficiente.
- VC utiliza aberturas en fachadas opuestas y tiene el potencial de proporcionar grandes caudales (Carrilho da Graça et al., 2015a), pero es difícil de implementar en escuelas debido a la posible incomodidad inducida por corrientes de aire y la propagación del ruido.
- En los sistemas VD, el aire se introduce cerca del suelo de la habitación a baja velocidad. La diferencia de temperatura entre el flujo de entrada y el aire de la habitación calentado por las ganancias internas promueven el flujo de aire hacia arriba, transportando el calor y los contaminantes fuera de la zona ocupada (Carrilho da Graça et al., 2015b). Para que las fuerzas de flotabilidad sean efectivas, los sistemas VD requieren una diferencia de altura entre la entrada y la salida que es difícil de lograr sin chimeneas.



Por otro lado, existe la ventilación mecánica o forzada. En sistemas mecánicos para espacios docentes debe ser necesario realizar revisiones de funcionamiento donde se chequen los siguientes puntos:

- El caudal de aire desplazado debe ser igual o superior al establecido en diseño. Los sistemas de ventilación mecánica pierden capacidad de ventilación con las horas de funcionamiento, debido tanto a incrementos de carga del sistema como envejecimiento de los equipos.
- El sistema debe estar limpio, sin obstrucciones ni bloqueos en todo su recorrido. Deben revisarse tanto las admisiones como extracciones, y se deben limpiar los conductos, prestando especial atención a cambios de dirección o sección de los mismos.
- Los filtros deben limpiarse y reemplazarse siguiendo plazos establecidos. Los filtros deben tener las propiedades específicas a la zona, siguiendo lo dispuesto en RITE 2007 y el mantenimiento de los mismo nunca debe exceder los requerimientos del fabricante.

Considerando una comparativa entre ventilación natural y mecánica, los sistemas de **ventilación natural** siempre están limitados por el ambiente exterior al espacio a ventilar, esto conlleva que no sea posible asegurar una calidad del aire suficiente para mantener los mínimos sanitarios del espacio. Por otro lado, en los casos en los que no se dispone de un sistema de monitorización y control, la ventilación queda a expensas de los usuarios, que de manera involuntaria pueden hacer un uso inadecuado de la misma, pudiendo empeorar la salubridad interior.

Adicionalmente, estos sistemas de ventilación utilizados en espacios climatizados conllevan una pérdida de carga térmica sustancial y no controlada, que en el caso de sistemas de ventilación mecánica puede ser minimizado con la utilización de sistemas de recuperación de calor. Así como la posibilidad de utilizar filtros de eliminación de contaminantes conocidos, como filtros HEPA o filtros electrostáticos.

Respecto a los sistemas de climatización, el análisis de posibles sistemas de generación térmica debe considerar en todo caso las necesidades climáticas de la comunidad en la que se encuentran las estancias donde, en el caso concreto de las Islas Baleares, se establece un clima ambiental templado con una alta humedad de aire. Por lo que la selección de un sistema de control térmico ambiental debe considerar tanto de generación térmica de calor para el invierno como generación de frío para la época de verano.

Por tanto, deben considerarse los equipos capaces de proporcionar únicamente calor, y que pueden ser soluciones adecuadas a ciertos centros, sistemas capaces de proporcionar tanto frío como calor y, por último, sistemas capaces de generar frío, calor y control de aire (considerando las necesidades de ventilación, recuperación de calor o control de humedad).

En el caso de sistemas de generación de calor existen los sistemas de calor azul (sistemas de efecto Joule), sistemas de combustión (independientemente del combustible a utilizar) y sistemas de captación solar. En el caso de sistemas de generación de frío y calor, pueden encontrarse equipos de bomba de calor y sistemas de aerotermia. Adicionalmente, pueden contemplarse las unidades de tratamiento de aire (UTA), con control térmico y de humedad.

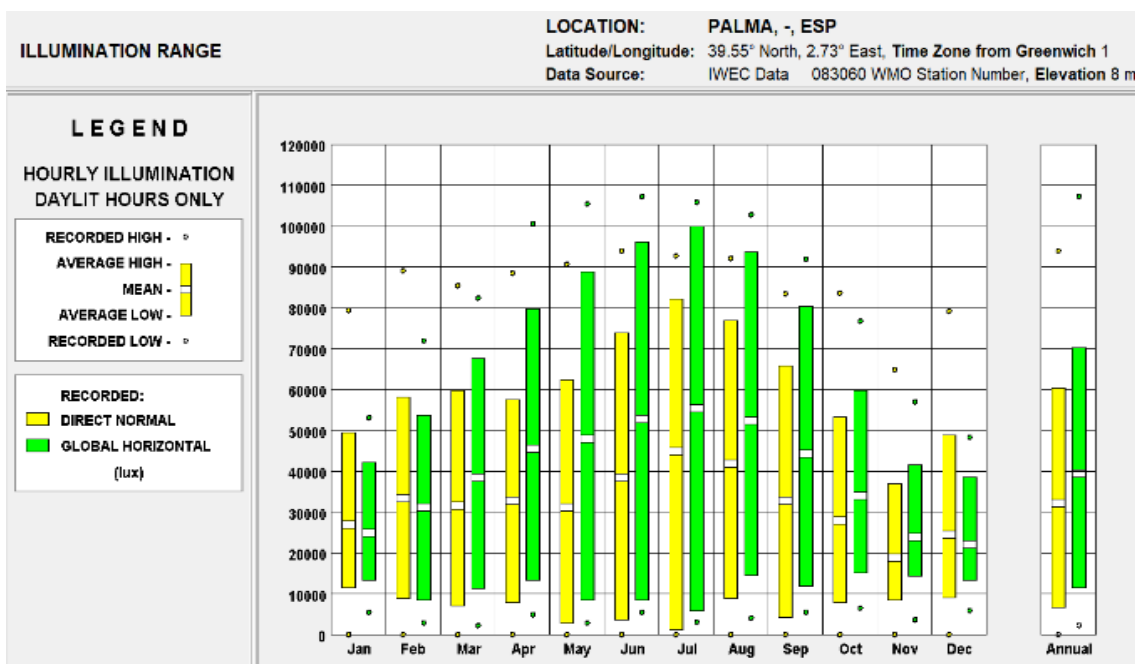
### 3. Las condiciones ambientales interiores en centros educativos y factores de influencia

Las condiciones exteriores (temperatura, la humedad relativa y las condiciones lumínicas y acústicas) afectan directamente a la calidad ambiental interior. En un clima mediterráneo como, por ejemplo, Palma, sus características principalmente favorables (temperaturas suaves, horas de luz diurna, viento, radiación, etc.), albergan un gran potencial para mejorar la sostenibilidad.

#### 3.1. El ambiente exterior

Las siguientes imágenes reflejan las condiciones exteriores del clima en Palma, pero que se entiende extensivo al resto de las Illes Balears, teniendo en cuenta que podrían existir variaciones en zonas concretas. Estas condiciones que definen el clima exterior pueden distinguirse en:

- Rango lumínico (imagen 1)
- Radiación (imagen 2)
- Velocidad del viento y dirección (imagen 3 y 4, respectivamente)
- Temperatura y humedad relativa (imagen 5)



**Imagen 1.** Condiciones anuales del clima de Palma. Rango lumínico. Fuente: Climate Consultant Software.

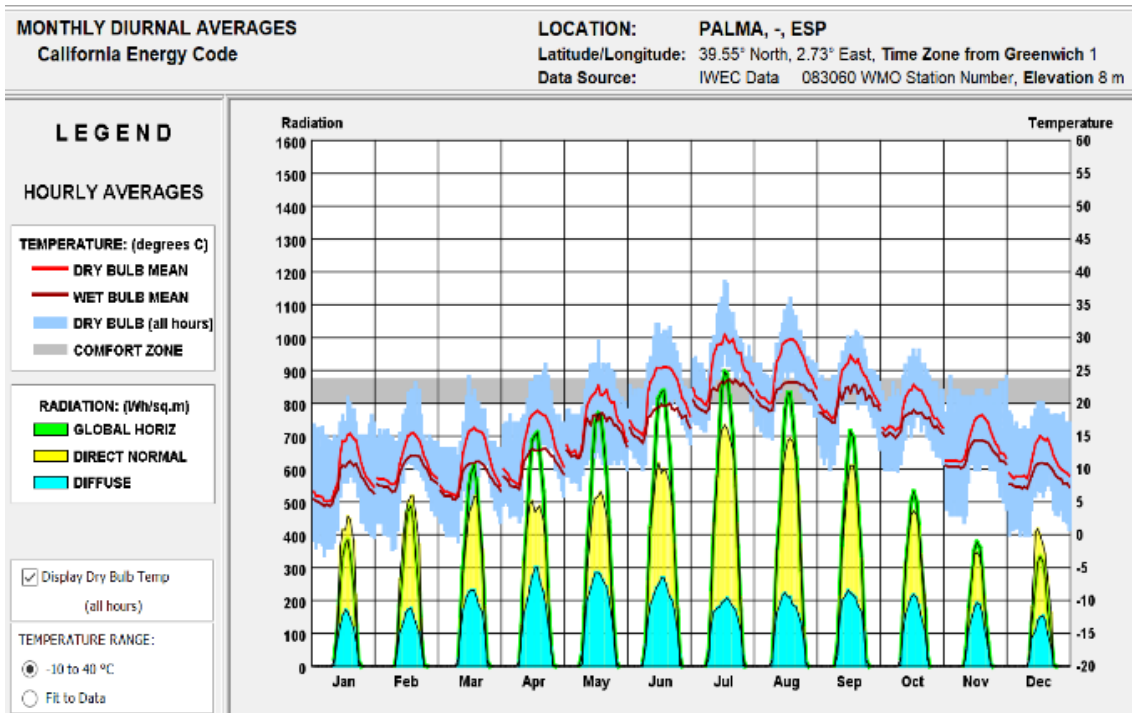


Imagen 2. Condiciones anuales del clima de Palma. Radiación. Fuente: Climate Consultant Software.

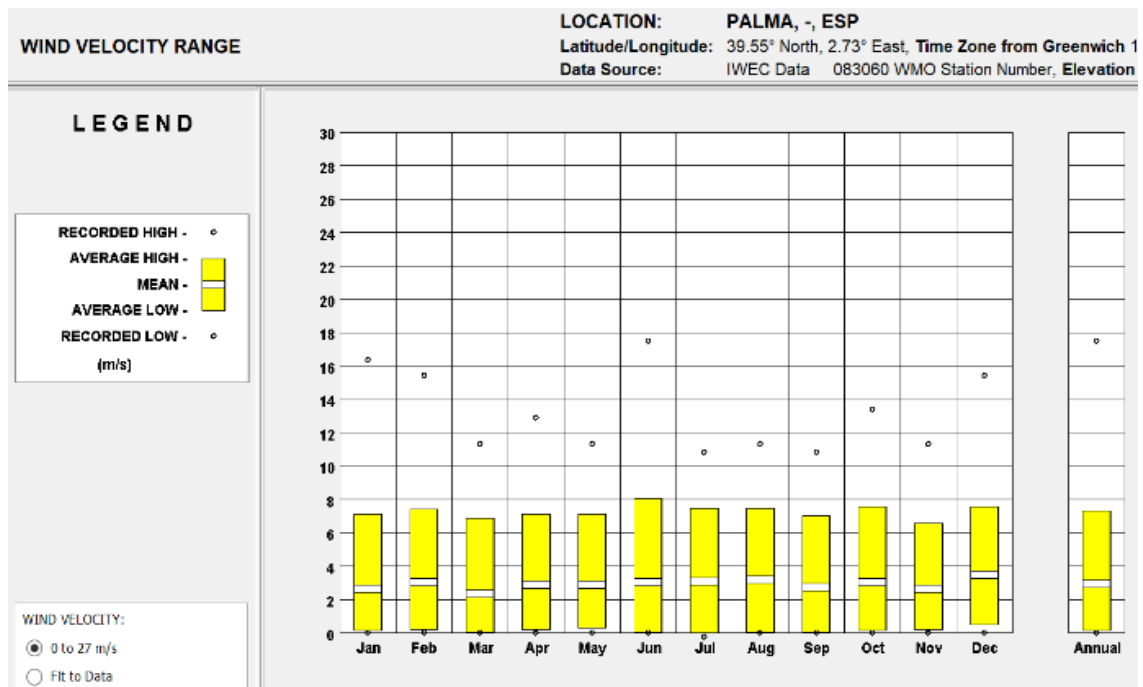
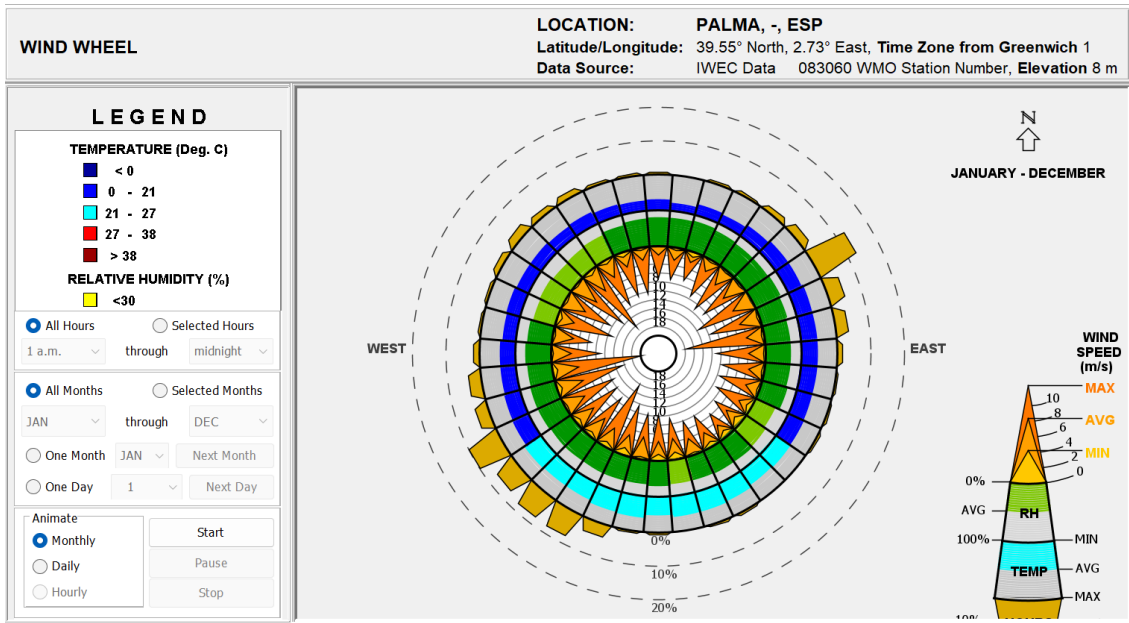
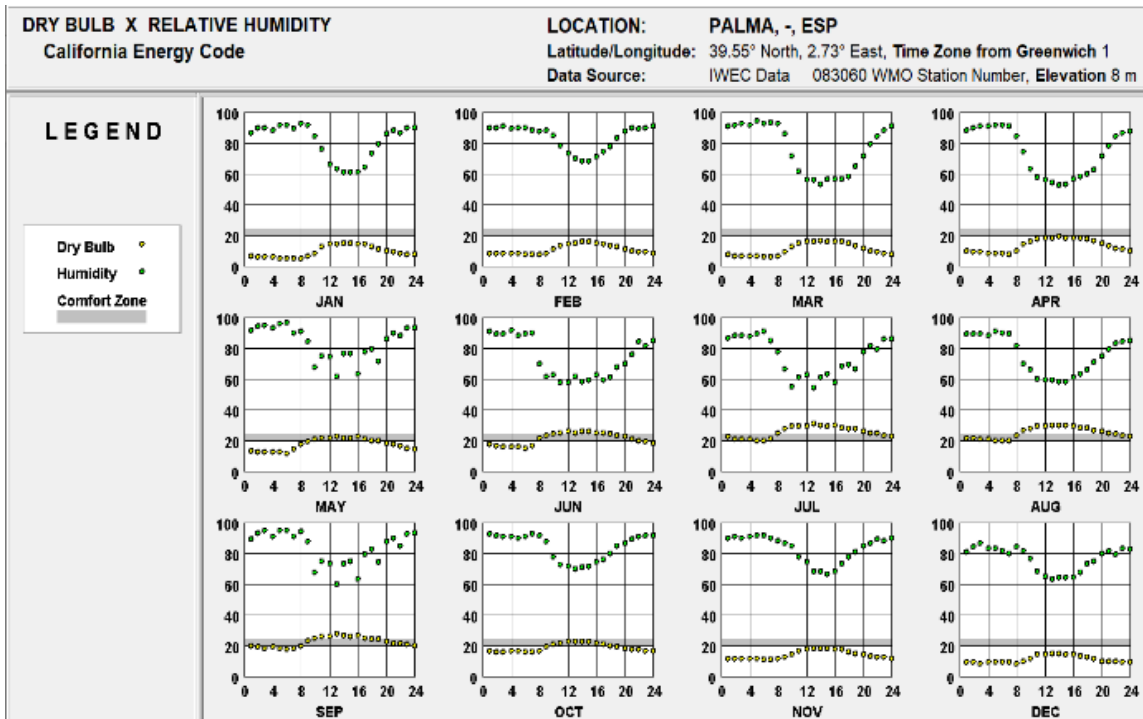


Imagen 3. Condiciones anuales del clima de Palma. Velocidad del viento. Fuente: Climate Consultant Software.



**Imagen 4.** Condiciones anuales del clima de Palma. Temperatura y humedad relativa. Fuente: Climate Consultant Software.



**Imagen 5.** Condiciones anuales del clima de Palma. Temperatura y humedad relativa. Fuente: Climate Consultant Software.

Por último, en los informes anuales de calidad del aire realizados por el Govern de les Illes Balears, Servicio de Cambio Climático y Atmósfera ([http://www.caib.es/sites/atmosfera/es/informes\\_anuales\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_aire-3179/](http://www.caib.es/sites/atmosfera/es/informes_anuales_de_la_calidad_del_aire-3179/)) se puede observar los datos, relativos a la calidad del aire exterior en los últimos años, recogidos por estaciones meteorológicas fijas tanto en Mallorca, como en Menorca e Ibiza. Destacan los altos niveles de material particulado y de ozono en el ambiente.

Considerando los 5 puntos analizados ((1) los ocupantes y las actividades que realizan; (2) los sistemas constructivos y los elementos del espacio interior (sistemas de la envolvente térmica, mobiliario, materiales destinados a acabados); (3) el número, dimensiones y localización de las ventanas; (4) el sistema de climatización y ventilación; y (5) el ambiente exterior; los edificios influyen directamente en 3 de ellos:

- los sistemas constructivos y elementos del espacio interior,
- el número, dimensiones y localización de las ventanas,
- el sistema de climatización y ventilación.

### 3.2. Estrategias para alcanzar el confort interior. Líneas generales

Las posibles estrategias que puedan proponerse para mejorar la sostenibilidad se dividen en 2 bloques principales:

- Estrategias pasivas: aquellas que no suponen un gasto energético durante su utilización. Suelen ser aquellas que se emplean en la mejora de la envolvente del edificio (fachadas y cubierta) y elementos del espacio interior.
- Estrategias activas: aquellas que suponen un gasto energético durante su utilización. Suelen ser aquellos sistemas empleados para acondicionar térmica y lumínicamente un edificio.

Por ello, las soluciones propuestas para impulsar la sostenibilidad de los edificios docentes se dividen en dichos bloques: estrategias pasivas y estrategias activas. Sin embargo, antes de introducir, por separado, dichas estrategias, cabe destacar, de forma generalizada, cuáles serían las más importantes en función de la época del año y del clima de Baleares en dicho momento.

En este contexto, las imágenes que se muestran a continuación (cartas psicrométricas) muestran, para cada época del año, el clima exterior (puntos en verde), las zonas de confort (las áreas sombreadas en azul) tanto en invierno (izquierda) como en verano (derecha), y las estrategias que se recomienda emplear para alcanzar el confort interior (subrayadas en beige en el listado de estrategias). Nótese que, para cada estrategia, se indica un porcentaje en el que sería útil su utilización, en el periodo seleccionado.

La dificultad de alcanzar este confort de una forma sostenible radica en los siguientes puntos:

- Es imprescindible tener en cuenta el clima. Las estrategias a emplear no serán las mismas en climas fríos que en cálidos, en climas húmedos que en climas secos, etc. Lo que funciona en una zona climática concreta, es muy probable que sea perjudicial en otra.
- En un clima como el mediterráneo, las condiciones exteriores llegan a ser cambiantes, en gran medida, entre las diferentes épocas del año; por ello, acudir a elementos flexibles, que puedan funcionar tanto para verano como para invierno, resulta de gran utilidad.

- Las condiciones de cada edificio afectan también a la hora de identificar la idoneidad de cualquier actuación: orientación, volumen, área de la envolvente (fachadas, cubierta y suelo), características constructivas de la envolvente, huecos en fachada y cubierta, superficie útil.

Las siguientes estrategias no tienen en cuenta la generación de electricidad. Simplemente, destacan estrategias sostenibles (con posibilidad de gasto energético nulo o muy bajo) para alcanzar el confort interior.

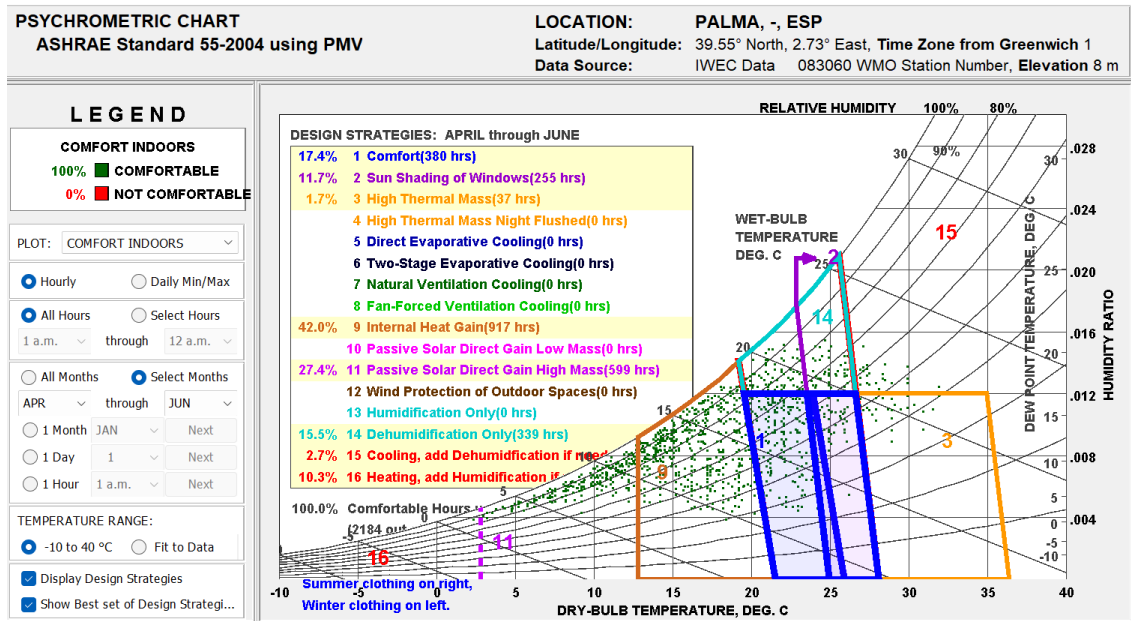


Imagen 6. Estrategias para alcanzar el confort en primavera. Fuente: Climate Consultant Software.

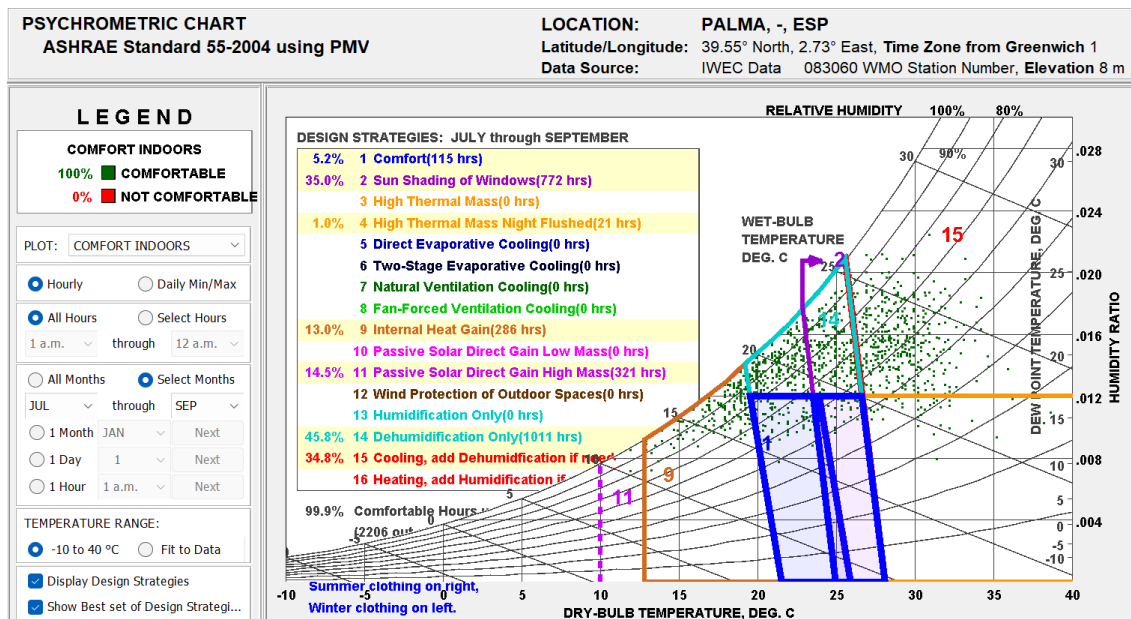


Imagen 7. Estrategias para alcanzar el confort en verano. Fuente: Climate Consultant Software.

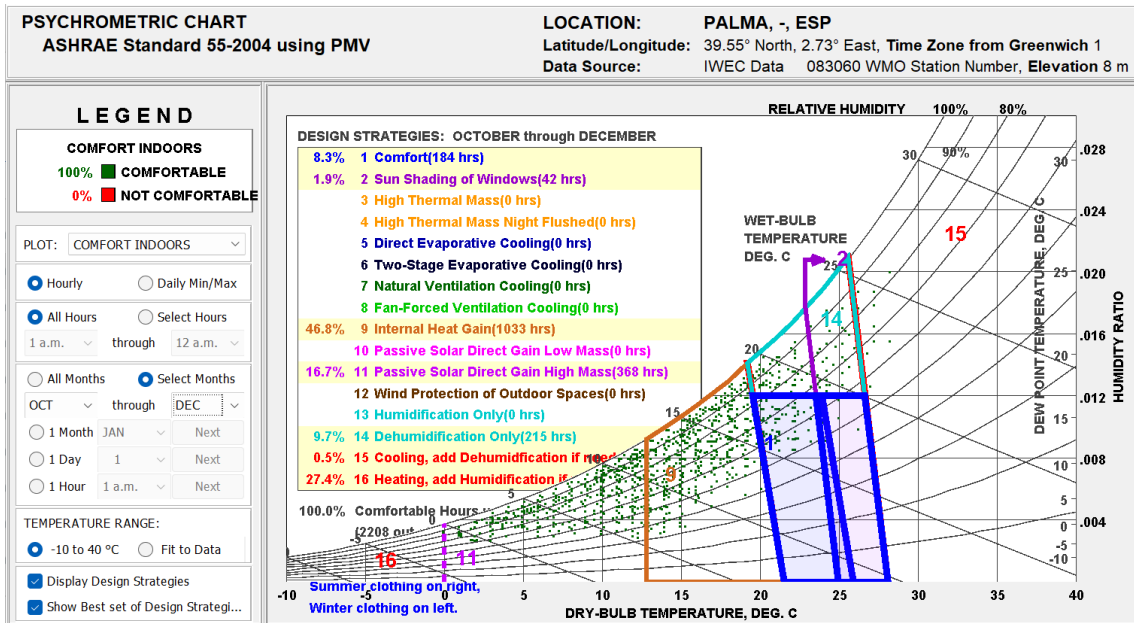


Imagen 8. Estrategias para alcanzar el confort en otoño. Fuente: Climate Consultant Software.

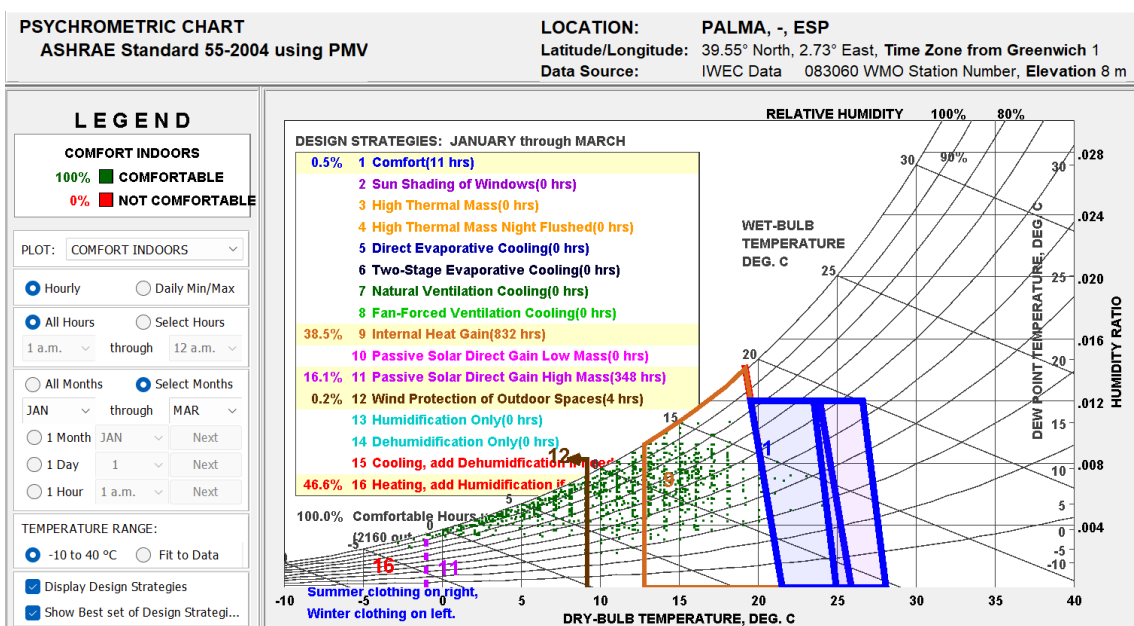


Imagen 9. Estrategias para alcanzar el confort en invierno. Fuente: Climate Consultant Software.

Como se puede apreciar en las imágenes anteriores, para cada estación del año, las estrategias a considerar varían, ya que, en función de la época, será conveniente calefactar o enfriar el espacio interior, usar ventilación, emplear protección ante el viento, etc. Para entender de forma más sencilla las diferentes estrategias, en la siguiente tabla se muestran todas ellas, por orden (según aparecen en las imágenes) y se indican, en color gris, aquellas que conviene seguir para cada época del año; en función del porcentaje de aplicación (por encima del 10%, entre el 10% y el 20% e inferior al 10%), la intensidad del sombreado varía. Aquellas estrategias no aptas para el clima de Baleares se detallan en color gris, para destacar aquellas que sí es preciso emplear.

Tabla 1. Comparativa, entre estaciones de año, de las estrategias para alcanzar el confort interior				
Estrategias	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
1 Confort (%)	17,4	5,2	8,3	0,5
2 Protección solar en ventanas (%)	11,7	35	1,9	
3 Inercia térmica elevada (%)	1,7			
4 Inercia térmica elevada con ventilación selectiva (nocturna) (%)		1		
5 Enfriamiento evaporativo (%)				
6 Enfriamiento evaporativo en dos fases (%)				
7 Enfriamiento con ventilación natural (%)				
8 Enfriamiento con ventilación forzada (%)				
9 Ganancia interna de calor (%)	42,0	13	46,8	38,5
10 Ganancia de calor por captación solar pasiva. Baja inercia (%)				
11 Ganancia de calor por captación solar pasiva. Alta inercia (%)	27,4	14,5	16,7	16,1
12 Protección del viento en exteriores (%)				0,2
13 Humidificación (%)				
14 Deshumidificación (%)	15,5	45,8	9,7	
15 Enfriamiento y deshumidificación (si es necesaria) (%)	2,7	34,8	0,5	
16 Calentamiento y humidificación (si es necesaria) (%)	10,3		27,4	46,6

De acuerdo con los datos climáticos y las estrategias presentadas en las figuras (6-9) y en la tabla (1), cabe indicar que, para edificios ubicados en Baleares las estrategias (sostenibles) con más posibilidad de éxito a seguir, para alcanzar el confort, son las siguientes:

- Protección solar en las ventanas, especialmente en verano. Esto contrasta con la captación solar pasiva en el resto de las estaciones. Por ello, es esencial recurrir a elementos flexibles que puedan emplearse a lo largo del año como: voladizos, persianas, cortinas, lamas, etc.
- Ganancia de calor interna en primavera, otoño e invierno: aporte de calor por medio de estrategias pasivas y activas.
- Enfriamiento y/o deshumidificación (esta última si fuese necesaria), especialmente en verano.

Para conseguir estas actuaciones, es preciso, como se ha indicado, seguir tanto estrategias pasivas como activas, que se indican en los siguientes apartados.

## 4. Estrategias pasivas para promover la mejora de la sostenibilidad en edificios docentes

En este contexto, sobre las estrategias pasivas, cabe mencionar que estas tienen una alta relevancia dentro del diseño sostenible, puesto que su utilización no requiere un gasto energético. En contraposición, la implantación de algunas de ellas resulta complicado de implantar en edificios existentes, ya que implican cambios en el diseño o intervenciones en el edificio difíciles de conjugar con la actividad docente a lo largo del curso académico.



#### 4.1. La envolvente térmica

La envolvente térmica de un edificio es aquella constituida por todos los cerramientos, tanto horizontales como verticales, en contacto con el exterior y con espacios habitables del interior, simultáneamente; o bien en contacto con espacios habitables del interior y con espacios no habitables del interior, simultáneamente. Estos cerramientos vienen conformados por diferentes sistemas y elementos, tanto de fachada, como de cubierta. Influyen, por tanto, los sistemas constructivos, las puertas, las ventanas y las superficies acristaladas.

Las intervenciones (estrategias pasivas) de mejora en la envolvente térmica del edificio pueden llegar a alcanzar hasta un 40% de ahorro en la demanda de calefacción y refrigeración (*Estudio y Propuesta de Intervención Sobre La Envolvente En Establecimientos Hoteleros Para Una Mejora Significativa de La Eficiencia Energética • CONSTRUIBLE*, n.d.). Estas soluciones (*Guías Técnicas Para La Rehabilitación de La Envolvente Térmica de Los Edificios | Idae*, n.d.) pasan por incluir el aislamiento adecuado en fachadas y cubierta, según el sistema constructivo que alberguen, y/o soluciones de carpinterías y acristalamiento con altas prestaciones.

#### 4.2. Actuaciones en la envolvente térmica que mejoran la sostenibilidad

Considerando que Baleares alberga un clima templado, aunque con variaciones entre las diferentes épocas del año, se indica un listado con las actuaciones pasivas a considerar:


1. Aislamiento térmico en fachadas y cubiertas para aislar el edificio de las condiciones extremas exteriores, tanto en épocas de frío como de calor. Es posible incluir este aislamiento tanto por el exterior, con Sistemas Compuestos de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE); como por el interior, con sistemas de trasdosado.
2. Para poder llevar a cabo ganancias solares pasivas (especialmente en invierno), es importante que exista un determinado porcentaje de superficie acristalada orientada al sur, con protecciones o sales (tipo voladizo) para proteger estas superficies en verano. Para un clima como el de Baleares, es recomendable una superficie acristalada de un 10% de la superficie construida, aproximadamente.
3. Para adaptarse a las variaciones climáticas, es recomendable incluir sistemas flexibles como lamas o persianas.
4. Incluir carpinterías de madera, PVC o, si son metálicas, con rotura de puente térmico. Las más eficientes térmica y acústicamente son las de PVC, pero desde un punto de vista de calidad del aire interior, la mejor solución es optar por un producto natural como la madera. El acristalamiento debe ser doble, de baja emisividad y a ser posible con uso de argón en la cámara de aire para mejorar la eficiencia en aislamiento acústico.
5. Es recomendable el uso de materiales en fachada que proporcionen alta inercia térmica.
6. Usar la ventilación selectiva, durante la noche, para reducir la temperatura interior en épocas cálidas.
7. Incluir vegetación, pero dejando libre un ángulo de 45° frente a las ventanas, para permitir la captación solar.
8. Tener patios o porches, con sistemas que proporcionen sombra, orientados hacia las brisas predominantes hace posible su uso confortable en momentos cálidos o húmedos.
9. Uso de fachadas ventiladas en los muros con orientación sur (especialmente) y en las orientadas este u oeste, con el objetivo de generar sombra, mejorando así la eficiencia en protección al calor en verano.
10. Incluir elementos de iluminación natural en cubierta (menos de un 3% de la superficie construida) reduce el uso de iluminación artificial.
11. Ubicar los lugares de almacenaje o garajes en la parte del edificio que de a la fachada más fría (norte) o de vientos predominantes.

## 5. Estrategias activas para promover la mejora de la sostenibilidad en edificios docentes

Los sistemas de climatización presentados en este apartado (AFEC, n.d.; Minguillón et al., 2020; Ministerio de Industria Energía y Turismo, 2013a) recogen los diferentes sistemas que pueden implantarse en edificios docentes. Adicionalmente, se incluyen también sistemas de generación de energía eléctrica. La idoneidad de cada sistema depende de las características geométricas y constructivas particulares de cada centro y sus necesidades concretas. Cabe destacar que, aun disponiendo de los parámetros de selección generales, las medidas finalistas deben ser, en todos los casos, analizadas en detalle por técnicos para cada una de las soluciones dispuestas.

### 5.1. Sistemas de climatización

Tabla 2. Combustión	
Máquina - Equipo	<b>Combustión</b>
Generación térmica	calor
Combustible	Gas natural / Gas propano / Gasoil / Biomasa
Coste operación por m <sup>2</sup> /año aprox.	De 8 a 14 €/m <sup>2</sup> /año




#### Descripción del equipo

Utiliza un combustible como fuente de energía para generar calor. Consiste en una caldera que quema el gas para calentar el agua que se distribuye a través de tuberías hacia radiadores u otros elementos terminales. Es una opción popular debido a su eficiencia energética y rápido calentamiento. Además, dispone de diferentes combustibles a los que adaptarse en función de coste o necesidades. Sin embargo, requiere de una instalación de tuberías y de una conexión de suministro o un espacio de almacenamiento.


Ventajas	Inconvenientes
<p><b>Eficiencia energética:</b> son equipos altamente eficientes y proporcionan una calefacción rápida y efectiva, permitiendo un calentamiento uniforme del espacio.</p> <p><b>Costo:</b> la posibilidad de determinar el combustible concreto permite una climatización más económica en comparación con otros sistemas, dando lugar a costes de operación más bajos.</p> <p><b>Disponibilidad:</b> posibilidad de seleccionar la caldera en función del combustible deseado. Posibilidad de adaptarse a la disponibilidad de combustible de la zona.</p> <p><b>Menores emisiones:</b> un sistema de combustión eficiente es capaz de generar el calor demandado con menos emisiones contaminantes que otros sistemas.</p>	<p><b>Coste de instalación:</b> la instalación inicial de una caldera, el sistema de tuberías para el suministro de combustible, así como el reparto de agua a temperatura puede tener un coste más elevado que otros sistemas.</p> <p>Los sistemas de combustión requieren un mantenimiento regular para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.</p> <p><b>Riesgo de fugas:</b> existe un riesgo potencial de fugas de combustible, por lo que es importante mantener los sistemas correctamente sellados y realizar inspecciones periódicas.</p> <p><b>Impacto ambiental:</b> aunque una combustión correcta minimiza las emisiones de humos, es una fuente no renovable que contribuye al cambio climático y a la explotación de recursos naturales.</p>

Tabla 3. Instalación de calor azul	
Máquina - Equipo	<b>Calor Azul</b>
Generación térmica	Calor
Combustible	Electricidad
Coste operación por m <sup>2</sup> /año aprox.	De 14 a 18 €/m <sup>2</sup> /año



Descripción del equipo	
<p>Sistema de calefacción mediante radiadores. Utiliza la electricidad como fuente de energía para generar calor. Los radiadores están diseñados con resistencias eléctricas que se calientan al recibir corriente eléctrica, transfiriendo el calor al ambiente circundante. Son fáciles de instalar y controlar, ya que se pueden programar individualmente y ajustar la temperatura de cada radiador según las necesidades de cada habitación. Además, no requieren de una caldera ni combustible, lo que los hace una opción versátil y adecuada para espacios pequeños o para uso puntual.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<p><b>Fácil instalación:</b> los radiadores eléctricos son fáciles de instalar y no requieren de una red de tuberías o una caldera, lo que facilita su colocación en diferentes espacios.</p> <p><b>Control individual:</b> cada radiador se puede programar y controlar de forma individual, lo que permite ajustar la temperatura según las necesidades de cada aula.</p> <p><b>Eficiencia energética:</b> al no requerir de una caldera, los radiadores eléctricos no tienen pérdidas de calor asociadas al transporte de agua caliente, por lo que da lugar a una mayor eficiencia energética.</p> <p><b>Sin contaminantes:</b> a diferencia de otros sistemas de calor, los radiadores eléctricos no emiten gases ni producen combustión, lo que los hace más seguros y limpios en cuanto a emisiones.</p> <p><b>Versatilidad:</b> los radiadores eléctricos pueden ser utilizados en cualquier tipo de espacio, incluyendo aulas, zonas comunes o espacios de personal, ya que solo necesitan una conexión eléctrica.</p>	<p><b>Costo energético:</b> los radiadores eléctricos pueden generar un mayor consumo energético en comparación con otros sistemas, pudiendo dar lugar a facturas de electricidad elevadas.</p> <p><b>Calentamiento lento:</b> los radiadores pueden tardar más tiempo en alcanzar la temperatura deseada en comparación con otros sistemas, debido a la forma en que generan y distribuyen el calor.</p> <p><b>Dependencia de la electricidad:</b> en caso de un corte de energía eléctrica, los radiadores eléctricos dejarán de funcionar.</p> <p><b>Poder limitado:</b> la capacidad de calentamiento de los radiadores eléctricos puede ser limitada, lo que dificultaría mantener una temperatura adecuada en espacios grandes o con altos requerimientos de calefacción.</p> <p><b>Mayor emisión de calor seco:</b> algunos radiadores eléctricos pueden generar un calor más seco en comparación con otros sistemas de calefacción, lo que puede afectar la humedad del ambiente y causar sequedad en la piel y las vías respiratorias.</p>

Tabla 4. Captación solar	
Máquina - Equipo	<b>Captación solar</b>
Generación térmica	calor
Combustible	-
Coste operación por m <sup>2</sup> /año aprox.	0 €/m <sup>2</sup> /año



Descripción del equipo	
<p>Una instalación de captadores solares aprovecha la energía del sol para generar calor. Consiste en paneles solares térmicos instalados en tejados o cubiertas, los cuales absorben la radiación solar y la convierten en calor. Este calor se transfiere a un fluido, generalmente agua o una mezcla de agua y glicol, que circula a través de tuberías hacia un sistema de distribución, como radiadores u otros elementos terminales. Esta forma de calefacción es sostenible, ya que utiliza una fuente de energía renovable y reduce la dependencia de combustibles fósiles. Sin embargo, su rendimiento puede depender de la disponibilidad de sol y puede requerir una inversión inicial más alta en comparación con otros sistemas de calefacción convencionales.</p>	
Ventajas	Inconvenientes
<p><b>Energía renovable:</b> los captadores solares utilizan energía solar, fuente de energía renovable, lo que reduce la dependencia de combustibles fósiles y contribuye a la protección del medio ambiente.</p> <p><b>Ahorro económico:</b> al utilizar la energía solar, aun como equipo de apoyo, se reduce el consumo de energía eléctrica o combustibles, lo que puede resultar en ahorro en el coste de operación.</p> <p><b>Bajas emisiones:</b> la calefacción solar no produce emisiones contaminantes ni contribuye al cambio climático, mejorando la calidad del aire y reduciendo la huella de carbono.</p> <p><b>Durabilidad y bajo mantenimiento:</b> los captadores solares son sistemas duraderos y requieren poco mantenimiento a lo largo de su vida útil, lo que los convierte en una opción práctica y rentable.</p> <p><b>Flexibilidad de uso:</b> la energía solar se puede utilizar tanto para la calefacción de agua sanitaria como para la calefacción de espacios, dando flexibilidad al diseño y permitiendo la adaptabilidad a diferentes necesidades.</p>	<p><b>Dependencia de la radiación solar:</b> la eficiencia de los captadores solares depende de la disponibilidad de la radiación solar, lo que significa que, en días nublados, la calefacción puede ser menos efectiva o requiere de un equipo principal de generación térmica.</p> <p><b>Costos iniciales:</b> la instalación de captadores solares puede tener un costo inicial más elevado en comparación con otros sistemas de calefacción convencionales, lo que puede requerir una inversión inicial significativa.</p> <p><b>Espacio necesario:</b> los captadores solares requieren de espacio en tejados o cubiertas para su instalación, lo que puede limitar su implementación en algunos centros educativos con limitaciones espaciales.</p> <p><b>Integración en estructuras existentes:</b> la instalación de captadores solares puede requerir modificaciones en la estructura actual debido al peso añadido, lo que puede generar complicaciones y costos adicionales.</p>

**Tabla 5. Bomba de calor**

Máquina - Equipo	<b>Bomba de calor</b>
Generación térmica	Calor y frío
Combustible	Electricidad
Coste operación por m <sup>2</sup> /año aprox.	De 8 a 14 €/m <sup>2</sup> /año


**Descripción del equipo**

Utiliza un ciclo de calor tanto para calentar como para enfriar un espacio. La bomba de calor extrae calor del aire, agua o suelo circundante y lo transfiere al interior de un espacio durante el invierno para proporcionar calefacción. Durante el verano, el proceso se invierte, extrayendo el calor del interior y expulsándolo al exterior para ofrecer refrigeración. Este sistema es eficiente energéticamente, dado su bajo consumo eléctrico en comparación con otros sistemas de calefacción mediante calor azul. Además, es versátil y adaptable a diferentes tipos de centros y necesidades climáticas.

**Ventajas**

**Eficiencia energética:** las bombas de calor aprovechan la energía térmica presente en el aire, lo que las hace altamente eficientes en comparación con otros sistemas de climatización tradicionales.

**Versatilidad:** las bombas de calor pueden proporcionar tanto calefacción como refrigeración, lo que las convierte en una solución versátil para mantener una temperatura agradable durante todo el año.

**Bajas emisiones:** las bombas de calor generan menos emisiones de carbono en comparación con los sistemas de combustión, lo que las hace más respetuosas con el medio ambiente y contribuye a reducir el impacto climático.

**Ahorro energético:** al aprovechar la energía térmica disponible en el entorno, las bombas de calor pueden reducir significativamente el consumo de energía y, por lo tanto, reducir el coste de operación.

**Mayor confort:** las bombas de calor distribuyen el calor o el frío de manera uniforme en el espacio, proporcionando un ambiente confortable y equilibrado.

**Inconvenientes**

**Costo inicial:** las bombas de calor pueden tener un costo inicial más alto en comparación con otros sistemas de climatización.


**Dependencia de condiciones ambientales:** el rendimiento de una bomba de calor puede verse afectado por las condiciones ambientales, como la temperatura exterior y la humedad, lo que puede influir en su eficiencia y capacidad de climatización.

**Requiere espacio adecuado:** las bombas de calor necesitan un espacio adecuado para su instalación, ya sea en exteriores, como en el caso de las bombas de calor aire-aire, o en interiores para las bombas de calor agua-aire o agua-agua, lo que puede limitar su implementación en algunos espacios.

**Mantenimiento:** las bombas de calor requieren un mantenimiento regular para asegurar su correcto funcionamiento y eficiencia.

**Necesidad de sistemas de respaldo:** en algunas situaciones climáticas extremas, las bombas de calor pueden requerir sistemas de respaldo adicional, como resistencias eléctricas o calderas, para garantizar un rendimiento óptimo en condiciones adversas.

**Tabla 6. Aerotermia**

Máquina - Equipo	<b>Aerotermia</b>	
Generación térmica	Calor y frío	
Combustible	Electricidad	
Coste operación por m <sup>2</sup> /año aprox.	De 6 a 10 €/m <sup>2</sup> /año	

**Descripción del equipo**

Utiliza la energía contenida en el aire como fuente de calor o frío para climatizar un espacio. Este sistema emplea una bomba de calor aerotérmica que extrae la energía del aire exterior y la utiliza para calentar o enfriar el interior de un edificio, con un alto rendimiento. La aerotermia es una tecnología eficiente y sostenible, ya que aprovecha una fuente de energía renovable y produce menos emisiones contaminantes. Además, puede ser combinada con sistemas de suelo radiante o radiadores para una distribución uniforme del calor. Sin embargo, su rendimiento puede verse afectado en climas extremadamente fríos y su instalación inicial puede ser más costosa que otros sistemas convencionales.

**Ventajas**

**Eficiencia energética:** la aerotermia utiliza el calor presente en el aire exterior, lo que la hace altamente eficiente y reduce el consumo de energía en comparación con otros sistemas de climatización.

**Energía renovable:** la aerotermia aprovecha una fuente de energía renovable y limpia, ya que extrae calor del aire, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono y al cuidado del medio ambiente.

**Versatilidad:** la aerotermia puede proporcionar tanto calefacción como refrigeración, lo que la convierte en una solución versátil para mantener un ambiente confortable durante todo el año.

**Ahorro económico:** u largo plazo, la aerotermia puede generar ahorros significativos en las facturas de energía debido a su alta eficiencia energética y al uso de una fuente de energía renovable.

**Mayor confort:** una aerotermia distribuye el calor o el frío de manera uniforme en el espacio, proporcionando un ambiente confortable y equilibrado.

**Inconvenientes**

**Costo inicial:** la instalación de un sistema de aerotermia puede tener un costo inicial más alto en comparación con otros sistemas de climatización tradicionales, lo que puede requerir una inversión inicial significativa.


**Dependencia de las condiciones climáticas:** el rendimiento de la aerotermia puede verse afectado por las condiciones climáticas, especialmente en climas de frío extremo.

**Espacio necesario:** la instalación de una aerotermia requiere de espacio adecuado tanto en el interior como en el exterior del edificio, lo que puede limitar su implementación en algunos centros.

**Ruido:** algunos sistemas de aerotermia pueden generar ruido durante su funcionamiento, lo que puede ser percibido como una molestia en entornos sensibles al ruido.

**Necesidad de sistemas de respaldo:** en situaciones extremas de temperatura, la aerotermia puede requerir sistemas de respaldo adicionales, como resistencias eléctricas o calderas, para garantizar un funcionamiento adecuado y eficiente.

**Tabla 7. Unidad de Tratamiento de Aire**

Máquina - Equipo	<b>UTA</b>	
Generación térmica	Calor, frío y control humedad	
Combustible	Electricidad	
Coste operación por m <sup>2</sup> /año aprox.	De 12 a 18 €/m <sup>2</sup> /año	
<b>Descripción del equipo</b>		

Se trata de un sistema que se encarga de acondicionar y distribuir el aire en un edificio. Esta unidad recoge el aire del ambiente, lo filtra, lo enfría o calienta según sea necesario y lo distribuye a través de conductos a diferentes áreas. Además, puede incorporar funciones de humidificación, deshumidificación y purificación del aire. Este tipo de instalación permite mantener un ambiente confortable y controlado en términos de temperatura, humedad y calidad del aire, proporcionando un mayor confort y salubridad en el interior de los espacios.

Ventajas	Inconvenientes
<p><b>Control preciso:</b> las unidades de tratamiento de aire permiten un control preciso de la temperatura, la humedad y la calidad del aire, lo que garantiza un ambiente confortable y saludable en el espacio.</p> <p><b>Distribución uniforme:</b> estas unidades están diseñadas para distribuir el aire de manera uniforme en todo el espacio, evitando puntos calientes o fríos y proporcionando un confort térmico equilibrado.</p> <p><b>Filtrado del aire:</b> las unidades de tratamiento de aire están equipadas con filtros que eliminan partículas, polvo, alérgenos y otros contaminantes del aire, mejorando la calidad del aire interior y creando un entorno más saludable.</p> <p><b>Eficiencia energética:</b> estas unidades están diseñadas para ser eficientes en cuanto al consumo de energía, lo que puede resultar un coste de operación moderado.</p> <p><b>Adaptabilidad:</b> las unidades de tratamiento de aire pueden adaptarse a diferentes necesidades y tamaños de espacios, lo que las hace adecuadas tanto para centros pequeños como grandes.</p>	<p><b>Costo inicial:</b> la instalación de una unidad de tratamiento de aire tiene un coste inicial elevado.</p> <p><b>Espacio requerido:</b> estas unidades necesitan espacio adecuado para su instalación, lo que puede ser un desafío en espacios reducidos o con restricciones de diseño.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> las unidades de tratamiento de aire requieren un mantenimiento regular, incluyendo la limpieza de los filtros y la revisión de los componentes, para asegurar un rendimiento óptimo y prolongar su vida útil.</p> <p><b>Ruido:</b> algunas unidades de tratamiento de aire pueden generar ruido durante su funcionamiento, lo que puede ser percibido como una molestia en entornos sensibles al ruido.</p>

## 5.2. Sistemas de generación de electricidad

La utilización de paneles fotovoltaicos (Solanki, 2015; Wolfe, 2013) como apoyo en sistemas térmicos permite capturar energía solar y convertirla en energía eléctrica; esta puede utilizarse indistintamente por cualquier equipo térmico cuyo combustible sea electricidad. Adicionalmente, en caso de no producirse un consumo inmediato por parte del sistema de climatización dicha energía puede ser tanto almacenada, consumida por otros sistemas o usos del centro, o volcada sobre la red eléctrica.

Las distintas posibilidades de consumo permiten un ahorro energético en todos los casos en los que se utilice dicha tecnología. Debido a este factor, el uso de un sistema de captación mediante paneles fotovoltaicos siempre es recomendable si se cumplen los siguientes requisitos:

1. El centro dispone de espacio suficiente y con las características apropiadas tanto en orientación como inclinación. Teniendo una eficiencia sustancialmente mayor si existe la posibilidad de colocar los equipos con orientación sur, y con inclinaciones adecuadas a las indicaciones finales de uso, para el caso de Illes Balears, inclinaciones entre 30º y 40º.
2. Analizar la amortización del sistema en el caso específico. Consiguiendo un ahorro final superior a la inversión inicial.

Entendiendo la amortización de un sistema fotovoltaico como el período de tiempo necesario para recuperar la inversión inicial realizada en la instalación del sistema a través de los ahorros en costes de energía. Y considerando, como se ha comentado previamente, que la forma de instalación influye en el periodo de amortización del sistema, se detallan las dos formas de consumo y enganche del sistema más comunes:

- Instalación con conexión a red eléctrica:

En este tipo de instalación, el sistema fotovoltaico está conectado a la red eléctrica, permitiendo que, si la generación es menor al consumo, el sistema utilice inmediatamente la energía generada, y si el sistema produce más electricidad de la que se consume, el excedente se vuelca a la red eléctrica y se percibe una compensación por dicha energía (a través del "balance neto" y lo dispuesto en el contrato de suministro eléctrico pertinente).

La amortización, en este caso, depende de factores como el tamaño del sistema, el coste de instalación, el precio de la electricidad y las políticas de compensación. Generalmente, cuanto mayor sea el consumo eléctrico y más alto sea el precio de la electricidad, más rápido se amortizará la inversión. El ahorro en la factura de electricidad puede permitir recuperar la inversión en un período de tiempo que varía entre 5 y 10 años, en promedio.

- Instalación aislada:

En esta forma de instalación, el sistema fotovoltaico genera y almacena electricidad para el consumo del sistema de climatización en exclusiva. Se utilizan baterías para almacenar la energía generada durante periodos de bajo consumo y así poder abastecer el consumo en momentos de alta necesidad eléctrica.

La amortización en este caso también depende de factores como el tamaño del sistema, el consumo eléctrico diario, el costo de las baterías y los componentes adicionales de la instalación. Debido a la necesidad de invertir en baterías, la instalación aislada tiende a tener un coste inicial más alto. La amortización conlleva un mayor tiempo, generalmente entre 8 y 15 años y, teniendo en cuenta que los centros educativos desponen de red eléctrica sobre la que realizar un sistema con conexión a la misma, no son recomendables en este caso.



Es importante destacar que estos períodos de amortización son estimaciones generales y pueden variar según las características específicas de cada instalación, los precios de la energía, los incentivos fiscales y otros factores externos. También es importante considerar la vida útil del sistema fotovoltaico, que generalmente supera los 25 años, lo que permite disfrutar de los beneficios económicos y medioambientales durante un período prolongado después de la amortización.

## 6. Conclusiones y líneas guía

Los esfuerzos hacia un parque de centros educacionales más sostenibles en Baleares albergan una gran oportunidad no solo para reducir el consumo y trabajar en pro de la protección del medio ambiente, sino también para garantizar el confort interior, el bienestar, de los usuarios que es el fin último de la gran mayoría de tipologías edificatorias. Los edificios deben velar también por los tres pilares del desarrollo sostenible: desarrollo social, desarrollo económico y protección del medio ambiente.

En este sentido, y siempre considerando tanto el clima predominante en Baleares, como las características geométricas y sistemas constructivos de cada edificio docente, son varias las estrategias propuestas a implantar, considerando las particularidades de cada centro:

- Estrategias pasivas: aquellas que no suponen un gasto energético en el momento de su uso. Las principales son aquellas que mejoren las condiciones de la envolvente térmica como la disposición de aislamiento térmico en fachadas y cubierta y la sustitución de ventanas por aquellas con doble acristalamiento y baja emisividad. También aquellas flexibles, como la instalación de elementos que permitan la captación solar en momentos fríos del año y la protección solar en épocas cálidas.
- Estrategias activas: aquellas que suponen un gasto energético durante su utilización. Son preferibles aquellas soluciones que impliquen el uso de energías renovables y un periodo inferior de amortización, que deberá ser estudiado de manera individualizada.

## Bibliografía

- AFEC. (n.d.). Retrieved May 29, 2023, from <https://www.afec.es/es/noticia.php?noticia=225>
- Asociación Española de Normalización. (2014). *UNE 171330-2:2014. Calidad ambiental en interiores. Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior.*
- Asociación Española de Normalización. (2020). *UNE-EN 16798-1:2020. Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 1: Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interi.*
- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B., & Williams, M. J. (2012a). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, *48*(1), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.018>
- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D. J., Kochhar, N., Awbi, H. B., & Williams, M. J. (2012b). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, *48*(1), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.018>
- Bluyssen, P. M. (2016a). The role of flooring materials in health, comfort and performance of children in classrooms. *Cogent Psychology*, *3*(1). <https://doi.org/10.1080/23311908.2016.1268774>
- Bluyssen, P. M. (2016b). The role of flooring materials in health, comfort and performance of children in classrooms. *Cogent Psychology*, *3*(1). <https://doi.org/10.1080/23311908.2016.1268774>
- Bluyssen, P. M., Zhang, D., Kurvers, S., Overtoom, M., & Ortiz-Sanchez, M. (2018a). Self-reported health and comfort of school children in 54 classrooms of 21 Dutch school buildings. *Building and Environment*, *138*, 106–123. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.032>
- Bluyssen, P. M., Zhang, D., Kurvers, S., Overtoom, M., & Ortiz-Sanchez, M. (2018b). Self-reported health and comfort of school children in 54 classrooms of 21 Dutch school buildings. *Building and Environment*, *138*, 106–123. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.032>
- Brink, H. W., Loomans, M. G. L. C., Mobach, M. P., & Kort, H. S. M. (2020). Classrooms' indoor environmental conditions affecting the academic achievement of students and teachers in higher education: A systematic literature review. *Indoor Air*, *September*, 1–21. <https://doi.org/10.1111/ina.12745>
- Buratti, C., Belloni, E., Merli, F., & Ricciardi, P. (2018). A new index combining thermal, acoustic, and visual comfort of moderate environments in temperate climates. *Building and Environment*, *139*(November 2017), 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.038>
- Buratti, C., & Ricciardi, P. (2009). Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. *Building and Environment*, *44*(4), 674–687. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.001>
- Cândido, C., de Dear, R. J., Lamberts, R., & Bittencourt, L. (2010). Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. *Building and Environment*, *45*(1), 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.005>

- Carrilho da Graça, G., Daish, N. C., & Linden, P. F. (2015a). A two-zone model for natural cross-ventilation. *Building and Environment*, 89, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.014>
- Carrilho da Graça, G., Daish, N. C., & Linden, P. F. (2015b). A two-zone model for natural cross-ventilation. *Building and Environment*, 89, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.014>
- Dai, H., & Zhao, B. (2020). Association of infected probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces: A Wells-Riley equation based investigation. *MedRxiv*, 1321–1327. <https://doi.org/10.1101/2020.04.21.20072397>
- Daisey, J. M., Angell, W. J., & Apte, M. G. (2003). Indoor Air Quality, Ventilation and Health Symptoms in Schools: an Analysis of. *Indoor Air*, 13(1), 53–64.
- De Giuli, V., Da Pos, O., & De Carli, M. (2012). Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. *Building and Environment*, 56, 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.024>
- Deme Belafi, Z., Naspi, F., Arnesano, M., Reith, A., & Revel, G. M. (2018a). Investigation on window opening and closing behavior in schools through measurements and surveys: A case study in Budapest. *Building and Environment*, 143(July), 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.022>
- Deme Belafi, Z., Naspi, F., Arnesano, M., Reith, A., & Revel, G. M. (2018b). Investigation on window opening and closing behavior in schools through measurements and surveys: A case study in Budapest. *Building and Environment*, 143(July), 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.022>
- Elshafei, G., Negm, A., Bady, M., Suzuki, M., & Ibrahim, M. G. (2017). Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building. *Energy and Buildings*, 141, 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.055>
- Estudio y propuesta de intervención sobre la envolvente en establecimientos hoteleros para una mejora significativa de la eficiencia energética • CONSTRUIBLE.* (n.d.). Retrieved May 29, 2023, from <https://www.construible.es/comunicaciones/estudio-propuesta-intervencion-sobre-envolvente-establecimientos-hoteleros-para-mejora-significativa-eficiencia-energetica>
- European Concerted Action (ECA). (1992). *Guidelines for ventilation requirements in buildings: ECA indoor air quality and its impact on man, report EUR 14449 EN. Report no. 11.*
- Gobierno de España. (2011). Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. *Boletín Oficial Del Estado, BOE-A-2011(29 de enero de 2011)*, 44.1-44.33.
- Golshan, M., Thoen, H., & Zeiler, W. (2018a). Dutch sustainable schools towards energy positive. *Journal of Building Engineering*, 19(October 2017), 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.05.002>
- Golshan, M., Thoen, H., & Zeiler, W. (2018b). Dutch sustainable schools towards energy positive. *Journal of Building Engineering*, 19(October 2017), 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.05.002>

- Guías Técnicas para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios* | Idae. (n.d.). Retrieved May 29, 2023, from <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/aislamiento-en-edificacion/guias-tecnicas-para-la>
- Harris, D. D. (2015). The Influence of Flooring on Environmental Stressors. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 8(3), 9–29. <https://doi.org/10.1177/1937586715573730>
- Hormigos-Jimenez, S., Padilla-Marcos, M. Á., Meiss, A., Gonzalez-Lezcano, R. A., & Feijó-Muñoz, J. (2017a). Ventilation rate determination method for residential buildings according to TVOC emissions from building materials. *Building and Environment*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.032>
- Hormigos-Jimenez, S., Padilla-Marcos, M. Á., Meiss, A., Gonzalez-Lezcano, R. A., & Feijó-Muñoz, J. (2017b). Ventilation rate determination method for residential buildings according to TVOC emissions from building materials. *Building and Environment*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.032>
- Hormigos-Jimenez, S., Padilla-Marcos, M. Á., Meiss, A., Gonzalez-Lezcano, R. A., & Feijó-Muñoz, J. (2018). Computational fluid dynamics evaluation of the furniture arrangement for ventilation efficiency. *Building Services Engineering Research and Technology*, 39(5), 557–571. <https://doi.org/10.1177/0143624418759783>
- Hormigos-Jimenez, S., Padilla-Marcos, M. A., Meiss, A., Gonzalez-Lezcano, R. A., & Feijó-Muñoz, J. (2018). Experimental validation of the age-of-the-air CFD analysis: A case study. *Science and Technology for the Built Environment*, 24(9), 994–1003. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1444885>
- Hormigos-Jimenez, S., Padilla-Marcos, M. Á., Meiss, A., Gonzalez-Lezcano, R. A., & Feijó-Muñoz, J. (2019). Assessment of the ventilation efficiency in the breathing zone during sleep through computational fluid dynamics techniques. *Journal of Building Physics*, 42(4), 458–483. <https://doi.org/10.1177/1744259118771314>
- INSHT. (1995). *NTP 466: Calidad del aire: determinación ambiental de formaldehído y medición de su contenido en tableros*.
- INSHT. (2005). *NTP 431: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores*. 1–11.
- INSHT. (2017). *NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos Introducción*. 1–8.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). Guía técnica de eficiencia energética en iluminación: Centros docentes. *IDAIE*, 87.
- Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S., & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231–252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>
- Koinakis, C. J. (2005). Combined thermal and natural ventilation modeling for long-term energy assessment: Validation with experimental measurements. *Energy and Buildings*, 37(4), 311–323. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.022>
- Mendell, M. J., Eliseeva, E. A., Davies, M. M., Spears, M., Lobscheid, A., Fisk, W. J., & Apte, M. G. (2013). Association of classroom ventilation with reduced illness absence: A prospective

- study in California elementary schools. *Indoor Air*, 23(6), 515–528. <https://doi.org/10.1111/ina.12042>
- Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005a). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15(1), 27–52. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>
- Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005b). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15(1), 27–52. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>
- Merabtine, A., Maalouf, C., Al Waheed Hawila, A., Martaj, N., & Polidori, G. (2018a). Building energy audit, thermal comfort, and IAQ assessment of a school building: A case study. *Building and Environment*, 145, 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.015>
- Merabtine, A., Maalouf, C., Al Waheed Hawila, A., Martaj, N., & Polidori, G. (2018b). Building energy audit, thermal comfort, and IAQ assessment of a school building: A case study. *Building and Environment*, 145, 62–76. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.015>
- Minguillón, M. C., Querol, X., Felisi, J. M., & Garrido, T. (2020). *Guía para ventilación en aulas*. 43.
- Ministerio de Industria Energía y Turismo. (2013b). RITE. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios. Versión Consolidada. *Boletín Oficial Del Estado*, 74, 137.
- Mishra, A. K., & Ramgopal, M. (2013). Field studies on human thermal comfort — An overview. *Building and Environment*, 64, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.02.015>
- Mishra, A. K., & Ramgopal, M. (2015). A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. *Building and Environment*, 84, 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.008>
- Mors, S. ter, Hensen, J. L. M., Loomans, M. G. L. C., & Boerstra, A. C. (2011). Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. *Building and Environment*, 46(12), 2454–2461. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.025>
- Nicol F, M, H., & S, R. (2015). *Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis*. Routledge.
- Norback, D., & Nordstrom, K. (2008). An experimental study on effects of increased ventilation flow on students' perception of indoor environment in computer classrooms. *Indoor Air*, 18(4), 293–300. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2008.00530.x>
- Orosa, J. A., Nematshoua, M. K., & Reiter, S. (2020). Air Changes for Healthy Indoor Ambiences under Pandemic Conditions and Its Energetic Implications: A Galician Case Study. *Applied Sciences*, 10.
- Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazzo, S., Colao, A., & Miani, A. (2020). Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). *Health Promotion Perspectives*, 10(3), 169–174. <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>
- Sadick, A. M., & Issa, M. H. (2018a). Assessing physical conditions of indoor space enclosing elements in schools in relation to their indoor environmental quality. *Journal of Building Engineering*, 20(August), 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.08.018>

- Sadick, A. M., & Issa, M. H. (2018b). Assessing physical conditions of indoor space enclosing elements in schools in relation to their indoor environmental quality. *Journal of Building Engineering*, 20(August), 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.08.018>
- Sarbu, I., & Pacurar, C. (2015a). Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms. *Building and Environment*, 93(P2), 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.022>
- Sarbu, I., & Pacurar, C. (2015b). Experimental and numerical research to assess indoor environment quality and schoolwork performance in university classrooms. *Building and Environment*, 93(P2), 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.022>
- Shaw, E. W. (1972). Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering, by P. O. Fanger. 244 pp. DANISH TECHNICAL PRESS. Copenhagen, Denmark, 1970. Danish Kr. 76, 50. *Royal Society of Health Journal*, 92(3), 164–164. <https://doi.org/10.1177/146642407209200337>
- Shendell, D., Prill, R., Fisk, W., Apte, M., Blake, D., & Faulkner, D. (2004). Associations between classroom CO<sub>2</sub> concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air*, 14(5), 333–341.
- Shield, B. M., & Dockrell, J. E. (2003). The Effects of Noise on Children at School: A Review. *Building Acoustics*, 10(2), 97–116. <https://doi.org/10.1260/135101003768965960>
- Solanki, C. (2015). *Solar photovoltaics: fundamentals, technologies and applications*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=y1W2CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Solar+Photovoltaics:+Fundamentals+Technologies+and+Applications&ots=De-LLTORnd&sig=5oKxcSZzdxmlelUYuhMhI3hJU3Q>
- Teli, D., Jentsch, M. F., & James, P. A. B. (2012). Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. *Energy and Buildings*, 53, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.022>
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.11.007>
- Wolfe, P. (2013). *Solar photovoltaic projects in the mainstream power market*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8a8EAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=Solar+Photovoltaic+Projects+in+the+Mainstream+Power+Market&ots=9U743mt9W-&sig=Q4aaZC6LTd7t9Uk5ySp5oZTnXJU>
- Wong, L. T., Mui, K. W., & Tsang, T. W. (2018). An open acceptance model for indoor environmental quality (IEQ). *Building and Environment*, 142(June), 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.031>
- World Health Organization. (2005). Quantifying burden of disease from environmental noise: Second Technical Meeting Report. *Bern, Switzerland, December*, 15–16.
- Wu, W., & Ng, E. (2003a). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125. <https://doi.org/10.1191/1477153503li072oa>
- Wu, W., & Ng, E. (2003b). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125. <https://doi.org/10.1191/1477153503li072oa>
- Yildirim, K., Cagatay, K., & Ayalp, N. (2015). Effect of wall colour on the perception of classrooms. *Indoor and Built Environment*, 24(5), 607–616. <https://doi.org/10.1177/1420326X14526214>

- Zhang, D., Ortiz, M. A., & Bluysen, P. M. (2019a). Clustering of Dutch school children based on their preferences and needs of the IEQ in classrooms. *Building and Environment*, *147*, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.014>
- Zhang, D., Ortiz, M. A., & Bluysen, P. M. (2019b). Clustering of Dutch school children based on their preferences and needs of the IEQ in classrooms. *Building and Environment*, *147*, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.014>
- Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., & Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *59*, 895–906. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>