

**CONAMA 2022**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# Soluciones basadas en la Naturaleza para la adaptación de edificios al Cambio Climático

Proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN





**Autor Principal:** Raquel Marijuan (Fundación CARTIF)

**Otros autores:** José Feroso (Fundación CARTIF); Esther San José (Fundación CARTIF); María González (Fundación CARTIF); Eva Ferrero (Fundación CARTIF); Raúl Sánchez (Fundación CARTIF); Silvia Gómez (Fundación CARTIF); Jorge Calvo (CARTIF); Arturo Martínez (IETcc-CSIC); Teresa Batista (CIMAC); Ramona Ávila (Diputación de Badajoz); Miguel Ángel Antón (Diputación de Badajoz); Jesús Muñoz (RJB – CSIC); Miguel Vega (RJB – CSIC)

## ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Proyecto MyBUILDINGisGREEN. Caso de Estudio Solana de los Barros
5. Indicadores
6. Resultados
7. Conclusiones
8. Bibliografía

# 1. SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO.

## 2. RESUMEN

El aumento de las temperaturas y de la frecuencia y duración de las olas de calor, junto con la disminución de las precipitaciones, son los principales desafíos ambientales a los que se enfrenta el sur de Europa. En este contexto, gran parte de los centros educativos de España y Portugal son muy vulnerables frente al cambio climático debido a que los materiales, sistemas constructivos y tipología con los que se construyeron no proporcionan las condiciones necesarias de eficiencia energética y confort.

Durante los meses más calurosos del curso, muchas aulas superan el límite de temperaturas admisible (27 °C) para puestos de trabajo establecido por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). En cuanto a la calidad del aire, los niveles de CO<sub>2</sub> presentan concentraciones muy por encima de lo aconsejado como saludable, 1000 ppm o 700 ppm si hay riesgo de transmisión de enfermedades transmisibles por el aire (Artículo IT 1.1.4.2.2, RITE). La infancia forma parte de la población más vulnerable debido a la exposición prolongada a estas condiciones, pudiendo afectar negativamente a la salud, dificultar la concentración, provocar síntomas de fatiga y afectar al aprendizaje del alumnado. Por lo tanto, adoptar medidas de adaptación y resiliencia climática a diferentes escalas toma cada vez mayor relevancia.

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) son acciones que se apoyan en los ecosistemas para responder a diferentes problemas relacionados con el cambio climático, la gestión del agua, el consumo de los recursos y la calidad del aire entre otros. Su aplicación en los centros educativos es una herramienta para adaptar los edificios al cambio climático, mejorando las condiciones ambientales y de confort a la vez que apoyan procesos de sensibilización y educación ambiental.

Los prototipos de cubiertas verdes, fachadas verdes y estructuras de sombra que se presentan en esta comunicación ofrecen SbN sencillas y replicables para reducir el impacto de la radiación solar sobre la envolvente del edificio y aumentar la circulación de aire interior para mejorar la salud y bienestar del alumnado, así como la gestión del agua de lluvia, la sostenibilidad de los espacios verdes y reducir la huella de carbono.

En esta comunicación, se muestra un extracto de los resultados obtenidos por el momento de la instalación de prototipos de Soluciones basadas en la Naturaleza en el colegio Solana de los Barros (Badajoz) dentro del proyecto LIFE MyBUILDINGisGREEN.

### 3. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se está manifestando rápidamente en forma de sequías, incendios, inundaciones, escasez de recursos y pérdida de biodiversidad, entre otros impactos [1]. En España, destaca el incremento de temperaturas, el alargamiento de los veranos y aumento de los días de ola de calor, así como la disminución de las precipitaciones, marcando récords en los últimos años [2]. Es probable que estos impactos se agraven en las próximas décadas tanto en frecuencia como en intensidad, teniendo efectos adversos en la salud y el bienestar, ecosistemas e infraestructuras [3].

La adopción de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático es clave para reducir los riesgos y vulnerabilidad. Estas medidas pueden abarcar diferentes escalas, desde acciones a nivel global, pasando por escalas intermedias que incluyan acciones a nivel regional y urbano y micro escala, integrando acciones desde nivel barrio hasta un único edificio [4].

En este contexto, los edificios educativos españoles son muy vulnerables a los impactos del Cambio Climático, presentando actualmente bajos niveles de confort y calidad ambiental, superando de forma generalizada los límites establecidos. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios establece que las condiciones de confort higrotérmico en un rango de temperatura deben oscilar entre los 21°C y los 25°C y la humedad relativa entre 40% y 60%; a su vez, la concentración de CO<sub>2</sub> para tener una calidad de aire interior adecuada en los centros educativos se establecen en los 500 ppm [5] y se considera que la ventilación es inadecuada cuando se superan los 800 ppm [6]. Si se tienen en cuenta los parámetros anteriores de temperatura, humedad y concentración de los niveles de CO<sub>2</sub>, según un estudio de monitorización de colegios, solo se dan las condiciones adecuadas de confort interior un 16,16% del tiempo de uso de los centros escolares [7]. Una exposición prolongada a estas condiciones puede afectar negativamente a la salud a corto y largo plazo, dificultar la concentración, provocar síntomas de fatiga y afectar al aprendizaje del alumnado, agravándose en edades tempranas [8]. Un ejemplo significativo es el protocolo aplicado en varios centros escolares para hacer frente a las olas de calor, teniendo que reducir el horario escolar [9, 10, 11].

Por lo tanto, adoptar medidas de adaptación y resiliencia climática en los centros escolares toma cada vez mayor relevancia, siendo las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) una herramienta efectiva para mejorar las condiciones ambientales y de confort a la vez que apoyan procesos de sensibilización y educación ambiental [12].

En esta comunicación se presenta un extracto de las actuaciones del proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN [13] para implementar SbN en el C.E.I.P Gabriela Mistral en Solana de los Barros, Badajoz, así como los indicadores y primeros resultados que se han obtenido a partir de la evaluación del impacto.

### 4. PROYECTO MYBUILDINGISGREEN. CASO DE ESTUDIO SOLANA DE LOS BARROS.

El proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN busca aumentar la resiliencia climática en edificios de educación mediante la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) como prototipos de adaptación climática y mejora del bienestar en los centros que sean sencillos y replicables. Se han seleccionado 3 edificios piloto (colegios) para la implementación y demostración de los prototipos (Badajoz, Oporto y Évora).

El proyecto tiene como objetivo analizar y verificar el impacto de las SbN como medidas de adaptación al cambio climático, estableciendo una metodología en base a indicadores que reflejen los retos ambientales y sociales a los que se enfrentan los colegios. Mediante el desarrollo, la creación y la difusión de herramientas de gobernanza y acuerdos territoriales se pretende apoyar la gobernabilidad de las autoridades regionales, directores y gerentes de centros y del sector de la edificación para que integren las SbN como medidas de adaptación sostenibles. También se busca transferir el conocimiento adquirido en torno a lecciones aprendidas en la implantación de SbN para contribuir al desarrollo y la aplicación de políticas de adaptación al cambio climático, contribuyendo a integrar la adaptación al cambio climático mediante SbN en la planificación urbana, la construcción y rehabilitación de edificios. Además, se prevé la creación de manuales formativos de manera conjunta con personas clave de la comunidad educativa del territorio español. Estos manuales incluirán actividades formativas, que serán testadas en la última fase del proyecto y estarán dirigidas a estudiantes de infantil y primaria para informar y sensibilizar sobre la importancia del uso de SbN en la adaptación de los edificios frente al cambio climático. De esta forma, LIFE myBUILDINGisGREEN incidirá en dos pilares fundamentales para que las SbN implementadas por el proyecto tengan recorrido, la gobernanza y la educación.

En esta comunicación, se describe brevemente el caso del C.E.I.P. Gabriela Mistral, en Solana de los Barros (Badajoz). Situado en una zona con veranos muy calientes y secos<sup>1</sup> [14], en época estival el interior de las aulas presenta unas temperaturas muy altas, superando los 27°C. A su vez, los niveles de CO<sub>2</sub> interiores son muy superiores de lo recomendable. La fachada Este está altamente acristalada y con escasos sistemas de sombreado, recibiendo radiación solar directa durante la mayor parte del horario escolar, por lo que parte de las actuaciones se han centrado en crear sistemas de sombreado vegetales para esta fachada. Dentro del proyecto, se han implementado varios prototipos de SbN - cubiertas verdes, fachadas verdes, pavimentos permeables, zonas verdes y sistemas de sombreado exterior - con el objetivo de reducir el impacto de la radiación solar sobre la envolvente del edificio y aumentar la circulación de aire interior para mejorar el confort ambiental interior, la salud y bienestar del alumnado. A mayores, se busca aumentar la cantidad de superficies verdes en el espacio del colegio de forma sostenible, reducir la huella de carbono del edificio, mejorar la gestión hídrica, recuperar y

---

<sup>1</sup> Veranos de 3 meses de duración (13 de junio al 12 de septiembre); la temperatura máxima promedio diaria es de más de 30 °C; las precipitaciones son escasas, con una media de 386,8 mm anuales.

## SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

---

fomentar la biodiversidad local en el entorno urbano y concienciar sobre el valor la naturaleza y los servicios ecosistémicos que se producen.

A continuación, se describen las SbN que se han implementado en el centro educativo de Solana de los Barros, para posteriormente medir el impacto que han tenido.

### Cubiertas verdes

Se han instalado 3 tipos de cubiertas verdes: CUVE-SUS, CUVE-1 y CUVE-2, cubriendo un total de 420 m<sup>2</sup>, combinadas en 3 niveles diferentes, accesibles desde el interior o el exterior del edificio. El sistema **CUVE-SUS** es una cubierta extensiva con especies autóctonas y sustrato mejorado, con áridos reciclados para el drenaje de la misma. Existen dos tipos de CUVE-SUS, la primera con alta densidad de vegetación y ejemplares de gran altura (CUVE-SUS<sub>ADGA</sub>) y una segunda con baja densidad y plantas de poca altura (CUVE-SUS<sub>BDDPA</sub>). Los sistemas **CUVE-1** y **CUVE-2** son cubiertas extensivas de poco espesor con diferentes tipos de vegetación, con un sistema de bandejas elevadas sobre la cubierta existente, formando una cubierta ventilada (Figura 1).



Figura 1. Instalación de los prototipos de cubierta verde en el CEIP Gabriela Mistral

### Sistema de Fachada Verde (FAVE)

Se han instalado 2 tipos de sistema FAVE: FAVE-1 y FAVE-2, cubriendo un total de 400,5 m<sup>2</sup>, combinadas en los diferentes niveles de la fachada Este con el objetivo de reducir el impacto de la radiación solar directa. Consiste en una subestructura ligera y modular que sirve de soporte para el crecimiento de vegetación, generando superficies horizontales y verticales sobre los huecos y delante de los mismos, a mayor o menor distancia, para sombrear la fachada. Este sistema tiene dos variantes, el sistema **FAVE-1**, con plantas del tipo trepadoras, enredaderas, para tapizar y generar superficies horizontales y verticales opacas a los rayos de sol; mientras que el sistema **FAVE-2**, dispone de toldos vegetados<sup>2</sup> (Figura 2).

---

<sup>2</sup> Superficies continuas dispuestas en bastidores sobre las que crecen especies vegetales adecuadas de forma superficial.





Figura 2. Instalación de los prototipos de FAVE en el CEIP Gabriela Mistral

### Sistema de Pérgola Vegetal (PEVE)

Se ha instalado el sistema PEVE en las zonas exteriores del colegio, cubriendo un total de 173,3 m<sup>2</sup>. Son marquesinas basadas en el sistema FAVE-1, con una estructura metálica que permite el crecimiento de vegetación trepadora de hoja caduca para generar zonas de sombra en verano y permitir el soleamiento en invierno (Figura 3, izquierda).

### Sistema de Suelo Vegetal (SUVE)

Se han instalado dos tipos de SUVE: SUVE-1 y SUVE-2, localizados en la pista de juego, cubriendo un total de 456,7 m<sup>2</sup>, para mejorar la gestión del agua de escorrentía. Consisten en pavimentos permeables que facilitan la recogida de agua de lluvia y filtración al subsuelo, evitando el desagüe a la red municipal de saneamiento. El sistema **SUVE-1** es un pavimento poroso drenante y el sistema **SUVE-2** consiste en baldosas drenantes, que permiten el crecimiento de vegetación en las juntas y se dispone perimetralmente (Figura 3, derecha).



Figura 3. Instalación de los prototipos PEVE y SUVE en las zonas exteriores

### 5. INDICADORES

Para medir el impacto de las SbN, se ha definido un esquema de evaluación basado en la metodología del proyecto europeo EKLIPSE [15], pero adaptada a la demostración propuesta en LIFE myBUILDINGisGREEN, definiendo los indicadores que permitirán ver el impacto de las actuaciones y las métricas que se han considerado adecuadas para su evaluación.

La instalación y puesta en marcha de las SbN marca el inicio y el fin de la monitorización ex - ante y ex - post dentro del periodo estudiado. En concreto, el periodo de la línea base (ex - ante) se inicia en mayo de 2019 y finaliza en octubre de 2021 y el periodo posterior a la instalación de SbN (ex – post) se inicia en noviembre de 2021 y se cerrará al final del proyecto en diciembre de 2023, cumpliendo así los dos años mínimos de monitorización prevista.

La selección de indicadores se clasifica según los retos ambientales y sociales que se quieren afrontar con las actuaciones: (1) Adaptación y mitigación al cambio climático; (2) Gestión del agua; (3) Gestión de zonas verdes; (4) Calidad del aire; (5) Regeneración urbana; (6) Gobernanza y participación; (7) Cohesión social; (8) Salud pública y bienestar; (9) Oportunidades económicas y empleo.

En el presente artículo, se hace referencia a los indicadores de los que se tienen los primeros resultados, sin entrar en detalle en aquellos que todavía se encuentran en fase de obtención de datos, los cuales se obtendrán al final del proyecto.

#### 5.1 Adaptación y mitigación al cambio climático

El proyecto aboga por implementar SbN que permitan a los centros escolares adaptarse al cambio climático, fundamentalmente buscando el confort de los usuarios. En este sentido, el confort térmico es el más importante y el que se ve más afectado por los efectos del cambio climático en el sur de Europa. Las altas temperaturas en la última parte de la primavera y comienzo del verano hacen que actualmente las temperaturas tanto interiores como exteriores sean excesivas.

Para evaluar el impacto que tienen las intervenciones del proyecto en la adaptación y mitigación al cambio climático, principalmente en términos de temperatura interior, se han seleccionado cinco indicadores principales: I1.1 Temperatura interior del edificio; I1.2 Temperatura de envolvente del edificio; I1.3 Condiciones ambientales exteriores del edificio; I1.4 Modelización de los ahorros energéticos producidos; I1.5 Estimación del ahorro en calefacción. En el presente artículo, se hace referencia a los dos primeros, ya que I1.3, I1.4 y I1.5 se encuentran actualmente en fase de obtención de datos.

##### I1.1 Temperatura interior del edificio

La temperatura interior es un indicador relativo a la modificación de las condiciones interiores del edificio, y se mide a través de sensores de **temperatura y humedad** en el interior del edificio. Para evaluar el confort térmico, se han tomado como valores de referencia no superar los 25°C de máxima en verano (RITE) y mantener unos niveles de humedad entre el 30-70%.

Para determinar la temperatura de los colegios se seleccionan varias aulas y se instala un sensor por aula, cubriendo las orientaciones principales del edificio (insolación principal y sombra) y las diferentes actuaciones (cubiertas verde, fachada verde, sin actuación). El impacto en la T y HR interior de las aulas se relacionará con aquellas SbN que pueden tener un efecto positivo sobre las mismas, como las cubiertas y fachadas verdes. Para conocer el impacto que tienen se emplearán como referencia otras aulas que no se han visto afectadas por las intervenciones. De la información recogida, los valores diezminutales de T y HR, solamente se tienen en cuenta los valores en el periodo lectivo (9-14 h, de lunes a viernes), excluyendo los meses no lectivos de julio y agosto. Se calcularán los valores medios de la temperatura diaria, semanal, mensual y anual de cada aula. Después se comparan los valores medios antes y después de las intervenciones tanto en las zonas prototipos como en las zonas de referencia. Los cálculos deben de realizarse empleando periodos comparables de tiempo antes y después de las intervenciones.

### 1.1.2a Temperatura de envolvente del edificio (sensores)

Este indicador evalúa la influencia de la implementación de las SbN en las temperaturas de las superficies de los muros y cubiertas, así como en su entorno cercano. El estudio se realiza mediante la monitorización de temperaturas superficiales y ambientales en las fachadas y cubiertas donde se ha intervenido, principalmente para estudiar el efecto del sistema FAVE en fachadas y cubiertas vegetales. El objetivo es analizar el comportamiento térmico de la envolvente de las aulas mejorada con elementos vegetales. La monitorización se lleva a cabo en época estival, durante 4 días, con mediciones cada 15 minutos. Se han utilizado cuatro juegos de medición, cada uno consta de un sensor de temperatura ambiental que transmite los registros vía radio y una sonda que integra un sensor de temperatura ambiental y tres sensores superficiales. A través de estos se obtienen los registros de temperatura ambiental exterior, ambiental interior y superficial interior, respectivamente. Todas las mediciones son registradas por el termohigrómetro Testo 635-2.

Para determinar el comportamiento de las **cubiertas vegetales**, la instrumentación se ha colocado dentro de dos aulas rehabilitadas mediante este elemento (AP-1 y AP-2). En el interior de cada aula se ha situado un sensor de temperatura superficial en el lecho bajo de la cubierta, un sensor de temperatura ambiental en el interior de cada espacio y uno en el exterior sobre la cubierta verde. Las cubiertas vegetales monitorizadas presentan características distintas en cuanto a densidad de vegetación y altura de plantas: CUVE-SUS<sub>BDPA</sub>, baja densidad de poca altura y CUVE-SUS<sub>ADGA</sub>, alta densidad de gran altura. Respecto al análisis de **fachada**, se han colocado los sensores de temperatura ambiental y superficial interiores y, en la cara externa del muro, el sensor por radio de temperatura ambiental exterior. Ambas fachadas están orientadas al Este y se encuentran protegidas con el sistema FAVE. Una de las aulas se encuentra protegida con el sistema FAVE-2, el cual dispone de una pantalla adicional dispuesta verticalmente, denominada toldo verde. En la otra aula está presente el FAVE-1, compuesto de una malla de acero donde trepa la vegetación.

### 11.2b Temperatura de envolvente del edificio (cámara térmica)

Este indicador también se puede evaluar mediante la toma de imágenes térmicas para determinar cómo influyen las SbN en la disminución de la temperatura del edificio, tomando como referencia la temperatura superficial de la envolvente. Mediante una cámara termográfica se mide la **temperatura superficial** y ofrece una imagen térmica de la fachada. Para evaluar el impacto, se comparan las imágenes térmicas tomadas antes y después de la intervención, detectando posibles cambios en los rangos de temperatura (diferencia entre la T max. y min. detectadas por la cámara) y disminución en las temperaturas máximas. También se podrán comparar las temperaturas de la superficie afectada por las SbN respecto a otras superficies similares de la envolvente. El impacto no se mide de forma cuantitativa, si no cualitativamente, ya que sirve para mostrar visualmente el impacto de las intervenciones en las envolventes de los edificios, pudiendo servir para fines comunicativos.

La toma de fotografías se realizará al menos una vez antes y después de las intervenciones, con condiciones ambientales similares, preferiblemente en días con altas temperaturas. Para realizar una medición correcta, hay que ajustar los grados de emisión de los materiales y temperatura de reflexión en la cámara termográfica. La **emisividad** depende del material que se vaya a fotografiar, existen valores de emisividad estandarizados para la mayoría de los materiales y la propia cámara termográfica tiene su propia base de datos. También hay que ajustar la **temperatura de reflexión**, la cual suele ser igual a la temperatura ambiente. Por último, hay que evitar **fuentes de radiación** cercanas que generen reflexiones y alteren las características térmicas reales.

## 5.2 Gestión del agua

La gestión del agua dentro del proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN es uno de los ejes principales en cuanto a la repercusión que puede tener en ella la aplicación de las SbN. El cambio climático va a influir negativamente en la cantidad y calidad del agua disponible a nivel mundial para satisfacer toda una serie de necesidades humanas básicas, lo cual irá en menoscabo del derecho fundamental de miles de millones de personas a tener acceso al agua potable y el saneamiento.

Para evaluar el impacto que tienen las intervenciones del proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN sobre la gestión del agua se han seleccionado dos indicadores principales: I2.1 Ahorro en el consumo de agua de riego de zonas verdes de los edificios piloto; y I2.2 Ahorro en la gestión del agua de lluvia. En el presente artículo, se hace referencia al segundo de ellos, ya que el primero se encuentra actualmente en fase de obtención de datos.

### 12.2 Ahorro en la gestión del agua de lluvia.

Las actuaciones realizadas en Solana de los Barros con un mayor impacto en la gestión del agua son las cubiertas vegetales y los suelos drenantes. Se ha calculado el volumen de escorrentía que entra en el sistema de alcantarillado antes y después de las implantaciones de los prototipos. De esta forma se evalúa la capacidad de acumular y/o filtrar agua de lluvia de las SbN, evitando su evacuación al sistema de alcantarillado de la ciudad y el ahorro que conlleva. El ahorro en la gestión del agua de lluvia se ha estimado de forma indirecta por medio del **método de curva**. Este método fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los EEUU



(USDA) para estimar la escorrentía generada por un episodio de lluvia, tiene en cuenta el régimen hidrológico, la capacidad de infiltración de distintas superficies, y el comportamiento de la cubierta vegetal. El método viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$Q = \begin{cases} (P - I_a)^2 / (P - I_a + S), & P \geq I_a \\ 0, & P < I_a \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

$$I_a = \lambda \cdot S \quad (3)$$

**Figura 4.** Ecuaciones del Método de Curva. (USDA)

Donde:

- Q: la altura de escorrentía (mm). Es la forma de expresar el volumen de agua recogido por unidad de superficie.
- P: La cantidad de agua caída (mm). Al igual que en el caso anterior se expresa en altura de agua por unidad de superficie.
- I<sub>a</sub>: La captación inicial (mm). Es el agua que no se convierte en escorrentía por evaporación, absorción sobre superficies, etc.
- S: La máxima capacidad de absorción de agua del suelo.
- λ: El coeficiente de captación inicial que es una constante, definida normalmente como 0.2 [16, 17, 18]
- CN: Parámetro adimensional entre 0 y 100<sup>3</sup>.

### 5.3 Gestión de zonas verdes

Mediante el desarrollo de SbN, el proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN quiere contribuir a mejorar la gestión de las zonas verdes, aumentando la cantidad y calidad de las mismas, favoreciendo la biodiversidad del entorno donde se desarrollan los pilotos, aumentando las especies vegetales presentes, así como las especies animales asociadas a ellas y proporcionando beneficios tanto ecológicos, como recreativos, sociales y de bienestar.

Para evaluar el impacto que tienen las intervenciones del proyecto sobre la gestión de zonas verdes se han seleccionado dos indicadores: I3.1 Aumento de la biodiversidad vegetal y animal; y I3.2 Número de especies vegetales autóctonas. En el presente artículo, no se hace referencia a ninguno de ellos, ya que se encuentran actualmente en fase de obtención de datos.

---

<sup>3</sup> El servicio de conservación (NCRS) ha desarrollado valores CN (*Curve Number*) para varios tipos coberturas de suelo basado en sus características hidrológicas.

### 5.4 Calidad del aire

El proyecto busca evaluar cómo es el impacto de las SbN implementadas en la calidad del aire interior de las aulas con el objetivo de aumentar el confort y salud de los usuarios del edificio. Se mide en 3 aspectos: la calidad de aire interior – midiendo las concentraciones de CO<sub>2</sub>; contaminación acústica interior – midiendo la absorción acústica y los niveles de ruido interiores (dB); y la calidad de aire exterior en base al impacto del mismo sobre especies bio-indicadoras.

Para evaluar el impacto que tienen las intervenciones del proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN sobre la calidad del aire se han seleccionado tres indicadores principales: I4.1 Concentración de dióxido de carbono en el interior del aula; I4.2 Niveles de reducción de ruido procedente del exterior; y I4.3 Número de especies bioindicadoras. En el presente artículo, se hace referencia al primero de ellos, ya que el resto se encuentra actualmente en fase de obtención de datos.

#### I4.1 Concentración de dióxido de carbono en el interior del aula.

En este indicador se mide la evolución de los niveles de **concentración de CO<sub>2</sub>** en el interior de las aulas, el efecto de los protocolos de ventilación y si se mantiene una buena calidad del aire interior, manteniéndose por debajo de 800 - 1.200 ppm. Para determinar este indicador se instalan sensores de CO<sub>2</sub> en las aulas, con uno por aula es suficiente. Se miden el número de horas anuales con valores de concentración por encima de los límites recomendados antes y después de las intervenciones. Se emplearán aulas de referencia sin aplicación de las medidas para tener en cuenta la influencia de otros posibles factores.

Una aplicación directa del registro de las concentraciones de CO<sub>2</sub>, es la selección de los periodos de tiempo de ventilación necesarios para mantener los valores dentro del rango de lo recomendable. El registro de los valores de concentración da las horas del día a las que los valores pueden alcanzar niveles altos y combinando estos perfiles con los de las temperaturas exteriores, se pueden encontrar los momentos más adecuados para la apertura de puertas y ventanas y durante cuánto tiempo. Esto valdría tanto para verano como para invierno, determinando distintos momentos. De esta forma se puede buscar mejorar la calidad del aire de la forma más eficiente posible desde el punto de vista energético. En el caso de disponer de ventanas de apertura automática, su programación se puede adaptar fácilmente.

### 5.5 Regeneración urbana

El proyecto pretende avanzar hacia nuevos modelos de ciudades y modelos de edificación sostenibles y resilientes, que contribuyan a un uso eficiente de los recursos y menor consumo energético; así como mejorar el acceso universal a zonas verdes de calidad, reduciendo los niveles de urbanización intensiva y sus efectos. Se espera que nuevos modelos urbanos resilientes faciliten la transición hacia economías de bajo carbono y consumo de recursos.

Para evaluar el impacto que tienen las intervenciones del proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN sobre la regeneración urbana se han seleccionado dos indicadores: I5.1 Medidas de eficiencia energética; y I5.2 Aumento de la superficie verde. En el presente artículo, se hace referencia al segundo de ellos, ya que el segundo se encuentra actualmente en fase de obtención de datos.

### 15.2 Aumento de la superficie verde

Para calcular el impacto conseguido en aumentar las zonas verdes, se han medido las superficies verdes en la zona de actuación ( $m^2$ ) y el porcentaje respecto al área total de la parcela (%) antes y después de la implantación de las actuaciones. Se consideran zonas verdes todas aquellas áreas que generan una superficie vegetal, como parques, jardines y arboledas, incluyendo nuevas formas de verde urbano como las fachadas y cubiertas verdes.

Además, el proyecto LIFE myBUILDINGisGREEN busca evaluar el impacto relativo a: Gobernanza y participación (I6.1 Percepción de los ciudadanos sobre la naturaleza urbana; I6.2 Políticas de aprendizaje y planes estratégicos de adaptación al Cambio Climático; I6.3 Procesos participativos abiertos); Cohesión social (I7.1 Nº de acuerdos y desacuerdos); Salud pública y bienestar (I8.1 Reducción de número de ausencias y bajas de alumnos y profesores); Oportunidades económicas y empleo (I9.1 Número de puestos de trabajo creados; I9.2 Creación de nuevas capacidades en autónomos y empresas de la zona; I9.3 Reducción del absentismo laboral). En el presente artículo, no se desarrollan, ya que se encuentran actualmente en fase de obtención de datos.

## 6. RESULTADOS

En este apartado se presentan los primeros resultados obtenidos hasta el momento de los indicadores mencionados en el apartado anterior. Con los datos recogidos hasta el momento se han realizado algunos estudios, pero el grueso de la evaluación de impacto se espera realizar con los dos datos de la época estival del año 2023. En ese momento la vegetación se encontrará en su máximo desarrollo (dentro del periodo de ejecución del proyecto) y se podrá evaluar su impacto de forma más adecuada. Sin embargo, se espera que, en los años siguientes, con el desarrollo completo del sombreado por la vegetación en la fachada Este del edificio, se alcanzarán los beneficios planteados.

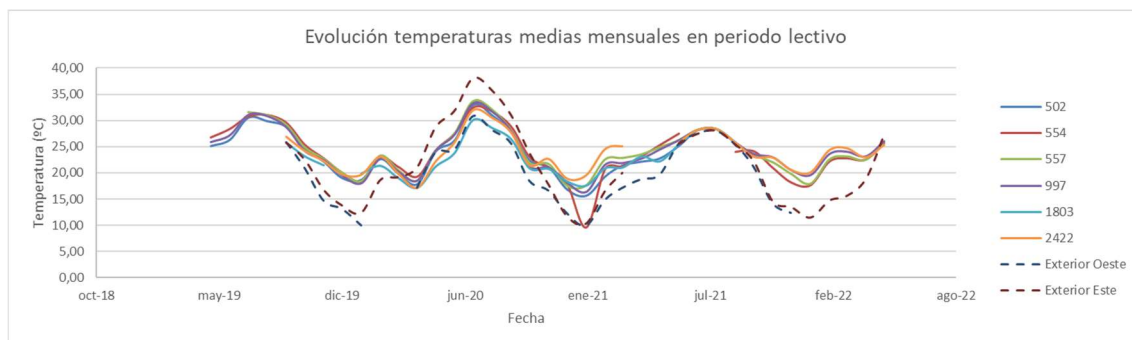
### 11.1 Temperatura interior del edificio

Para medir la evolución de las temperaturas interiores se han estudiado 6 aulas con características diferentes: las **Aula 997** y **577** tienen orientación Este y se ha instalado el sistema FAVE en la fachada; el **Aula 554** tiene orientación Este donde se ha instalado el sistema FAVE y cubiertas verdes; el **Aula 1803** tiene orientación Oeste y se ha instalado una cubierta verde; el **Aula 2422** y **502** tienen orientación Oeste y Sur respectivamente y no han sufrido ningún cambio.

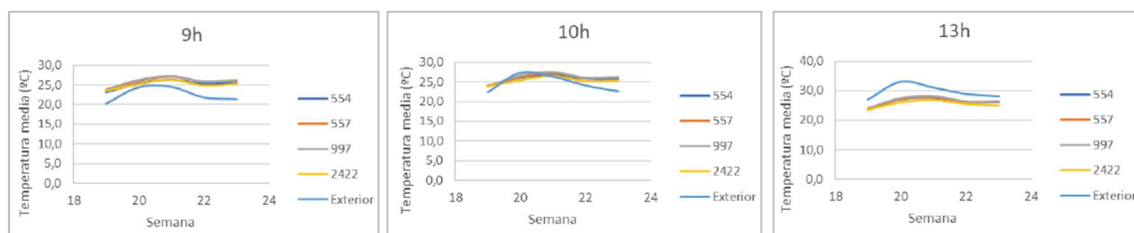
La temperatura en el interior de las aulas sigue una evolución similar en todas ellas, pero con ciertas variaciones que hacen que algunas aulas tengan temperaturas más confortables que otras cuando se analizan en detalle. En el estado inicial del edificio se encontró que las aulas situadas en la fachada Oeste, que ya disponían de una barrera vegetal que las sombrea y además recibirían insolación por la tarde ya fuera del horario de clases, tenían temperaturas medias inferiores a las aulas de la fachada Este, totalmente expuestas al sol durante toda la mañana (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Existe una gran variación estacional, superando la temperatura de confort durante los meses más cálidos. Las temperaturas alcanzadas ya en mayo de 2022 en periodo lectivo son excepcionalmente altas

## SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

superando muchos días los 27°C y llegando hasta los 31°C en el interior de las aulas. También se puede apreciar como las mínimas en algunas semanas no bajan de los 25 °C, lo que supone comenzar la jornada escolar ya con temperaturas muy altas (Figura 6).



**Figura 5.** Evolución de las temperaturas mensuales en las distintas aulas en horario lectivo



**Figura 6.** Perfil de las temperaturas medias en las distintas aulas a las horas indicadas, mayo 22

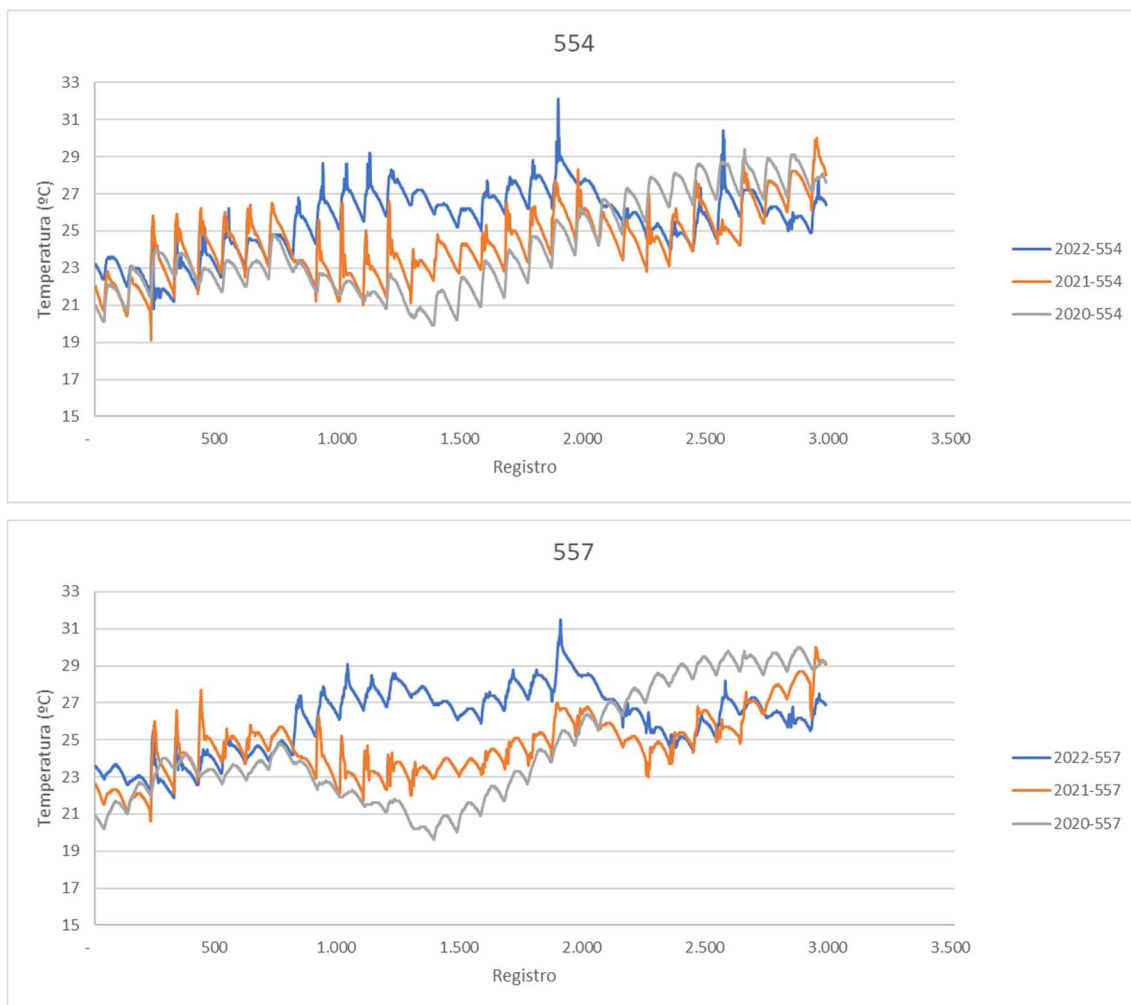
De forma preliminar, se ha comenzado con el estudio del impacto que tiene la instalación de las cubiertas verdes en la temperatura interior. A modo de introducción, con los datos registrados en mayo de 2020-2021-2022, se han comparado los valores de temperatura interior de dos aulas de la fachada Este. Una de ellas está en la primera planta y tiene una cubierta verde encima (554) y la otra está situada en la planta baja (557) que en principio no ha sufrido variación, ya que la vegetación del sistema FAVE aún no se ha desarrollado.

**Cuadro 1.** Temperaturas medias mayo para los años 2020, 2021 y 2022 en las aulas 554 y 557.

SENSOR	554	557
PLANTA	1	0
FACHADA	ESTE	ESTE
<b>2020</b>	24.1	24.5
<b>2021</b>	24.4	24.7
<b>2022</b>	25.6	26.1
Diferencia 2020 – Promedio (2020-21)	1.3	1.5

Fuente: CARTIF





**Figura 7.** Registros de temperatura en mayo en el aula 554 (primera planta) y en el aula 557 (planta baja).

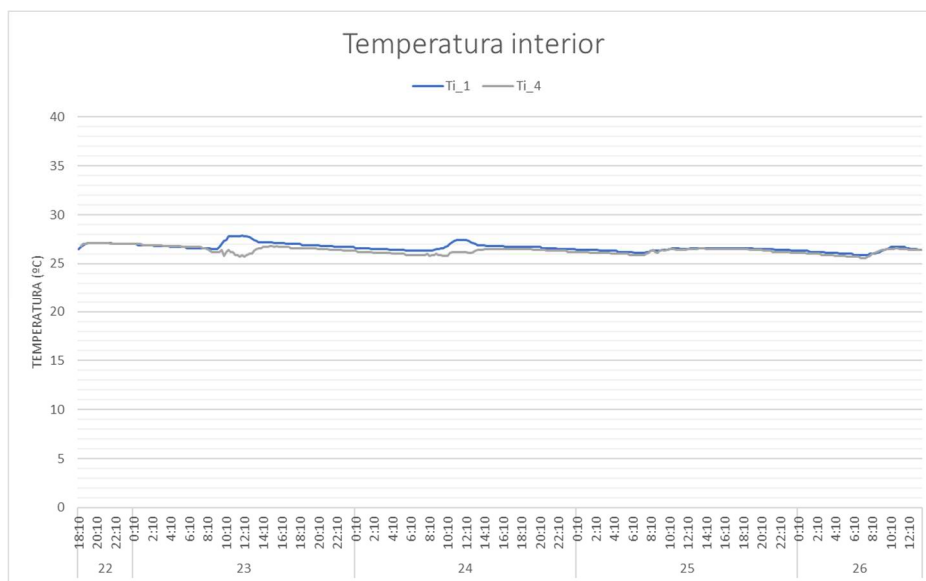
Como se puede apreciar en la Figura 7 y Cuadro 1, en el aula las temperaturas de mayo 2022 han sido muy superiores a las temperaturas registradas en los dos años anteriores (valores medios entre 24 y 25°C). Esto se debe a que mayo de 2022 ha sido anormalmente cálido. Sin embargo, en el aula 554 se han registrado menores diferencias entre mayo de 2022 y los mayo de 2020 y 2021. Son pequeñas diferencias aún, pero se espera que con el desarrollo de la vegetación en los próximos años y sobre todo con el efecto combinado en la protección de las fachadas se puedan alcanzar reducciones considerables.

### I1.2a Temperatura de envolvente del edificio

La monitorización se ha llevado a cabo en el mes de junio del 2022, entre los días 22 al 26 (4 días). A pesar de realizar la monitorización en verano, la temperatura exterior se ha presentado atípicamente por debajo de lo esperado, además, en la zona se presentaron algunas lluvias durante la monitorización.

La medición del impacto en las temperaturas de la envolvente se debe principalmente a la instalación de cubiertas y fachadas verdes y se ha evaluado según 3 parámetros: Temperatura interior; Temperatura exterior de cubiertas y fachadas; Temperatura superficial interior.

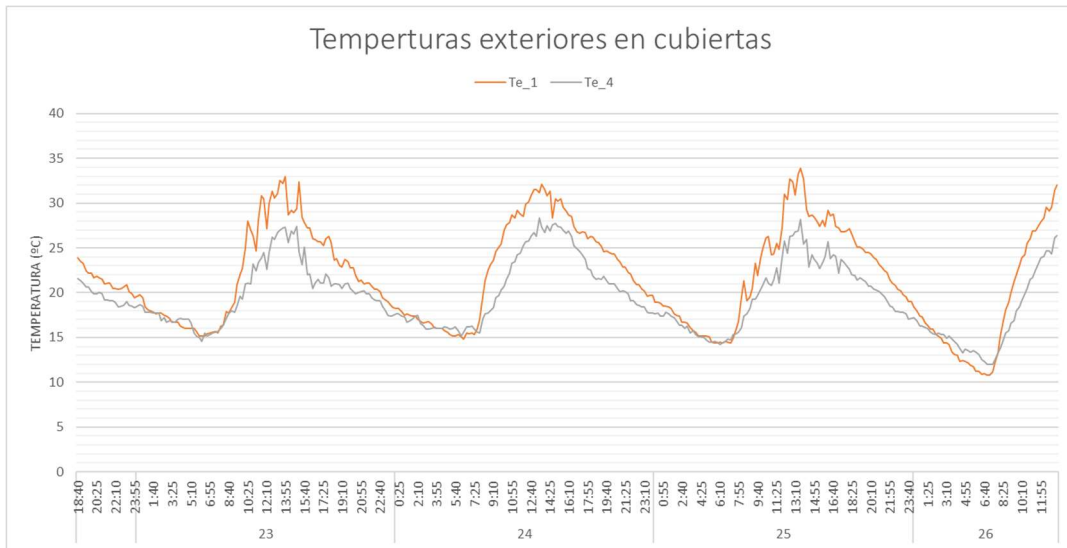
La **Temperatura interior** se ha medido en dos aulas contiguas, la AP-1 con el sensor Ti\_1 y la AP-2 con el sensor Ti\_4, resultando en una diferencia de temperaturas muy pequeña (Figura 8). El aire se presenta ligeramente más frío en la segunda habitación quizá debido a la mayor densidad de la capa vegetal que contiene la cubierta de esta aula, el sistema CUVE-SUS<sub>ADGA</sub>. Sin embargo, ante la poca diferencia se requieren más pruebas al respecto.



**Figura 8.** Temperaturas interiores en las aulas AP-1 y AP-2

La **Temperatura exterior de la cubierta** se ha medido en dos tipos de cubiertas diferentes contiguas, de baja densidad y poca altura (CUVE-SUS<sub>BDPA</sub>) y una cubierta de alta densidad y gran altura (CUVE-SUS<sub>ADGA</sub>). Las temperaturas más altas las registra el sensor ubicado sobre la cubierta CUVE-SUS<sub>BDPA</sub> (Te-1), con un promedio de 21.72°C, mientras que el sensor ubicado sobre la CUVE-SUS<sub>ADGA</sub> registra 19.54°C. Las máximas temperaturas alcanzadas por estos sensores son 33.90°C y 28.30°C respectivamente (Figura 9). Las temperaturas más altas de la CUVE-SUS<sub>BDPA</sub> pueden estar vinculadas a la mayor exposición solar de la cubierta vegetal con respecto a la CUVE-SUS<sub>ADGA</sub>, la cual presenta mayor protección a los rayos solares por su composición vegetal. Finalmente, la máxima diferencia entre el Te\_1 y el Te\_4 es de 7.80°C.

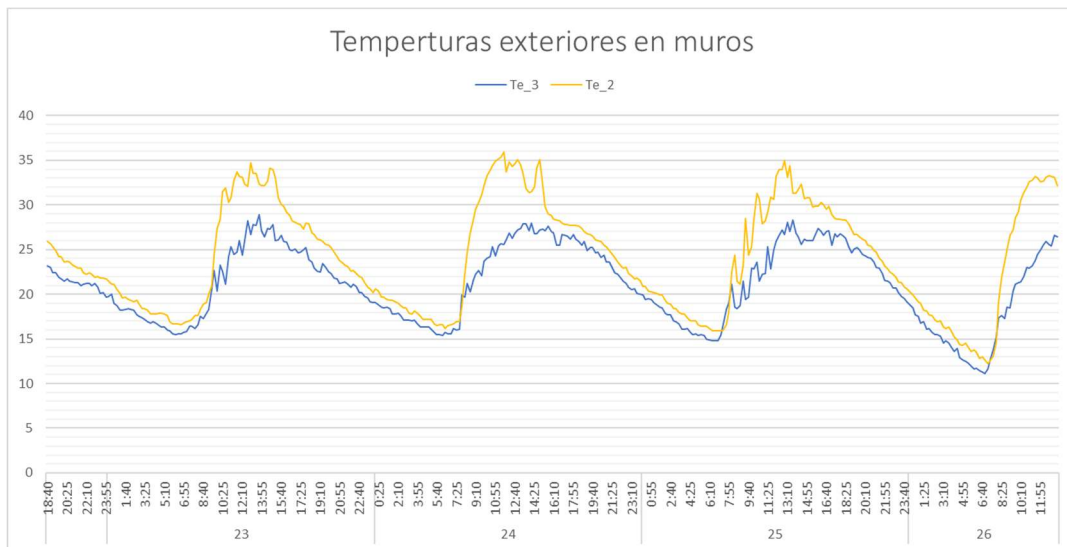
## SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO



**Figura 9.** Registro de temperaturas exteriores sobre las distintas cubiertas vegetales.

La **Temperatura exterior de la fachada** se ha medido cerca de muros orientados al este, pertenecientes al aula AP-1 (sensor Te\_2) y al aula de usos múltiples (sensor Te\_3), ambos incluyen la estructura FAVE. La principal diferencia radica en que el muro del aula de usos múltiples está protegido con el sistema FAVE-2, que integra la pantalla para soporte vegetal que lo convierte en un protector solar completo; mientras que el sensor referente a Te\_2 se ubica cerca del sistema FAVE-1, el cual únicamente posee una malla metálica donde la vegetación no ha podido aun cubrir por completo el panel, permitiendo la entrada de radiación solar.

El punto Te\_2 registra una temperatura promedio de 24.05°C y el Te\_3 de 21.05°C, los registros máximos de 35.90°C y 28.90°C, aunque la diferencia máxima registrada es de 10.80°C. El elemento que tiene mayor presencia vegetal es el que permanece más fresco durante la mañana y las primeras horas después de mediodía (Figura 10).



**Figura 10.** Registro de temperaturas ambientales en el exterior cercanas a muros

La **Temperatura superficial** de las aulas AP-1 y AP-2 presentan cifras muy similares entre sí, tal como sucedió con los registros de temperatura interior de las mismas aulas. En promedio, la cubierta de la AP-1 (Ts\_1) registra 26.63°C de temperatura superficial mientras que el sensor de la cubierta de la AP-2 (Ts\_4) registra 26.29°C, es decir, existen solamente 0.34°C de diferencia. Los registros máximos tampoco presentan diferencias considerables entre sí, alcanzando los 27.30°C en la cubierta de la AP-1 y 27.20°C la cubierta de la AP-2, siendo la segunda cubierta la que tiene una sección de mayor densidad y altura de vegetación. Aunque la diferencia es mínima, la losa con cubierta verde de alta densidad y altura vegetal presenta las cifras más bajas.

A pesar de que en la mayoría de los casos la diferencia entre los registros de temperatura no es muy considerable, se puede distinguir una constante entre los resultados. Los elementos constructivos con mayor presencia vegetal y ambientes cercanos a estos registran menores temperaturas que aquellos elementos con poca vegetación o que no se encuentran próximos a estas estructuras. Este comportamiento es mayormente visible en los registros de temperatura exterior cercanos a las cubiertas y a los muros de la fachada Este. Entre las cubiertas vegetales, la que contiene la vegetación más densa y con plantas de mayor altura es la que registra temperaturas exteriores notablemente más frescas, mientras que el muro cercano a la cubierta con vegetación y protegido con el sistema FAVE que añade la pantalla vegetal registra un ambiente exterior considerablemente más fresco que aquel protegido con el mismo sistema, pero sin esta pantalla.

Hay que tener en cuenta, que el estudio se realizó en una semana de verano atípica con temperaturas más bajas que la media y escasa radiación por nubes. Sería de esperar encontrar mayores diferencias entre los distintos espacios medidos debido a la protección solar de la vegetación, en condiciones de mayor soleamiento.

### 11.2b Temperatura de envolvente del edificio

Mediante la toma de imágenes termográficas se evalúa de forma cualitativa el impacto en la reducción de temperaturas de la envolvente del edificio. En este caso, la toma de imágenes se ha realizado tras la implementación de las soluciones y se comparan las temperaturas de la envolvente afectada por las intervenciones respecto a aquellas superficies que mantienen las características previas a la implementación. Como se mencionaba en el apartado anterior, también se pueden comparar las imágenes posteriores a la intervención con imágenes previas a la misma. La toma de imágenes se hizo el 08/06/2021 con una temperatura ambiental de 31°C.

La temperatura superficial de la fachada Este se ve afectada principalmente por el sistema FAVE, que proporciona sombreado. Las imágenes térmicas muestran que las superficies asociadas al sistema FAVE tienen menor temperatura superficial respecto a las superficies que mantienen las características originales (Figura 11). Esta diferencia es muy pequeña debido principalmente a que la vegetación aún no ha cubierto la estructura por completo, teniendo un menor impacto.

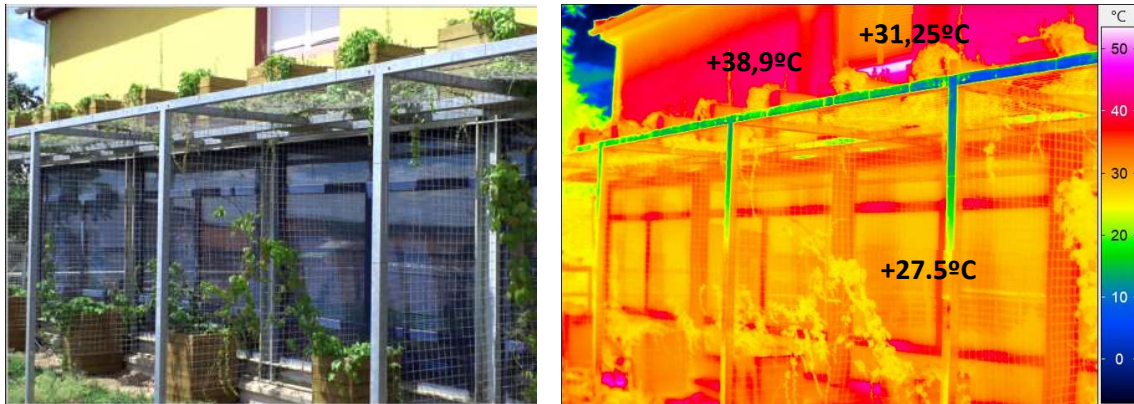


Figura 11. Temperaturas superficiales de la fachada

La temperatura superficial de las cubiertas se ve afectada por la instalación de los 3 tipos de cubierta verde (CUVE-SUS, CUVE-1 y CUVE-2). Las imágenes térmicas muestran que las superficies de las cubiertas verdes tienen menor temperatura superficial respecto a las cubiertas originales (Figura 12). La diferencia entre temperaturas es muy notable, habiendo diferencias entre los tipos de cubierta, según el tipo de vegetación y el grado de cobertura vegetal.

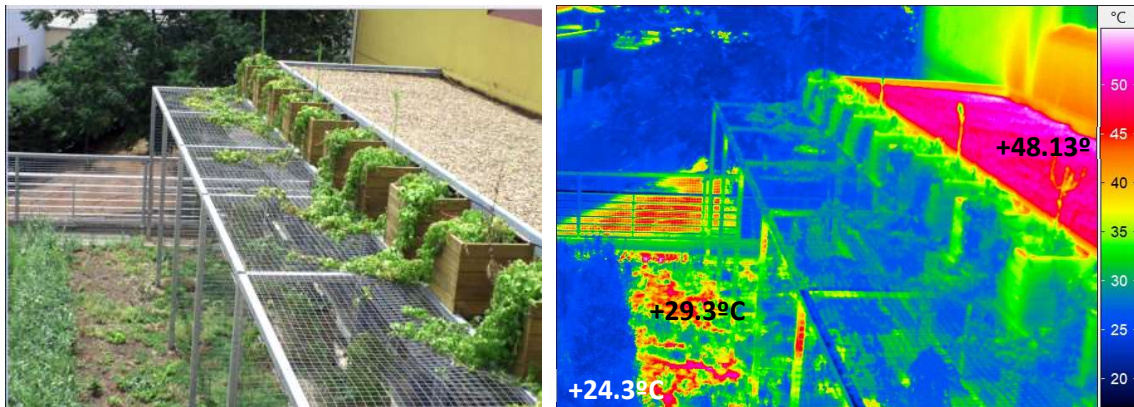


Figura 12. Temperaturas superficiales de cubierta

Las imágenes se irán actualizando según avance el periodo de monitorización y la vegetación cubra la máxima superficie posible. A fecha de hoy, se observa a través de las imágenes térmicas que las cubiertas verdes reducen en gran medida las temperaturas superficiales y en menor medida el sistema FAVE, a la espera de que la vegetación termine por cubrir el sistema.

### I2.2 Ahorro en la gestión del agua de lluvia

Para calcular el ahorro en la gestión del agua de lluvia, el **tipo de superficie horizontal** o suelo expuesto a la intemperie es el primero de los factores a tener en cuenta, y en concreto, su textura y la capacidad de infiltración. En función de estos factores, los suelos se clasifican en 4 grandes grupos, tal y como se muestra en el siguiente cuadro.



**Cuadro 2.** Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Capacidad de infiltración	Textura
A	Rápida	> 76 mm/h	Arenosa; Arenosa-limosa
B	Moderada	76-38 mm/h	Franca; Franco-arcillosa-arenosa; Franco-limosa
C	Lenta	36-13 mm/h	Franco-arcillosa; Franco-arcillo-limosa; Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	<13 mm/h	Arcillosa

Fuente: SCS, 1964 en Bradbury et al., 2000 [19]

En la experiencia del colegio de Solana de los Barros, consideramos dos actuaciones con potencial impacto significativo en este índice:

- **Suelos Verdes:** En la situación ex ante, partimos de una superficie compuesta por una capa de arena superficial sobre suelo compactado, tipo de suelo D según el Cuadro 2. Después de la instalación del suelo drenante, esta superficie tiene una mayor capacidad de infiltración, por lo que en la situación ex post pasamos a un suelo tipo B.
- **Cubiertas vegetales.** De forma análoga a la anterior, en la situación ex ante, partimos de una cubierta compuesta por una capa de grava superficial sobre otra capa de aislamiento, tipo de suelo B según el Cuadro 2. Después de la instalación de la cubierta vegetal, esta superficie tiene una mayor capacidad de infiltración, por lo que en la situación ex post pasamos a un suelo tipo B.

Para la estimación de la **condición de humedad**, se ha partido de los datos meteorológicos proporcionados por la AEMET correspondientes a la **estación de Badajoz** (identificador 4410X), de septiembre de 2019 a junio de 2022. Para cada día, se han estimado las condiciones de humedad correspondientes a la suma de precipitación de los 5 días anteriores, de acuerdo a el siguiente cuadro.

**Cuadro 3.** Condiciones de humedad

CONDICION	PERIODO VEGETATIVO	PERIODO DE REPOSO
I – Suelo seco por encima del p.m.p <sup>4</sup>	< 13 mm	< 36 mm
II – Suelo con humedad media	13-28 mm	36-53 mm
III – Lluvias fuertes o ligeras y temperaturas bajas durante los 5 días anteriores a la tormenta dada	> 28 mm	> 53 mm

Fuente: CARTIF, basado en Martínez de Azagra, A. et al. 1996 [20]

<sup>4</sup> P.m.p = Punto de marchitez permanente

## SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Con el siguiente cuadro y la consideración del periodo vegetativo (de abril a septiembre) se ha calculado la condición de humedad en todo el periodo estudiado.

**Cuadro 4.** Frecuencia de cada una de las condiciones de humedad del periodo estudiado

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
I	16	10	21	33	6	4	1		7	17	23	31
II	8	5	3	2							9	4
III	3	3	6		3				1	5	8	8

Fuente: CARTIF. Datos AEMET.

En cuanto al **tipo de vegetación** instalada, partíamos de una situación de suelo desnudo, y pasamos a una vegetación intensiva. En la situación real del colegio, estos suelos se asemejan a caminos en firme y prados permanentes respectivamente según la tabla general para la determinación del número de curva para la situación II. Haciendo las conversiones correspondientes para las situaciones I y III, obtenemos los siguientes resultados.

**Cuadro 5.** Determinación del número de curva

TIPO VEGETACIÓN	SITUACIÓN I		SITUACIÓN II		SITUACIÓN III	
	SUELO B	SUELO D	SUELO B	SUELO D	SUELO B	SUELO D
Caminos en firme	69	83	84	92	91	95
Prados permanentes	37	60	58	78	76	89

Fuente: CARTIF, adaptado de Martínez de Azagra, A. et al. 1996 [20]

Calculado el umbral de escorrentía como la altura de lluvia a partir de la cual se produce escorrentía superficial, y el valor de escorrentía debida al agua de lluvia real caída, por diferencia de estos valores obtenemos la **captación**, es decir, los mm de agua de lluvia caída que pueden ser retenidos por las SbN instaladas. Así, se ha estimado que teóricamente, la instalación y puesta en marcha de las SbN durante este tiempo ha supuesto la **captación de 16.88 mm procedentes del agua de lluvia**. El periodo de línea base (ex - ante) se inicia en septiembre de 2019 y finaliza en octubre de 2021 y el periodo de ex - post se inicia en noviembre de 2021 y se cierra en junio de 2022 para el presente artículo, aunque la monitorización sigue en proceso.

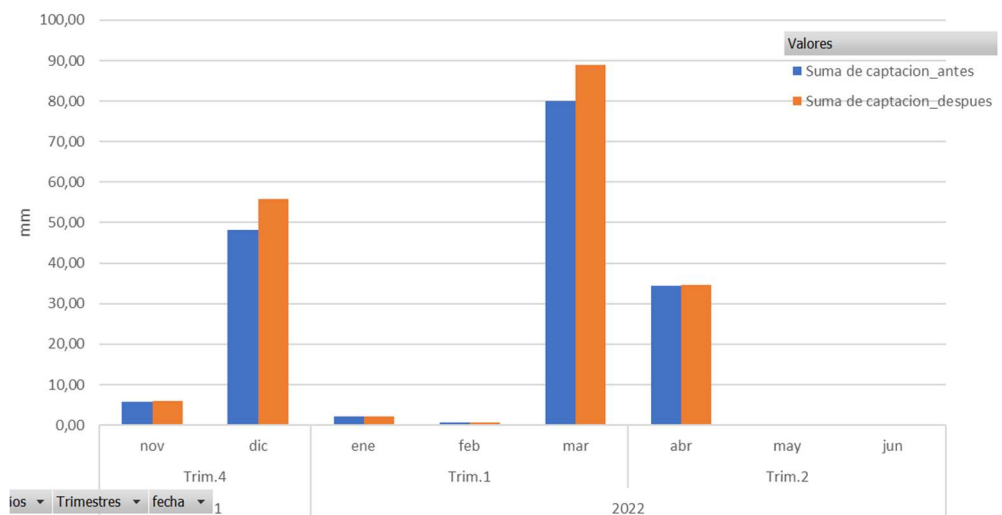
**Cuadro 6.** Volumen de agua captado (mm)

Año	Mes	Captación ex - ante	Captación ex - post	Diferencia
2021	NOV	5.80	6.00	0.20
	DIC	48.17	55.80	7.63
2022	ENE	2.20	2.20	0.00
	FEB	0.60	0.60	0.00
	MAR	80.11	89.00	8.89
	ABR	34.43	34.60	0.17
	MAY	0.00	0.00	0.00
	JUN	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>171.32</b>	<b>188.20</b>	<b>16.88</b>

Fuente: CARTIF. Datos de AEMET.

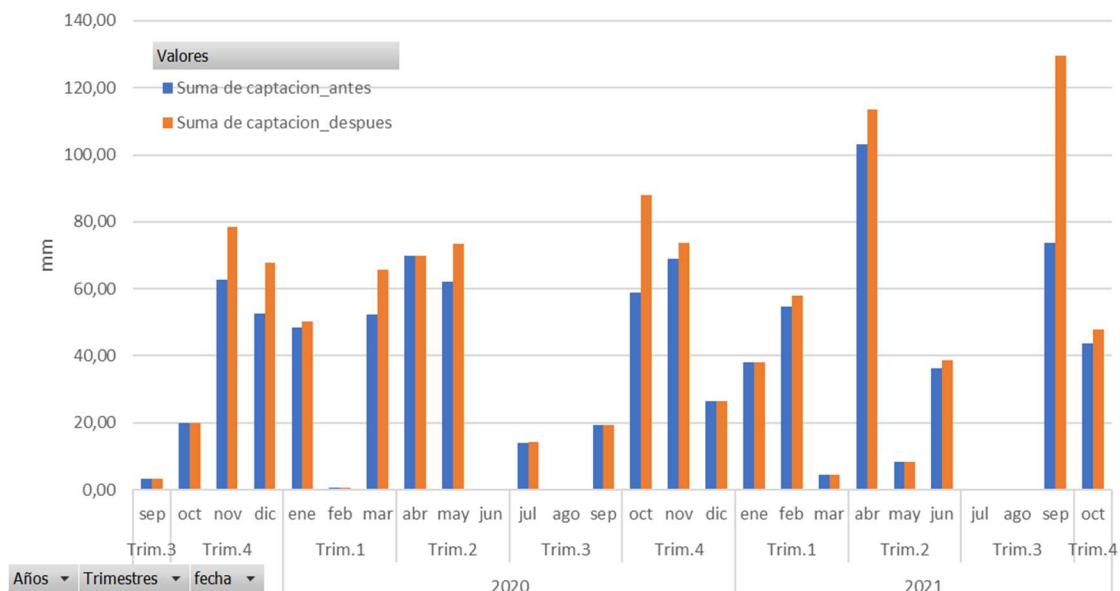
## SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA ADAPTACIÓN DE EDIFICIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Como puede comprobarse en la siguiente gráfica, la mayor captación se ha producido durante el mes de marzo de 2022.



**Figura 13.** Evolución del Volumen de agua captado (mm) y comparación con la situación actual

Estos datos se actualizarán según vaya avanzando el periodo de monitorización. A fecha de hoy, podemos estimar el **potencial de infiltración de la SbN instaladas** realizando la simulación a partir de datos de precipitación de años anteriores.



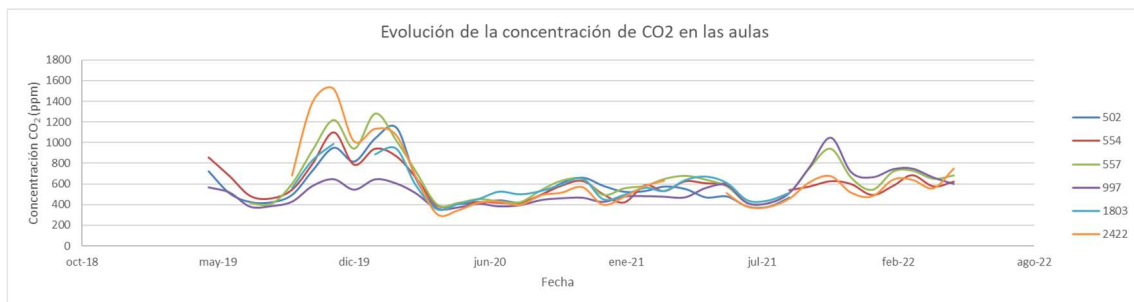
**Figura 14.** Captación potencial estimada en base a las precipitaciones de años anteriores

A través de este modelo, podemos ver que en los meses de primavera y otoño se espera que se alcancen las mejores tasas de captación.



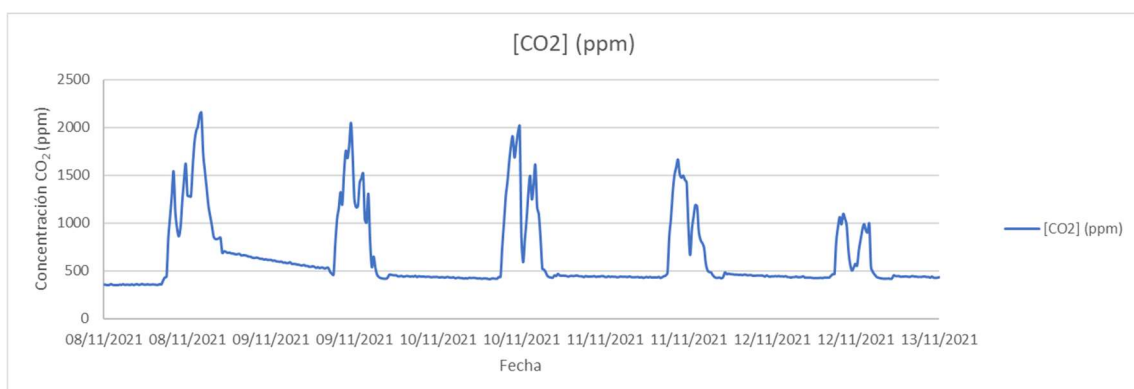
### I4.1 Concentración de dióxido de carbono en el interior del aula.

El perfil de las concentraciones medias de CO<sub>2</sub> en las aulas, se ha visto modificado de forma muy importante por efecto del cambio de hábitos después de la pandemia COVID19. Como se puede apreciar claramente en la Figura 15, las concentraciones después de la vuelta del confinamiento se han reducido de forma muy significativa por la aplicación de los protocolos anti-COVID en los colegios. Sin embargo, en los últimos meses parece que se observa una relajación en la aplicación de las medidas en la época invernal.



**Figura 15.** Evolución de las concentraciones mensuales medias de CO<sub>2</sub> en horario lectivo.

Para estudiar el mejor horario de apertura de las ventanas en horario invernal, optimizando los momentos de ventilación con los de máxima temperatura exterior, se analizan los perfiles de concentración de CO<sub>2</sub> en cada aula (Figura 16). Existen diferencias importantes entre unas aulas y otras por el número de alumnos y por las costumbres de ventilación del profesorado. En algunas aulas ya se superaban los valores recomendados desde las 9:30h (hora de entrada al colegio 9:00) y en otras estos niveles tardaban más en alcanzarse. Otro aspecto significativo es que, en algunas aulas, después de la jornada escolar, los valores no alcanzaban los basales del exterior. Ello quiere decir que no se ventilaba convenientemente después de finalizar las clases.



**Figura 16.** Perfil de concentración de CO<sub>2</sub> del aula con niveles más altos la semana con los promedios más altos.

En paralelo se estudiaron los perfiles de temperaturas en las aulas y en el exterior buscando maximizar el confort térmico y la eficiencia energética. Además, se intentó encontrar un horario que mejorara la calidad del aire en la mayoría de las clases una parte importante del tiempo. Finalmente, el horario seleccionado fue abrir las ventanas de 9:30 a 10:00h, de 12:30 a 13:00 y

finalmente de 15:00 a 16:00h, combinando este último horario con una instrucción al personal de limpieza para que abrieran las ventanas en la medida de lo posible.

Como resultado, se encontró que los valores promedio para todas las clases comparando semanas clave en noviembre, antes de la programación de las ventanas, y en diciembre eran menores después de aplicar el nuevo protocolo (Cuadro 7). De todas formas, la evaluación continua y la valoración final se realizará empleando series temporales más largas. Además, para conseguir optimizar la calidad del aire manteniendo el confort térmico es necesario formar y concienciar al personal docente.

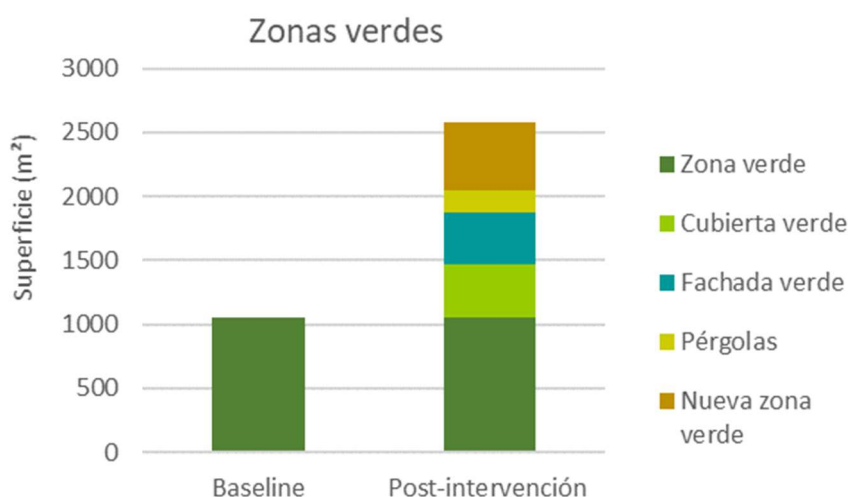
**Cuadro 7.** Concentración de CO<sub>2</sub> promedio en horario lectivo para una semana antes de la modificación de la programación de las ventanas (46) y otra después (51) del año 2021.

Semana	Aula 557	Aula 997	Aula 2422
<b>Antes (46)</b>	963	1081	651
<b>Después (51)</b>	730	824	620

Fuente: CARTIF

### 15.2 Aumento de la superficie verde

El aumento de la superficie verde tras las intervenciones se debe a la implementación de cubiertas verdes, sistema FAVE y PEVE y nuevas zonas verdes; sumando un total de **1.527,8 m<sup>2</sup>** de nueva superficie verde implementada (Figura 17). Para evaluar el impacto tras las intervenciones se calcula el aumento tanto en superficie como en porcentaje de la superficie verde actual respecto a la inicial (Cuadro 8).



**Figura 17.** Superficies verdes antes y después de la implementación de SbN

Las actuaciones del proyecto han tenido un gran impacto en aumentar las superficies verdes del CEIP Gabriela Mistral, aumentando un **145.52%** las superficies verdes respecto a la situación previa.

**Cuadro 8.** Superficies verdes implementadas

	Ex - ante	Ex - post
Superficie parcela (m <sup>2</sup> )	5669.2 m <sup>2</sup>	5669.2 m <sup>2</sup>
Superficie verde (m <sup>2</sup> )	1049.9 m <sup>2</sup>	2.577.7 m <sup>2</sup>
% superficie verde	18.52 %	45.5 %
<b>Incremento</b>	-	<b>145.52 %</b>

Fuente: CARTIF

## 6 CONCLUSIONES

Para evaluar el impacto de las SbN prototipo implementadas en el colegio CEIP Gabriela Mistral en factores determinantes de adaptación al cambio climático de forma global y concluyente es necesario esperar al final del periodo de monitorización, cuando la vegetación se encuentre en su máximo desarrollo. Hasta el momento, se han podido obtener los primeros resultados de algunos indicadores que muestran como se está mejorando la adaptación y mitigación al cambio climático, la gestión del agua, la calidad del aire y la regeneración urbana.

En referencia a las **temperaturas**, las cubiertas verdes se muestran como una herramienta efectiva para reducir las temperaturas superficiales y puede estar relacionado con una menor temperatura interior, para lo que se necesita más tiempo de evaluación. En cuanto al sistema FAVE, aún es necesario que aumente la superficie de cobertura por parte de la vegetación para valorar su impacto. Se ha observado que el tipo de sistema constructivo y de vegetación son parámetros influyentes, por ejemplo, las cubiertas vegetales que contienen la capa más densa y con plantas de mayor altura es la que presenta menores temperaturas.

En cuanto a la **gestión del agua**, los pavimentos drenantes instalados en el colegio de Solana de los Barros permiten una mejor gestión de las aguas pluviales, ejerciendo de sumidero de agua en episodios de lluvia. La mayor capacidad de infiltración de las nuevas superficies instaladas a tal efecto, permiten retrasar el momento en el que el agua empieza a fluir en forma de escorrentía, aliviando así la presión en los sistemas de alcantarillado y depuración. Si bien el proyecto aún se encuentra en fase de monitorización, se ha podido estimar ya el potencial de captación que tienen las SbN, cuyo impacto será más patente durante los meses de primavera y otoño.

Los primeros datos de la aplicación de protocolos para mejorar la **calidad del aire interior** mediante horarios de ventilación muestran que pueden ser efectivos para reducir los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>. Como el resto de indicadores, será necesario continuar con la evaluación de los resultados para poder determinar el impacto real.

Será necesaria una evaluación final que ponga en relación todos los indicadores para tener una visión global del impacto de las SbN, no solo a nivel ambiental, también a nivel económico, social y de bienestar con el objetivo de transferir el conocimiento adquirido, en cuanto a buenas prácticas de implementación e impactos, para favorecer la replicación e inclusión de las SbN en la planificación urbana y planes de edificación y rehabilitación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] World Economic Forum (2022). The Global Risks Report 2022. 17<sup>th</sup> Edition. ISBN: 978-2-940631-09-4
- [2] MITECO (2020). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030. ISBN: 978-84-18508-32-5
- [3] European Environment Agency (2016). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 An indicator-based report. ISBN: 978-92-9213-835-6
- [4] Raymond, C.M., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Kabisch, N., de Bel, M., Enzi, V., Frantzeskaki, N., Geneletti, D., Cardinaletti, M., Lovinger, L., Basnou, C., Monteiro, A., Robrecht, H., Sgrigna, G., Munari, L. and Calfapietra, C. (2017). An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom.
- [5] Real Decreto 1027/2007 <https://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf>
- [6] Del Campo, V., Mendivil, A. (2006). Calidad del aire interior en los Centros de Educación Infantil del País Vasco. El Instalador nº427. ISSN 0210-4091
- [7] Plataforma de Edificación Passivhaus, Universidad de Burgos (2022). Proyecto de monitorización de colegios. Estudio completo e informe de conclusiones.
- [8] Marta, I., et al. 2010; Blanco, V., García, A. (2010). Calidad del aire interior en edificios de uso público [online]. Madrid: Dirección General de Ordenación e Inspección. Consejería de la Comunidad de Madrid.
- [9] [https://www.diariodesevilla.es/sevilla/ola-calor-protocolo-colegios-Sevilla\\_0\\_1692431466.html](https://www.diariodesevilla.es/sevilla/ola-calor-protocolo-colegios-Sevilla_0_1692431466.html)
- [10] [https://www.cope.es/actualidad/espana/noticias/reduccion-horarios-comedor-transporte-que-medidas-contempla-calendario-escolar-ante-olas-calor-20220615\\_2143193](https://www.cope.es/actualidad/espana/noticias/reduccion-horarios-comedor-transporte-que-medidas-contempla-calendario-escolar-ante-olas-calor-20220615_2143193)
- [11] <https://www.canalextramadura.es/noticias/extremadura/varios-colegios-anuncian-la-reduccion-del-horario-lectivo-por-el-calor>
- [12] Nature-based solutions for local climate adaptation in the Basque Country. Methodological guide for their identification and mapping. Donostia/San Sebastián case study. Ihobe and Basque Government.
- [13] [life-mybuildingisgreen.eu](http://life-mybuildingisgreen.eu)
- [14] <https://es.weatherspark.com/y/33291/Clima-promedio-en-Solana-de-los-Barros-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-PrecipitationProbability>

[15] <http://www.eclipse-mechanism.eu/>

[16] El-Hames, A.S., (2012). An empirical method for peak discharge prediction in ungauged arid and semi-arid region catchments based on morphological parameters and SCS curve number. *J. Hydrol.* 456, 94–100.

[17] Kadam, A.K., Kale, S.S., Pande, N.N., Pawar, N., Sankhua, R., (2012). Identifying potential rainwater harvesting sites of a semi-arid, basaltic region of western India, using SCS-CN method. *Water Resources Manage.* 26, 2537–2554.

[18] Singh, P.K., Yaduvanshi, B.K., Patel, S., Ray, S., (2013). SCS-CN Based Quantification of potential of rooftop catchments and computation of ASRC for rainwater harvesting. *Water Resources Manage.* 27, 2001–2012.

[19] SCS National Engineering Handbook. USDA. Natural Resources Conservation Service.

[20] Martínez de Azagra Paredes, A., Navarro Hevia, J. *Hidrología forestal: El ciclo Hidrológico.* Valladolid: Secretariado de Publicaciones, Universidad, 1996. ISBN: 84-7762-588-3