

Guía de buenas prácticas-LIFE

myBUILDINGisGREEN

LIFE17 CCA/ES/000088

2018 - 2024

my building is green
A LIFE PROJECT

CSIC REAL JARDÍN BOTÁNICO Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja CARTIF DIPUTACIÓN DE BADAJOZ Porto. ALENTEJO CENTRAL

DATOS DEL PROYECTO

Lugares Évora (Alentejo Central, Portugal) Oporto (Norte, Portugal)	Solana de los Barros (Extremadura, España)
Fecha de inicio	01/09/2018
Fecha de finalización	29/02/2024
Duración	66 meses
Presupuesto total	2.854.102 €
Contribución de la UE	1.697.369 €
(%) de los costes subvencionables	59,99
Organismo coordinador	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Organizaciones beneficiarias	Fundación CARTIF, Diputación de Badajoz, Ayuntamiento de Oporto, Mancomunidad Intermunicipal del Alentejo Central
Persona de contacto	Miguel Vega
E-mail	miguel.vega@rjb.csic.es
Página web del proyecto	https://life-mybuildingisgreen.eu/

Cualquier pregunta relativa a este informe debe dirigirse a:

Andrea Gonçalves
Técnico superior en CIMAC

Comunidad Intermunicipal del Alentejo Central (CIMAC)
Rua 24 de Julho, n.º1 7000-673, Évora, Portugal
Tel: +351 266 749 420
Correo electrónico: andrea.n.goncalves@cimac.pt

Fecha del documento: febrero de 2024
Tipo de licencia: CC BY

RESUMEN

El proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN consiste en el diseño, desarrollo y aplicación de soluciones innovadoras basadas en la naturaleza (NBS) y se basa en la necesidad de aumentar la resiliencia de los edificios educativos y sociales frente a fenómenos climáticos extremos, concretamente las olas de calor y los cambios en los patrones de precipitaciones anuales y estacionales, mejorar el confort bioclimático y promover el bienestar de sus usuarios.

El principal objetivo de esta Guía de Buenas Prácticas es reunir las lecciones aprendidas durante el proyecto, identificar los puntos positivos de las soluciones aplicadas, las dificultades encontradas y cómo se resolvieron, y destacar los problemas que aún quedan por resolver.

Los resultados del proyecto apuntan al potencial de las NBS para acelerar el proceso de adaptación de los edificios al cambio climático, haciéndolos más resilientes. Los resultados también constituyen una sólida contribución a la creación de pruebas capaces de promover políticas y estrategias de intervención para edificios que integren NBS.

Los resultados del proyecto, junto con las lecciones aprendidas y sistematizadas en este documento, pueden arrojar luz sobre un conjunto de buenas prácticas para la implantación de NBS a tener en cuenta en futuros proyectos de intervención en edificios educativos, sociales u otros, potenciando la difusión del conocimiento y la replicabilidad de los prototipos desarrollados en este proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6

2. LOS TRES EDIFICIOS PILOTO DEL PROYECTO LIFE-myBUILDINGisGREEN 10

2.1. ESCUELA PRIMARIA GABRIELA MISTRAL (BADAJOZ, ESPAÑA) 11

LOS PROTOTIPOS DE NBS INSTALADOS 12

Cubierta verde | Prototipos de cubierta extensiva y cubierta fría 12

Sombreado de fachadas | Prototipo FAVE 13

Muro verde de interior | Prototipo de jardín vertical 14

Sombreado exterior | Prototipo PEVE 15

Pavimentos permeables| Prototipo SUVE 15

RESULTADOS: ASPECTOS POSITIVOS y PROBLEMAS IDENTIFICADOS 16

Buenas prácticas y aspectos positivos 16

Problemas detectados y sus soluciones 19

Defectos y problemas sin resolver 20

2.2. ESCUELA BÁSICA HORTA DAS FIGUEIRAS (ÉVORA, PORTUGAL) 21

LOS PROTOTIPOS DE NBS IMPLEMENTADOS 22

Tejado verde | prototipo mBIGWTray 22

Fachada verde | Prototipo mBIGToldo 24

Techo verde | Estructura de cables de acero con enredadera trepadora 25

Otras NBS 25

RESULTADOS: ASPECTOS POSITIVOS y PROBLEMAS IDENTIFICADOS 26

Buenas prácticas y aspectos positivos 26

Problemas detectados y sus soluciones 27

Defectos y problemas sin resolver 29

2.3. Escuela Primaria Falcão (Oporto, Portugal) 29

LOS PROTOTIPOS NBS IMPLEMENTADOS 30

Tejado verde | Prototipo de biotejado solar 30

Tejado verde | prototipo mBiGUL 31

Cubierta verde | Prototipo mBiGUL - cubierta inclinada 31

Fachada verde | Estructura de cables de acero 32

Otras NBS 32

RESULTADOS: ASPECTOS POSITIVOS y PROBLEMAS IDENTIFICADOS 33

Buenas prácticas y aspectos positivos 33

Problemas detectados y sus soluciones 34

Defectos y problemas sin resolver 36

3. CONCLUSIÓN: LECCIONES APRENDIDAS Y BUENAS PRÁCTICAS 37

Ventajas y buenas prácticas 37

Limitaciones 40

Conclusión 41

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN se enmarca en un contexto de reconocer al cambio climático como uno de los retos medioambientales, sociales y económicos más graves a los que se enfrentan las poblaciones actuales y futuras, y ocupa un lugar prioritario en las agendas políticas europea y mundial.

Cambio climático en España y Portugal

Las regiones de España y Portugal vienen sufriendo de forma acusada los efectos del cambio climático.

La caracterización climática y las tendencias registradas en las zonas cubiertas por el proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN, Badajoz, en Extremadura, España, y el Alentejo Central y el Municipio de Oporto, ambos en Portugal, revelan una tendencia al alza de las temperaturas medias anuales, un aumento de los días de calor extremo y de los días de ola de calor al año, así como una disminución del porcentaje de precipitaciones anuales asociadas a fenómenos pluviométricos ocasionales pero extremos.

También se analizaron los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5[1] , y se prevé un empeoramiento de las tendencias en las tres regiones estudiadas. En el caso de Extremadura, las proyecciones indican que las temperaturas máximas podrían aumentar hasta 6 ºC de aquí a 2100, y que la duración de las olas de calor podría aumentar en 20 días al año. En el caso del Alentejo Central, hay un aumento de la temperatura media anual de 2,7°C, un aumento del número de días de olas de calor de 12 o 24 días más al año, respectivamente, para el RCP 4.5 y el RCP 8.5, a finales de siglo, y una disminución de alrededor del 18% de las precipitaciones anuales. Por lo que respecta a la región de Oporto, los escenarios futuros prevén un aumento de las temperaturas de hasta 5 ºC al año y una disminución media anual de las precipitaciones de hasta el 22% para finales del siglo XXI.

La reducción de las precipitaciones, el aumento del número de días de sequía y también el aumento de las olas de calor son riesgos con futuros impactos y vulnerabilidades en los diversos

[1] *"Los escenarios RCP (Representative Concentration Pathways) se refieren a la parte de las trayectorias de concentración que se extienden hasta 2100, para las que los modelos de evaluación integrados producen escenarios de emisiones correspondientes [IPCC, 2013]"* (Portal do Clima, Clima - Alterações Climáticas em Portugal. Disponible en: http://portaldoclima.pt/pt/o-projeto/glossario/c/ [09.02.2024]).

sectores de la actividad humana, que requieren la adopción de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático.

Proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN - marco de trabajo

En su Quinto Informe, el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* identifica las zonas urbanas como las que concentran la mayor parte de los riesgos mundiales derivados del cambio climático. También afirma que el proceso de adaptación al cambio climático puede acelerarse aplicando medidas para mejorar la resiliencia y promover el desarrollo sostenible.

En Europa, los edificios con funciones educativas y sociales se enfrentarán a múltiples retos en las próximas décadas, en particular se verán muy afectados por el cambio climático. En particular, las olas de calor y los cambios en los regímenes pluviométricos anuales y estacionales afectan considerablemente a la salud y el bienestar de los niños y los ancianos, principales usuarios de estas instalaciones. Estos efectos se están experimentando cada vez con mayor gravedad en el sur de Europa.

En este contexto, un grupo de socios de la Península Ibérica[2] diseñaron el proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN y lo solicitaron al programa LIFE de la Unión Europea, con el objetivo de diseñar, desarrollar e implementar un conjunto de soluciones innovadoras basadas en la naturaleza (NBS) para aumentar la resiliencia de los edificios ante los fenómenos meteorológicos extremos cada vez más recurrentes, promoviendo la mejora del confort bioclimático y el bienestar de sus usuarios.

El proyecto pretende, por tanto, aportar pruebas que lleven a promover políticas y estrategias de intervención en edificios que integren NBS, reduciendo el uso de sistemas activos de climatización y reduciendo así el consumo energético asociado.

[2] El consorcio está liderado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, a través del Real Jardín Botánico y el apoyo técnico del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, y cuenta con el centro tecnológico CARTIF, la *Diputación* de Badajoz, la Mancomunidad Intermunicipal del Alentejo Central y el Ayuntamiento de Oporto como socios beneficiarios.

Adaptación al cambio climático en el sector de la construcción

El proyecto se centra en el sector de la construcción, concretamente en los edificios que albergan a la población más vulnerable a los efectos del cambio climático, utilizando tres edificios piloto: la Escuela Primaria Gabriela Mistral, situada en Solana de los Barros, Badajoz (España); la Escuela Primaria Horta das Figueiras, en Évora (Portugal); y la Escuela Primaria Falcão, en Oporto (Portugal).

El sector de la construcción ha experimentado una rápida evolución, tanto en materiales como en técnicas y métodos constructivos, con un aumento de las soluciones innovadoras, muchas de ellas de carácter tecnológico. En términos de adaptación y mitigación del cambio climático, este sector ha ido integrando el concepto de circularidad en los procesos de diseño, construcción, mantenimiento y desmantelamiento o demolición de edificios. Al mismo tiempo, se están adoptando cada vez más medios mecánicos para regular la temperatura interior de los edificios, utilizando equipos más eficientes y energías renovables. Sin embargo, aunque se han dado pasos igualmente prometedores en lo que respecta a la integración de medidas pasivas y NBS en la rehabilitación y construcción de nuevos edificios, en Portugal y España todavía no forman parte de la corriente principal del sector de la construcción. Existe un desconocimiento generalizado por parte de los profesionales del sector de la construcción (promotores, diseñadores, arquitectos e ingenieros, empresas constructoras y responsables de la gestión y el mantenimiento de los edificios), así como una escasez de mano de obra cualificada. En este contexto, los costes asociados a la aplicación de las NBS innovadoras se califican actualmente de elevados, lo que disuade de su utilización.

El proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN se diseñó, por tanto, para dirigirse directamente al sector de la construcción y a sus profesionales, y los tres edificios piloto constituyeron verdaderos casos de estudio. La evaluación del estado de construcción de los edificios piloto en términos de estructura, capacidad de carga, impermeabilización y eficiencia energética permitió recopilar datos valiosos para el diseño de prototipos basados en la naturaleza, como las medidas de resiliencia y adaptación al clima que se aplicarían en estos edificios. A su vez, las NBS implantadas, su seguimiento y evaluación permiten comprobar su aplicación real en rehabilitación y construcción, y valorar su viabilidad como soluciones alternativas de adaptación climática.

En este proyecto se estudiaron las NBS para edificios con el fin de promover una construcción sostenible y eficiente desde el punto de vista climático. La atención se centró en soluciones innovadoras para realizar cubiertas, techos y fachadas verdes. Las soluciones prototipo, que se

aplicaron y probaron en los tres edificios piloto, permitieron crear laboratorios de pruebas y aprendizaje para su posterior reproducción.

Guía de buenas prácticas

El principal objetivo de esta Guía de Buenas Prácticas es reunir las lecciones aprendidas durante el proyecto, identificar los puntos positivos de las soluciones aplicadas, las dificultades encontradas y su resolución, así como los problemas que aún quedan por resolver.

Para alcanzar sus objetivos, esta Guía de Buenas Prácticas tiene una estructura dividida en tres partes: esta introducción, un capítulo de desarrollo titulado *"Los tres edificios piloto del proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN",* y la conclusión, donde se discutirán los principales resultados del proyecto, destacando las principales lecciones aprendidas y las recomendaciones futuras. El capítulo de desarrollo está organizado en tres subcapítulos, cada uno dedicado a uno de los edificios piloto del proyecto. A su vez, cada uno de estos subcapítulos se estructura en función de los siguientes puntos: *"Los prototipos NBS implementados"*, que describe las soluciones basadas en la naturaleza diseñadas e instaladas en cada edificio; y, *"Resultados: aspectos positivos y problemas identificados"*, que describe las "*Buenas prácticas y aspectos positivos", los "Problemas identificados y sus soluciones" y los "Fallos y problemas a resolver"* en cada una de las fases de implementación de este proyecto LIFE, *"Planificación", "Ejecución"* y *"Resultados"*. En otras palabras, el objetivo era reunir las lecciones aprendidas, centrándose en los prototipos NBS, desde su concepción, instalación in situ, respectivo mantenimiento y resultados alcanzados, destacando los principales retos, factores de éxito y recomendaciones para la difusión de conocimientos y replicabilidad.

2. LOS TRES EDIFICIOS PILOTO DEL PROYECTO LIFE-myBUILDINGisGREEN

Las NBS, tal y como las define la Comisión Europea, son "*soluciones inspiradas en la naturaleza y apoyadas por ella que aportan beneficios económicos, medioambientales y sociales al tiempo que contribuyen a aumentar la resiliencia. Estas soluciones aportan más diversidad de naturaleza y recursos y procesos naturales a ciudades, paisajes y humedales mediante intervenciones sistémicas, eficientes y adaptadas al contexto* local"[3] .

En el contexto urbano, las NBS empiezan a ganar protagonismo como medida de adaptación al cambio climático, implantándose tanto en espacios públicos como en edificios.

En cuanto a los edificios, el predominio de la aplicación de las NBS se ha producido a nivel de cubiertas y fachadas verdes. La apuesta por la creación de cubiertas verdes que se ha visto en muchas ciudades europeas tiene su origen en una tendencia creciente en la nueva construcción a optar por cubiertas planas o de baja pendiente, que facilitan la fijación del sustrato a la losa del tejado, condición necesaria para el crecimiento y desarrollo de especies vegetales. Tanto los tejados como las fachadas verdes permiten ganar en eficiencia energética gracias a sus múltiples capas, que contribuyen a una mayor protección térmica de los materiales de construcción y garantizan una menor amplitud térmica en el interior del edificio. Además, existe una demanda creciente de materiales y recursos más sostenibles.

El proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN, como ya se ha mencionado, pretende diseñar y desarrollar NBS innovadoras, centrándose en su implantación en instalaciones sociales y educativas, ya que son éstas las que albergan a las poblaciones más vulnerables a los fenómenos meteorológicos extremos.

Para ello, se definieron una serie de criterios constructivos, medioambientales, sociales y económicos para la selección de los tres edificios piloto del proyecto. En resumen, a nivel constructivo y medioambiental, se dio prioridad a los edificios con cubiertas planas y horizontales (o con una ligera pendiente, con un máximo del 5 al 10%), en buen estado de conservación, sin necesidad de obras previas a la instalación del NBS, con una superficie disponible para la instalación de una fachada verde, así como espacio exterior para crear una zona de sombra, plantar árboles e instalar drenajes y pavimentos permeables. Al mismo tiempo, se dio prioridad a la elección de edificios con características constructivas más exigentes desde el punto de vista térmico, con el fin de controlar y medir los resultados de la instalación de NBS.

[3] Comisión Europea - Investigación e innovación. Disponible en: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en [09.02.2024]).

También se dio prioridad a los edificios de los años setenta, cuando hubo un *boom de* la construcción, sobre todo escuelas con características similares, lo que aumentará el potencial de replicabilidad.

Se eligieron tres escuelas: la Escuela Primaria Gabriela Mistral (Badajoz, España); la Escuela Primaria Horta das Figueiras (Évora, Portugal); y la Escuela Primaria Falcão (Oporto, Portugal).

Para estos edificios se desarrollaron proyectos arquitectónicos y especializados, incluido el diseño de prototipos NBS, cuyo objetivo es mejorar el bienestar y el confort térmico en el interior, reducir el consumo de energía para refrigeración, optimizar el consumo de agua para riego, mejorar la calidad del aire y aumentar la biodiversidad.

2.1. ESCUELA PRIMARIA GABRIELA MISTRAL (BADAJOZ, ESPAÑA)

Tras un proceso de selección, la *Diputación* de Badajoz, a través del Área de Desarrollo Rural y Sostenibilidad, eligió el CEIP Gabriela Mistral de Solana de los Barros como edificio piloto para la instalación de prototipos y soluciones de adaptación a las consecuencias del cambio climático, concretamente las derivadas de las olas de calor, que tienen un mayor impacto en los usuarios más vulnerables de los edificios, en este caso los niños.

La escuela en cuestión tiene unas características que se consideran ideales para probar y experimentar la implantación de NBS, así como un conjunto de medidas pasivas de sombreado y ventilación. La escuela consta de un edificio central más antiguo con tejado a dos aguas y un cuerpo nuevo, construido en 2006, con tejados planos a distintos niveles, capaces de albergar NBS para crear cubiertas verdes. Los dos edificios están interconectados por un pasillo acristalado, que no tenía ningún tipo de protección solar y que la escuela apodó el "pasillo del infierno", dadas las altas temperaturas que se alcanzaban en su interior como consecuencia del efecto invernadero, lo que requería una intervención capaz de mitigar el calentamiento extremo del interior.

LOS PROTOTIPOS DE NBS INSTALADOS

Cubierta verde | Prototipos de cubierta extensiva y cubierta fría

El proyecto estableció diferentes tipologías que se probarían en los distintos niveles de cubierta del edificio. Se combinaron soluciones de cubiertas verdes extensivas, con sustratos mejoradosque utilizan áridos reciclados como parte del sustrato o lana de roca, y soluciones consistentes en cubiertas elevadas para crear "cubiertas frías".

La rehabilitación consistió en retirar el sistema de cubierta invertida existente (grava, manta geotextil, aislamiento térmico y la última manta geotextil de separación), dejando al descubierto la impermeabilización, que también fue sustituida.

Así, la nueva solución de cubierta verde extensiva consta de una capa impermeabilizante de lámina sintética de PVC, a la que se superpone una capa drenante con características específicas para garantizar el funcionamiento de la solución, y pantallas antiraíces. La solución también incluye perfiles metálicos que separan los distintos tipos de cubierta verde que se van a implantar y probar. Por último, el sustrato se extiende con un espesor mínimo de 10-12 centímetros, la profundidad necesaria para que se desarrollen las raíces de las especies vegetales. En algunas de las zonas de la cubierta no rellenas de sustrato se colocaron bandejas elevadas con plantas, creando una cámara de aire, lo que permite crear los llamados "tejados frescos".

Los distintos niveles del tejado de la escuela también incluyen los pasillos necesarios para su mantenimiento y uso como recurso didáctico.



Figura 1 Aplicación de la impermeabilización con película de PVC.



Figura 2 Separación de perfiles metálicos.



Figura 3 Implantación de un sistema de riego.



Figura 4 Implantación de "techos fríos".



Figura 5 Extensa cubierta vegetal.



Figura 6 Bandejas plantadas. "Techos frescos.

Sombreado de fachadas | Prototipo FAVE

El prototipo de Fachada Vegetal (FAVE) se concibió como una subestructura fijada a la fachada que soporta la plantación de especies vegetales de hoja caduca (en este caso, se eligieron dos especies de vides vírgenes: *Parthenocissus tricuspidata* y *P. quinquefolia*), permitiendo la entrada de luz solar durante el invierno y proporcionando sombra en verano. Se trata de un sistema modular y desmontable compuesto por una estructura tridimensional, con perfiles metálicos de dimensiones normalizadas y fijaciones atornilladas, lo que facilita su reproducción y utilización en diferentes edificios. El sistema FAVE se implantó en las fachadas de la planta baja, pero también en las fachadas del primer piso, en el tejado de la planta inferior. En estas situaciones, los soportes del sistema se colocaron encima de los perfiles metálicos de separación, por encima de la impermeabilización.

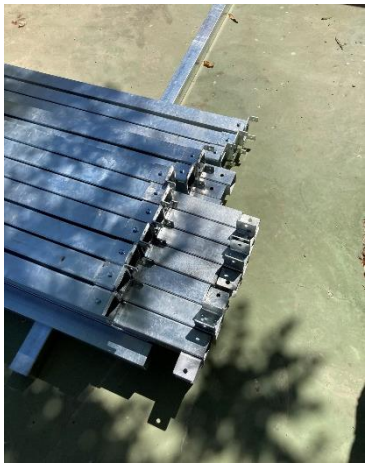


Figura 8 Prototipo FAVE. Perfiles metálicos.



Figura 7 Prototipo FAVE en la planta baja.



Figura 9 Prototipo FAVE en el tejado.



Figura 10 Prototipo FAVE.



Figura 11 Prototipo FAVE.

Muro verde de interior | Prototipo de jardín vertical

Se ha instalado un prototipo de jardín vertical en el interior del llamado "pasillo del infierno", que conecta los dos volúmenes del edificio escolar, con el objetivo de refrescar el ambiente mediante la evapotranspiración de las plantas. Este tipo de instalación también absorbe CO2 del ambiente, mejorando la calidad del aire. También hay un componente estético, visual, ya que se sabe que la presencia de la naturaleza como revestimiento mural en el interior de los edificios tiene efectos psicológicos positivos en sus ocupantes.



Figura 12 Jardín vertical de interior.

Sombreado exterior | Prototipo PEVE

En el exterior, los módulos de sombreado consisten de pérgolas verdes, conocidas como sistema PEVE. El prototipo PEVE consiste en una estructura metálica modular que soporta el crecimiento de vegetación trepadora, utilizando las mismas especies caducifolias que el sistema FAVE.



Figura 13 Prototipo PEVE.

Pavimentos permeables| Prototipo SUVE

El prototipo SUVE se diseñó para crear suelos vegetados drenantes que minimizaran el flujo de aguas pluviales vertidas directamente a los sistemas municipales de alcantarillado y, por el contrario, aumentaran su infiltración en el suelo.

En el colegio de Solana se combinaron zonas continuas de hormigón poroso y zonas con pavimento de piedras "filtrantes". En ambos casos el agua de lluvia se filtra en el terreno a través de una zanja y un pozo filtrante, aliviando el vertido a la red de alcantarillado y evitando el tratamiento innecesario de esta agua, así como el consumo energético correspondiente.



Figura 14 Prototipo SUVE.

RESULTADOS: ASPECTOS POSITIVOS y PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Buenas prácticas y aspectos positivos

Planificación

⇒ La adecuada planificación previa, definiendo las actividades prioritarias y su plazo máximo de ejecución, permitió obtener a tiempo las licencias y autorizaciones necesarias.

⇒ La correcta identificación de los implicados en el proyecto, sobre todo de los que tienen poder de decisión para su realización, permitió implicarlos de antemano y agilizar la toma de decisiones. No menos importantes son las partes interesadas que, aunque no tengan poder de decisión directo en el proyecto, pueden retrasarlo o entorpecerlo, o poner en peligro las relaciones entre las partes y, por tanto, perjudicar el proyecto, por lo que era importante implicarlas en las primeras fases. En este proceso de implicación de las partes interesadas, los usuarios cotidianos del edificio participaron desde el principio, lo que garantizó su compromiso con el éxito del proyecto durante todo su ciclo de vida.

⇒ El correcto diseño de proyectos arquitectónicos y especializados es fundamental para la construcción. El mayor grado de detalle contribuye al éxito de la obra. No hay que subestimar el tiempo dedicado a la elaboración del proyecto arquitectónico y de especialidades. Una mayor inversión en esta fase minimizará los imprevistos en la fase de construcción posterior. La especificidad de la obra (cubiertas verdes y sistemas de sombreado con NBS) requiere un estudio de mercado previo y exhaustivo durante la elaboración del proyecto. Poniéndose en contacto con profesionales del sector, es posible obtener de antemano las condiciones y presupuestos de ejecución que deberán integrarse en el proyecto, junto con las demás intervenciones necesarias para la realización de la obra. De este modo, es posible evitar posibles licitaciones desiertas, así como minimizar los imprevistos durante la ejecución de las NBS y los consiguientes sobrecostes presupuestarios.

⇒ La implantación de cubiertas verdes requiere un estudio de capacidad de carga para cada caso. En el caso del colegio de Solana de los Barros, la carga añadida sobre la cubierta del edificio como consecuencia de la nueva solución, es decir, la introducción del sustrato, se compensó eliminando la capa protectora de grava existente. Si la estructura tiene capacidad para soportar el aumento de carga, se pueden utilizar mayores espesores de sustrato, lo que posibilita el crecimiento de otras especies de mayor tamaño.

Ejecución

⇒ La elección del PVC tiene ventajas sobre la tela asfáltica, ya que ésta contiene componentes orgánicos que atraen a las plantas. A medio y largo plazo, las raíces de las plantas, en busca de componentes orgánicos en la lámina asfáltica, podrían penetrar en la lámina antiraíces y acabar extendiéndose horizontalmente por la cubierta, especialmente cerca de los desagües, donde se concentra el agua, atascando el sistema de drenaje de la cubierta con los consiguientes riesgos de sobrecarga, filtraciones y otras patologías constructivas.

⇒ Todos los prototipos, en cubiertas, fachadas y pérgolas exteriores, requieren un sistema de riego por goteo, diseñado en función de la distribución prevista de las plantas. El sistema de riego es un elemento fundamental en todo el complejo NBS, especialmente en el clima de Badajoz. Aunque se han buscado plantas con bajos requerimientos hídricos, para garantizar el crecimiento de las especies es necesario un adecuado aporte de agua que no dependa exclusivamente de la pluviometría, especialmente en los primeros años. El sistema implantado es programable y permite la incorporación de fertilizantes para facilitar el crecimiento de las plantas. La instalación cuenta también con un sistema de recogida y almacenamiento del agua de lluvia y de los excedentes de riego para su reutilización.

⇒ De acuerdo con la normativa, la impermeabilización debe probarse mediante inundación con los desagües cubiertos temporalmente durante al menos 48 horas para comprobar si hay fugas o problemas antes de proceder con las siguientes capas de la cubierta.



Figura 15 Prueba de estanqueidad por inundación.

⇒ Los primeros momentos tras la plantación de las especies son especialmente delicados. Dependiendo de la época del año en la que se vayan a plantar, hay que prestar especial atención a que los sistemas de riego estén totalmente implantados y en pleno funcionamiento, garantizando la supervivencia de las especies recién plantadas, sobre todo en épocas calurosas.

⇒ Supervisar el trabajo al menos semanalmente, siguiendo el plan de trabajo establecido, permite observar desviaciones y tomar medidas.

Resultados

⇒ Tras la finalización de las obras de implantación del NBS en la escuela, en el primer año de seguimiento del edificio se observaron descensos de temperatura de entre el 8 y el 11% en relación con las temperaturas originales medidas en el interior. Las imágenes termográficas también mostraron considerables diferencias de temperatura en la superficie entre el tejado convencional con acabado de grava, en el que las temperaturas alcanzaron hasta 48 °C, y el tejado verde, en el que las temperaturas de la superficie descendieron hasta 29 °C.

⇒ El resultado estético de las diferentes aplicaciones es muy atractivo, cambiando el aspecto de la fachada.

⇒ El edificio tiene además la particularidad de que los tejados pueden ser visitados por niños, por lo que pueden utilizarse como recurso educativo para mostrar las diferentes NBS, como medida de adaptación al cambio climático.

⇒ Como el prototipo de sombreado de fachadas FAVE es un sistema modular, desmontable y flexible, puede reproducirse en otros edificios.

Problemas detectados y sus soluciones

Ejecución

⇒ Uno de los problemas detectados ha sido la falta de empresas locales especializadas en la implantación de NBS en cubiertas de edificios, y la solución pasa por hacer un sondeo de este tipo de empresas en todo el país.

⇒ Hubo una falta de implicación por parte de la empresa constructora durante la ejecución del NBS, un problema que, para ser superado, requirió reuniones periódicas para garantizar su compromiso con el buen fin del proyecto.

⇒ Faltaban empresas de mantenimiento especializadas en el control del riego por NBS, que es crucial para implantar sistemas automatizados. Este control, ya sea a distancia o presencial, requiere un conocimiento especializado del funcionamiento de los sistemas y de los equipos de programación, que sólo tienen los instaladores autorizados por las marcas. Esta limitación requiere un estudio de mercado en profundidad en todo el país de las empresas especializadas en el mantenimiento de NBS, lo que permitirá también adaptar los procedimientos de contratación pública a las especificidades del objeto del contrato.

Resultados

⇒ El éxito de las NBS requiere una vigilancia constante y un mantenimiento especializado, especialmente durante las estaciones cálidas, para garantizar un riego adecuado y la presencia del agua necesaria. Una previsión imprecisa de los plazos de contratación de los servicios de mantenimiento posteriores puede crear limitaciones. Del mismo modo, es necesario reelaborar los planes de trabajo y mantenimiento para hacerlos más realistas y, por tanto, realizables.

⇒ Los problemas de adaptación al medio y ubicación en el edificio de algunas de las especies seleccionadas podrían solucionarse sustituyéndolas, recurriendo a viveros municipales o adquiriendo otras especies vegetales a empresas externas del sector.

Defectos y problemas sin resolver

Ejecución

⇒ Los problemas de relación entre el contratista y los subcontratistas pueden acarrear pérdidas para el propietario del edificio, el consumidor final. Se denuncia el problema relacionado con el subcontratista que instaló el "control de riego cerrado". Debido al impago del contratista al subcontratista, este último utilizó el control de riego como coerción para resolver la disputa, lo que provocó pérdidas para el propietario, que no pudo obtener el control de riego. Este tipo de cuestiones requiere una relación más estrecha entre subcontratistas y contratistas, con el fin de desbloquear el acceso al controlador de riego. En este contexto, queda por resolver la necesidad de contratar la implantación de un contador para controlar el consumo de agua, así como los futuros servicios de mantenimiento, garantizando que éstos incluyan el control del riego.

Resultados

⇒ El rendimiento de la maceta realizada para el sistema de sombreado de fachada FAVE, y la especie seleccionada (viña virgen), no está funcionando como se esperaba. Las plantas no crecen correctamente. Se sigue evaluando esta situación, en particular con el asesoramiento del Real Jardín Botánico, a fin de proponer medidas para resolver este problema.

⇒ La instalación de los toldos verdes (rociados con una mezcla de sustrato y semillas) no tuvo éxito. Los fallos detectados se debieron a la inadaptación al clima local, a la ejecución inadecuada del sistema por parte del proveedor o al propio diseño del prototipo, que no se adaptaba a las condiciones existentes.



Figura 16 Toldos verdes "secos".

Cabe destacar que la vegetación se secó justo al principio de la instalación, durante un fin de semana, probablemente debido a fallos en el riego instalado. Se trata de una solución muy sensible a la falta de agua, sobre todo durante su desarrollo inicial. El problema sigue sin resolverse. Por tanto, hay que valorar la solución a adoptar: insistir, probando una nueva especie en los toldos; o prescindir de su naturalización, permitiendo que sigan realizando la labor de sombreado por sí solos, sin necesidad de incorporar especies vegetales, evitando este consumo de agua.

2.2. ESCUELA BÁSICA HORTA DAS FIGUEIRAS (ÉVORA, PORTUGAL)

La Escuela Primaria Horta das Figueiras, situada en la ciudad de Évora, fue el edificio piloto seleccionado por CIMAC entre una serie de otros edificios del distrito de Évora tras el respectivo análisis multicriterio para la implantación de NBS innovadoras.

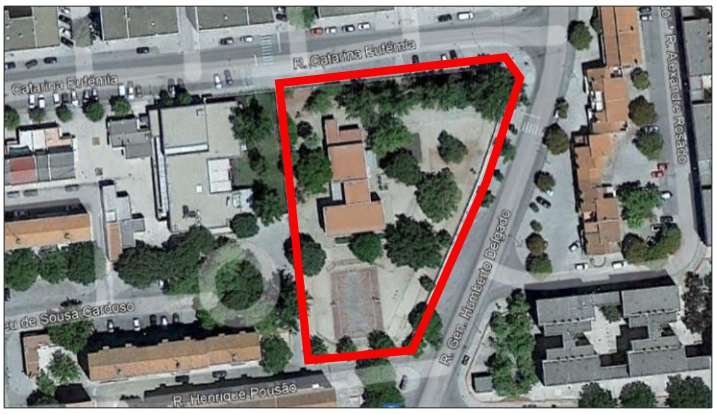


Figura 18 Ubicación de la Escuela Primaria de Horta das Figueiras.



Figura 20 Fachada sur antes de la implantación del NBS.



Figura 19 Fachada este antes de la implantación del NBS.

Para llevar a cabo la intervención en la escuela se llevó a cabo un procedimiento de contratación pública de los servicios de arquitectura y diseño especializado necesarios, que darían cabida a los prototipos NBS desarrollados por CARTIF. El proyecto incluye intervenciones NBS en el tejado y las fachadas del edificio, así como una serie de intervenciones en el patio exterior de la escuela.

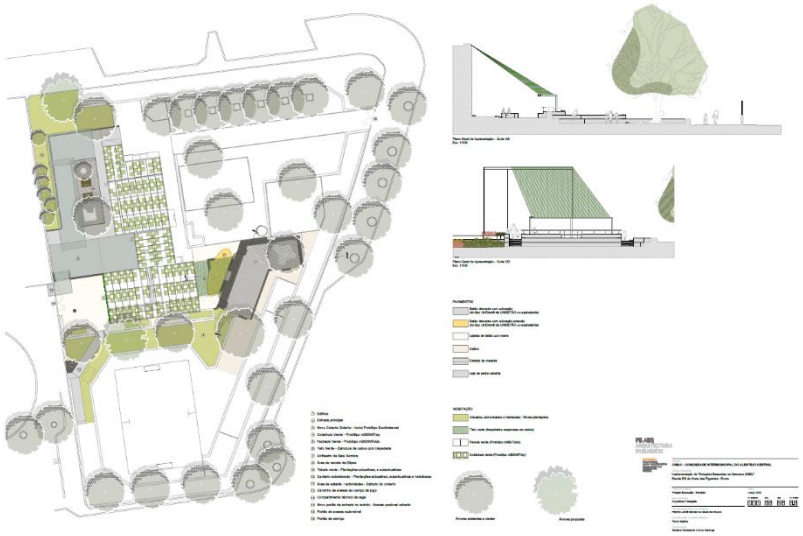


Figura 21 Proyecto redactado por P.B-Arquitetura Paisagista, Lda.

LOS PROTOTIPOS DE NBS IMPLEMENTADOS

Tejado verde | prototipo mBIGWTray

Para realizar la cubierta vegetal, se diseñó el prototipo mBIGWTray, que se instalará sobre una estructura metálica elevada apoyada en la estructura del edificio. Esta solución garantiza que las cargas adicionales resultantes de la instalación de los prototipos no exijan directamente la cubierta del tejado, permite un mejor drenaje, evitando posibles acumulaciones de agua y la sobrecarga de la estructura, y también garantiza la existencia de una "cámara de aire" entre los prototipos y el tejado del edificio, lo que ofrece ventajas desde el punto de vista térmico.

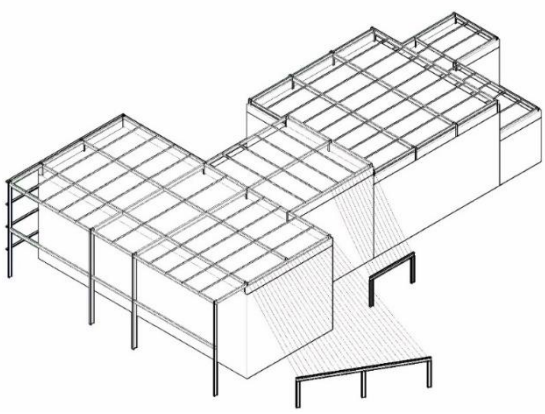


Figura 22 Modelo 3D de la estructura metálica que soporta la cubierta vegetal.



Figura 24 Estructura metálica. Fachada sur.



Figura 23 Estructura metálica. Cubierta.

El prototipo mBIGWTray consta de unidades modulares. Cada módulo consta de una bolsa (lámina de PVC reforzado con fibra de vidrio), que se rellena con varias capas: una bandeja de drenaje (fabricada con polietileno de alta densidad), una manta de retención (geotextil no tejido fabricado con fibras de poliéster reciclado y polipropileno reciclado, acopladas mecánicamente mediante un proceso de afilado), una lámina geotextil (antisuelo de alta resistencia) y un sustrato de cubierta ajardinada. En la parte superior de la "bolsa" hay aberturas para plantar las especies vegetales que, en el caso de la escuela de Évora y dado el clima del Alentejo, son del tipo *sedum*. El sistema permite recoger el agua de lluvia a través de la solapa lateral elevada de la bolsa y retenerla en su interior, reduciendo la necesidad de riego auxiliar. Las bolsas del sistema mBiGWTray se distribuyen por toda la cubierta, en un porcentaje aproximado del 40 al 50%, de forma que se forma un damero de verde lleno y vacío, pero que, a medio plazo, se espera que se complete casi en su totalidad en un manto verde continuo.

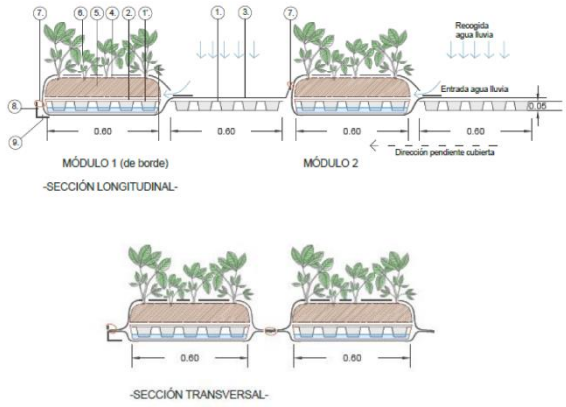


Figura 26 Esquema del módulo mBIGWTray desarrollado por CARTIF.



Figura 25 Módulo de prueba mBIGWTray.



Figura 28 Tejado verde. Prototipo mBIGWTray.



Figura 27 Tejado verde. Prototipo mBIGWTray.

Fachada verde | Prototipo mBIGToldo

Para la fachada oeste se diseñó el prototipo mBiGToldo, soportado por una estructura metálica solidaria con la estructura del tejado. Este prototipo se diseñó para crear superficies verticales con vegetación muy fina. El sistema consiste en una lámina impermeable a la que se adhiere un fieltro no tejido sobre el que se proyecta un sustrato sembrado. Debido al escaso grosor del sustrato, el riego hidropónico está integrado y se distribuye por gravedad sobre la superficie. En la parte inferior se integra un canal para recoger el agua sobrante, que se devuelve a la estación de riego, evitando así el derroche de agua.



Figura 29 Fachada oeste. Instalación de la estructura metálica de soporte del prototipo mBIGToldo.



Figura 30 Prueba del prototipo mBIGToldo.

Techo verde | Estructura de cables de acero con enredadera trepadora

En la fachada este la solución adoptada consiste en crear un tejado verde con un sistema de cables de acero que conectan las vigas instaladas en el tejado con las vigas de los pórticos instalados en el exterior. Estos cables sostienen la vegetación trepadora.



Figura 31 Estructura de cables de acero.

Otras NBS

Para aumentar la infiltración del agua se instaló un pavimento de tarima de madera suspendida que permite la permeabilización del suelo, y zonas con hormigón poroso. Se mantuvieron los parterres existentes y se realizaron nuevas plantaciones, sobre todo con especies autóctonas.



Figura 32 Pavimento exterior permeable. Instalación de tarima de madera suspendida.



Figura 33 Pavimento exterior permeable. Plataforma de madera suspendida.



Figura 35 Pavimento exterior permeable. Plataforma de madera suspendida.



Figura 34 Repoblación de los parterres existentes con especies autóctonas.

RESULTADOS: ASPECTOS POSITIVOS y PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Buenas prácticas y aspectos positivos

Planificación

⇒ La implicación de la comunidad escolar con la integración de las cuestiones medioambientales en las actividades extraescolares, así como las sesiones de codiseño, permitieron que el proyecto fuera asumido por sus usuarios.

⇒ El diseño del tejado verde, concretamente el sistema de cables de acero reticulado, proporcionará un mejor soporte a la vegetación trepadora a medida que crezca. Sin embargo, teniendo en cuenta que la vegetación trepadora tardará varios años en cubrir completamente toda la superficie generada por el sistema de cables, se consideró la instalación de pantallas microperforadas (en forma de cuadros) para garantizar el sombreado inmediato del espacio exterior y la fachada asociados. A medida que se desarrolle la vegetación, se retirarán las pantallas.

Ejecución

⇒ La implicación y motivación del contratista en la realización de los trabajos, así como su inversión en formación especializada, resultaron ser una baza para el éxito de la ejecución de los prototipos.

Resultados

⇒ Las intervenciones realizadas y la implantación de los distintos prototipos de NBS han dado como resultado una mejora estética y medioambiental del edificio escolar, haciéndolo más atractivo.

Problemas detectados y sus soluciones

Planificación

⇒ CIMAC es el promotor del proyecto en la escuela, pero el Ayuntamiento de Évora es su propietario. Esto exige una estrecha y atenta relación y comunicación entre ambas organizaciones, lo que no ocurría al inicio del proyecto. En consecuencia, cuando se finalizó el proyecto arquitectónico y de especialidades para la implantación del NBS, resultó que la intervención que se proponía para la escuela chocaba con un proyecto anterior del ayuntamiento para ampliarla. Por este motivo, hubo que modificar el proyecto, teniendo en cuenta las limitaciones de la integración de otros proyectos municipales y los requisitos de los respectivos equipos. Aunque la cuestión se resolvió y los proyectos para la escuela se hicieron compatibles, la situación provocó un retraso de 12 meses en la finalización del diseño del proyecto de implantación del NBS y un aumento de los costes para su realización (nuevo procedimiento de contratación pública con el equipo de diseño para elaborar la modificación del proyecto inicial).

⇒ Las dificultades en la contratación de obras públicas que han surgido en diversas situaciones obligan a planificar los procedimientos y a fijar plazos más precisos y coincidentes con la realidad. En el caso de las obras del colegio de Évora, estas dificultades provocaron que los procedimientos quedaran desiertos y se anularan, lo que culminó en un retraso en el inicio de las obras y en su finalización. La dificultad en la contratación de esta obra se debió a una serie de razones acumulativas, a saber:

- La crisis financiera de 2008, la pandemia de SARS-CoV-2 y el posterior estallido de la guerra en Ucrania, con consecuencias para el sector de la construcción que van desde la escasez de mano de obra hasta el aumento exponencial de las materias primas y los materiales de construcción, cuyo precio de base para iniciar el procedimiento resultó poco atractivo dada la realidad del mercado.

- Faltan empresas especializadas en implantar soluciones NBS innovadoras en el mercado portugués.
- El plazo establecido en el pliego de condiciones fue insuficiente para realizar las obras en cuestión.

⇒ La falta de un diagnóstico preciso del estado de conservación del edificio se reflejó en imprevistos en la obra, que llevaron a la necesidad de contratar trabajos adicionales, con los consiguientes retrasos en la ejecución del contrato.

Ejecución

⇒ Al principio hubo dificultades para gestionar las expectativas de los padres, sobre todo en lo relativo a la planificación de las obras, el traslado de dos de las cuatro clases a otra escuela durante un trimestre escolar, la delimitación de la obra y la realización de los trabajos al mismo tiempo que las actividades escolares. Este problema se subsanó con sesiones informativas para los padres sobre el calendario de las obras y los resultados positivos que se esperaban de la aplicación del NBS.

Resultados

⇒ El proyecto no tenía en cuenta la accesibilidad al tejado en las condiciones de seguridad necesarias para realizar las labores de mantenimiento. La solución identificada in situ consistió en instalar una línea de vida fijada a la estructura metálica del tejado para utilizarla durante las labores de mantenimiento.

⇒ El proyecto no incluyó un sistema de riego en el tejado por razones presupuestarias pero, para minimizar el problema, se dejó un punto de agua en el propio tejado, que permitirá conectar una manguera para el posterior riego manual. También se sensibilizó al Ayuntamiento de Évora sobre la cuestión del mantenimiento y el riego del NBS en el tejado, que en el futuro incluirá el necesario sistema de riego por goteo.

⇒ El retraso en la realización de los trabajos de implantación de las NBS impidió el seguimiento del impacto correspondiente. Esta acción se llevará a cabo durante el Plan After-LIFE, y se espera obtener datos medibles sobre el impacto de las soluciones implantadas en la escuela de Évora, lo que corroborará los respectivos beneficios.

Defectos y problemas sin resolver

Resultados

⇒ La difícil accesibilidad del tejado impide utilizarlo como recurso didáctico práctico para los niños.

2.3. Escuela Primaria Falcão (Oporto, Portugal)

La Escuela Básica de Falcão fue seleccionada como edificio piloto en la ciudad de Oporto. El Ayuntamiento seleccionó esta escuela en el contexto de la aplicación de una política de mejora del parque escolar de gestión municipal basándose en dos criterios principales de evaluación, a saber, la caracterización del edificio y la zona de inserción en la ciudad, tratando de destacar las zonas de la ciudad con condiciones económicas y sociales más vulnerables, al tiempo que sufren un mayor impacto del empeoramiento del cambio climático.

En cuanto a la edificación, la escuela está formada por dos edificios. Como consecuencia de su configuración, ubicación y entorno, el edificio presenta una gran amplitud térmica en su interior, siendo muy frío en invierno debido al exceso de humedad y a la sombra, y muy caluroso en verano debido a las fachadas acristaladas orientadas al sur.

Para este proyecto sólo se tuvo en cuenta el edificio principal, que alberga las aulas, la zona donde los niños pasan más tiempo.

Dada la selección de la Escuela Primaria de Falcão para el proyecto, surgió la oportunidad de mejorar todo el edificio con la intervención de la Dirección Municipal de Educación. Así, el proceso de intervención tuvo dos etapas diferentes, la primera para la mejora estructural y funcional, incluyendo la solución de los problemas de mala impermeabilización y aislamiento de la cubierta del edificio, y la instalación de NBS, incorporado en la metodología y la aplicación de LIFE-myBUILDINGisGREEN.

A continuación se incorporaron los prototipos NBS diseñados para esta escuela, lo que dio lugar a la creación de 700 m^2 de superficie permeable en la cubierta y a la instalación de 60 paneles fotovoltaicos para producir electricidad destinada al autoconsumo con el fin de reducir la factura energética.

Como complemento de los tejados, se creó una fachada verde de dos plantas para reducir la exposición al sol durante el verano.



Figura 36 Escuela Primaria Falcão.

LOS PROTOTIPOS NBS IMPLEMENTADOS

Tejado verde | Prototipo de biotejado solar

El prototipo Solar Bio Roof es un tejado verde clásico adaptado para alojar paneles fotovoltaicos. La inclusión de los paneles en el diseño es el resultado de una iniciativa del Ayuntamiento de Oporto, junto con la Agencia de la Energía de Oporto y la Empresa Municipal de la Vivienda, Domus Social, para instalar sistemas de producción de energía renovable en edificios de gestión municipal.

Este prototipo consta de las siguientes capas, desde la base de la losa hasta la cubierta vegetal: capa de impermeabilización y manta antiraíces; elemento de drenaje; filtro para evitar filtraciones del sustrato y obstrucción de los canales de drenaje; grava para facilitar el drenaje; sustrato y vegetación.



Figura 37 Prototipo de biotecho solar.



Figura 38 Prototipo de biotecho solar.

Tejado verde | prototipo mBiGUL

El prototipo mBiGUL es una solución adaptada del sistema desarrollado en el marco del proyecto Green Urban Living. La solución mBiGUL tiene una estructura más simplificada que el tejado verde clásico, ya que utiliza aglomerado de corcho como elemento de drenaje. Al utilizar este material poroso y natural, se maximiza el uso de recursos naturales y se reduce la huella de carbono y el impacto de la cubierta verde. El uso de aglomerado elimina la necesidad de colocar grava, lo que puede ayudar a reducir la carga de la cubierta sobre la estructura del forjado.



Figura 40 Prototipo mBIGUL.



Figura 39 Prototipo mBIGUL.

Cubierta verde | Prototipo mBiGUL - cubierta inclinada

El prototipo mBIGUL, en su versión inclinada, está compuesto por diversas variedades de *sedum, de* bajo crecimiento y resistentes a condiciones climáticas extremas. La forma inclinada de esta solución obliga a colocar una malla sobre el sustrato para evitar su escurrimiento y deslizamiento y la consiguiente deformación de la cubierta. La vegetación se coloca en las aberturas de la malla y, a medida que las raíces maduran, acaban sosteniendo el sustrato, pero inicialmente esta malla es esencial para la instalación de cubiertas inclinadas.



Figura 41 Prototipo mBIGUL - tejado inclinado.

Fachada verde | Estructura de cables de acero

La vegetación se plantará en el suelo y el crecimiento estará guiado por un conjunto de cables que siguen la fachada a lo largo de las plantas. El balcón de la última planta crea una cámara de aire entre el muro verde y la ventana. Para conseguir el efecto deseado, se plantarán especies de hoja caduca con el fin de crear zonas de sombra sólo en los meses de verano. Durante el invierno, la ausencia de follaje permite el paso de la luz natural.



Figura 42 Estructura de cables de acero.

Otras NBS

Dada la proximidad de la escuela a Horta da Oliveira, un espacio comunitario de producción y cultivo de alimentos ecológicos, se diseñó un estanque para utilizar el agua de lluvia recogida en uno de los tejados verdes. La intención es que el agua recogida en el tejado y retenida en el estanque contribuya a una mayor irrigación del suelo del jardín, aumentando la disponibilidad

de agua en el suelo y la biodiversidad. El estanque tiene una perspectiva pedagógica y refleja el componente integrador de los sistemas, ya que el agua de lluvia recogida en la escuela se utilizará para el huerto. Con este sistema, los alumnos podrán ver los canales de drenaje del agua y reconocer formas de utilizar el agua de lluvia como medidas esenciales para una gestión eficiente del ciclo urbano del agua.

RESULTADOS: ASPECTOS POSITIVOS y PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Buenas prácticas y aspectos positivos

Planificación

⇒ Combinar la implantación del NBS con las obras generales de la escuela y la instalación de paneles fotovoltaicos permitió diseñar y probar la cubierta biosolar, que en teoría aumenta la eficiencia productiva de los paneles.

⇒ La oportunidad de vincular la implantación del NBS a las obras generales del colegio también permitió superar algunas barreras constructivas (por ejemplo, la capacidad de carga de los tejados, la reorganización de los espacios y la ubicación de las aulas, etc.), lo que permitió maximizar los beneficios del NBS implantado.

⇒ La implicación de los distintos agentes y partes interesadas en la escuela dio lugar a la creación de un grupo multidisciplinar formado por elementos de las distintas unidades municipales implicadas, desde la educación a la gestión medioambiental, pasando por el agua y la gestión de la construcción, que, junto con el equipo de arquitectos, fueron capaces de crear un edificio escolar práctico y mejor organizado desde el punto de vista de la gestión escolar, pero también innovador y adaptado para hacer frente a los retos que plantea el cambio climático, sobre todo en términos de eficiencia de los recursos, la energía y el agua, y de comodidad para todos los usuarios.

⇒ El estudio de las carencias y "defectos" del edificio, que contó con la valiosa colaboración del coordinador de la escuela, permitió considerar aspectos más prácticos y acuciantes de la gestión escolar, que de otro modo el proyecto no habría conocido, ni se habrían podido abordar en la fase de planificación del prototipo.

⇒ La colaboración con la Asociación Nacional de Cubiertas Verdes, socia del Ayuntamiento de Oporto en diversos proyectos municipales de soluciones de base natural, fue una baza para

adaptar los prototipos, no sólo a las necesidades previstas, sino que aportó esencialmente conocimientos técnicos fundamentales para garantizar su éxito (por ejemplo, adaptación al clima local, a la ubicación específica, al tipo de vegetación utilizada, a las necesidades de riego, etc.).

Ejecución

⇒ La implicación del coordinador de la escuela en el proceso desde el principio ha contribuido al éxito de sus resultados, sobre todo en lo que respecta a la concienciación sobre asuntos y cuestiones medioambientales.

⇒ La posibilidad de implantar el NBS una vez terminadas las obras generales de la escuela permitió partir de un lienzo en blanco para la aplicación de los prototipos.

⇒ El uso de materiales fácilmente accesibles y disponibles garantizó que no hubiera retrasos en el suministro de los mismos o de las plantas a utilizar, dado el contexto de escasez de algunos materiales y recursos que se produjo durante las obras generales de la escuela.

⇒ La ausencia de escolares durante el trabajo dio mayor libertad de acción y menos limitaciones en la gestión del trabajo.

Problemas detectados y sus soluciones

Planificación

⇒ El sistema de cables para sostener la superficie verde que creará la vegetación trepadora no se está desarrollando como se esperaba. Esto puede deberse al propio diseño de la estructura, con sólo cables verticales, y a la temperatura que adquieren por la luz solar directa, factores que condicionarán la adherencia de las plantas. El problema podría resolverse integrando elementos horizontales que refuercen la malla de soporte del crecimiento de la vegetación (formando una cuadrícula similar a la solución diseñada para la escuela de Évora). También podría considerarse el uso de un sistema de soporte que utilice materiales naturales en lugar de acero, con el fin de superar los problemas relacionados con la temperatura de los materiales.

⇒ La necesidad de conciliar el diseño de los prototipos con el proyecto Porto Solar y las obras de remodelación de la escuela se convirtió en un reto desde el punto de vista de la planificación, lo que provocó algunos retrasos en el proyecto de concepción, diseño y ejecución.

La necesidad de articular e integrar diferentes visiones y necesidades provocó retrasos en la finalización de los proyectos de ejecución.

⇒ La intención de promover y maximizar el uso del agua de lluvia planteó algunos problemas para obtener la licencia de Águas e Energia do Porto. Las dudas sobre la concesión de licencias, y algunos temores debidos a la percepción de los padres y del resto de la comunidad solar sobre el uso del agua de lluvia con fines sanitarios, hicieron que se abandonaran algunas propuestas iniciales (por ejemplo, el uso del agua de lluvia para las cisternas de los inodoros).

Ejecución

⇒ Se produjo un retraso en la ejecución de las obras de recalificación de la escuela, lo que repercutió en el calendario de ejecución de las NBS. La pandemia de SARS-CoV-2 y la falta de recursos y materiales derivada del estallido del conflicto en Ucrania provocaron retrasos en el suministro de materias primas y materiales de construcción, y la subida de los precios repercutió en la duración del proyecto.

⇒ El retraso en la ejecución, y en el propio inicio de las obras, provocó un largo periodo de inactividad en el seguimiento que, al tratarse de un proyecto más complejo, condicionó los periodos de seguimiento y la posterior evaluación de los resultados.

⇒ La comunidad escolar tuvo que ser reubicada y se encontró confinada en locales provisionales durante dos cursos escolares, lo que supuso limitaciones para toda la comunidad y los padres de los niños.

Resultados

⇒ Al tratarse de la primera cubierta verde para un colegio, existen dificultades asociadas a la falta de práctica y escasos conocimientos de los equipos de gestión de obras del municipio, que se abordarán para resolver las dudas existentes en materia de gestión y mantenimiento.

⇒ La falta de tiempo para evaluar adecuadamente no sólo los prototipos, dándoles tiempo suficiente para consolidarse y desarrollarse, sino también para evaluar su impacto en el confort y la calidad del aire interior, puede repercutir en el éxito del proyecto, ya que reduce la posibilidad de ajustes o correcciones, y no permite el funcionamiento normal de la escuela durante las cuatro estaciones del año.

Defectos y problemas sin resolver

Planificación

⇒ El no aprovechamiento de las aguas pluviales para uso sanitario supone una pérdida de oportunidad para probar esta solución como una medida interesante desde el punto de vista del uso y gestión eficiente del agua, que en un contexto de cambio climático y teniendo en cuenta los problemas hídricos de muchos municipios del sur de la Península Ibérica, se vería como una alternativa atractiva para hacer frente a la escasez de agua.

Resultados

⇒ La contratación de un equipo especializado en el mantenimiento de cubiertas verdes ha sido difícil de conseguir (con retrasos en el proceso). La Empresa Municipal Domus Social es la gestora de todas las infraestructuras construidas por el Ayuntamiento de Oporto y ha retrasado este proceso.

⇒ La cubierta vegetal ha sido "invadida" por semillas de numerosas plantas arbóreas, como plátanos, sauces e incluso acacias, que podrían poner en peligro el futuro funcionamiento de las pantallas de impermeabilización y requerir un mantenimiento suplementario.

⇒ Durante la fase de ejecución se solicitó la instalación de varios tipos de sensores (temperatura, humedad, entre otros), pero aún no ha sido posible verificar que todos los equipos solicitados hayan sido efectivamente instalados y garantizar la recogida regular de datos (este proceso está en curso).

⇒ El riego ha resultado difícil de gestionar, por lo que siguen intentando determinar si hay problemas técnicos con el pluviómetro.

⇒ La idea inicial de transportar agua desde el tejado hasta las instalaciones sanitarias de la escuela se abandonó por ser imposible de llevar a la práctica.

3. CONCLUSIÓN: LECCIONES APRENDIDAS Y BUENAS PRÁCTICAS

Las NBS tienen el potencial de acelerar los procesos de adaptación al cambio climático. Su implementación en los tres edificios piloto del proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN pretendía, por un lado, diseñar y probar soluciones innovadoras, validarlas como medidas para mejorar la resiliencia de los edificios ante fenómenos climáticos extremos y promover el desarrollo sostenible mediante el seguimiento de parámetros y datos cuantificables y, por otro, contribuir a la creación de evidencias para promover políticas y estrategias de intervención en edificios que integren NBS.

Este documento pretende reunir las lecciones aprendidas durante la implantación del NBS, teniendo en cuenta las fases previas de diseño de los prototipos y proyectos de construcción, obtención de licencias administrativas, contratación pública de las respectivas obras, así como el ciclo de vida de estas soluciones, el mantenimiento de los prototipos y los resultados obtenidos. Se analizaron los aspectos positivos y los problemas identificados en cada edificio piloto, incluidas las limitaciones específicas de cada situación, así como los problemas técnicos inherentes a cada solución. Mediante la sistematización de las lecciones aprendidas se espera arrojar luz sobre un conjunto de buenas prácticas de implantación de NBS a tener en cuenta en futuros proyectos de implantación de NBS.

Ventajas y buenas prácticas

Las ventajas de implantar NBS en los edificios se traducen en una mejora del confort térmico interior, una mayor eficiencia energética del edificio, una gestión optimizada del agua de riego, una mejor gestión del agua de lluvia y una reducción de la escorrentía urbana, beneficios que pueden demostrarse cuantificando datos como la temperatura, la humedad, los niveles de CO2, el consumo de energía y el consumo de agua. Estos beneficios tienen un impacto económico directo en la gestión de los edificios. A estos beneficios se suman otros de carácter social y medioambiental, como son las atractivas características estéticas que aportan estas soluciones, la mejora del valor paisajístico, el incremento de los recursos educativos vivos, el aumento de la biodiversidad, la mejora de la calidad del aire y la mejora de los indicadores de salud de sus usuarios. Estos beneficios, a su vez, hacen más compleja la cuantificación y medición de su impacto económico.

Los resultados de este proyecto, en concreto los conseguidos con la implantación de NBS en el CEIP Gabriela Mistral de Solana de Los Barros, han permitido validar los beneficios de estas

soluciones con datos medibles, reflejando, en particular, la mayor eficiencia energética del edificio, la optimización del consumo y gestión del agua, la reducción de los efectos de los fenómenos de calor extremo por la disminución de la temperatura interior conseguida, la generación de más oxígeno y el filtrado de una importante cantidad de gases nocivos al año, favoreciendo la mejora de la calidad del aire.

Esperamos corroborar y reforzar estos resultados mediante el seguimiento del rendimiento del NBS en los otros dos edificios piloto: la Escuela Primaria Horta das Figueiras, en Évora, y la Escuela Primaria Falcão, en Oporto. El Plan After-LIFE, que se implementará entre 2024 y 2028, permitirá monitorizar los prototipos en su fase de pleno funcionamiento, es decir, con la vegetación totalmente desarrollada, tanto en la Escuela Primaria Solana de Los Barros como en las dos escuelas portuguesas.

Además de destacar las ventajas que ofrecen los prototipos NBS, es importante tener en cuenta una serie de buenas prácticas derivadas de la experiencia adquirida y que podrían aumentar las posibilidades de éxito del proyecto. En este contexto, destacan las siguientes:

⇒ Una adecuada planificación previa que establezca las actividades clave a realizar y su fecha máxima de finalización. Esto permitirá obtener los permisos y autorizaciones necesarios en tiempo y forma, así como contratar los servicios y obras inherentes a la ejecución del proyecto con tiempo, evitando o minimizando posibles retrasos y sobrecostes presupuestarios.

⇒ Identificar e implicar a las partes interesadas en el proyecto, incluidos los responsables de la toma de decisiones, la comunidad de usuarios (en este caso, la comunidad escolar), pero también los que participan en la construcción e instalación de los prototipos de NBS.

⇒ Implicar a las organizaciones beneficiarias (escuelas u otras entidades responsables de los edificios) en el proceso de planificación aporta una visión más pragmática de las necesidades y requisitos de los espacios, lo que contribuye de forma esencial a que las soluciones diseñadas sean más fácilmente aceptadas por las organizaciones y a que los beneficios sean reales y efectivos.

⇒ Creación de grupos multidisciplinares más amplios que el consorcio, en los que participen organizaciones locales con *conocimientos* reconocidos, como forma de potenciar la validación de soluciones, minimizando los riesgos y el fracaso de los prototipos.

⇒ Es igualmente importante, antes de desarrollar los proyectos arquitectónicos y de especialidades, realizar los estudios necesarios para caracterizar y diagnosticar con precisión el

estado de conservación del edificio, permitiendo tratar de antemano las posibles patologías constructivas y estructurales.

⇒ Cuando sea necesario, es ventajoso asociar la implantación de las NBS a las obras generales de la escuela, permitiendo incluso superar las barreras de la construcción.

⇒ La especialización de los trabajos, debida a la implantación de cubiertas y fachadas verdes, sistemas de sombreado NBS y al carácter experimental e innovador de los prototipos, requiere una mayor inversión en el tiempo de estudio y preparación de los proyectos arquitectónicos y de especialidades, así como en el diseño de las soluciones que se van a implantar. Invertir en el detalle del proyecto tiene el potencial de minimizar los problemas imprevistos in situ. Al mismo tiempo, es recomendable realizar una investigación previa y exhaustiva de los materiales y empresas del mercado para diseñar mejor las soluciones a adoptar. Asimismo, esta inversión permite obtener con antelación condiciones de ejecución y presupuestos más asertivos, que deben ser trasladados al proyecto junto con el resto de obras necesarias, evitando así problemas de ejecución imprevistos o déficits presupuestarios, y posibles licitaciones desiertas o abandonadas.

⇒ La especificidad de la obra y su carácter innovador exigen una inversión en tiempo de ejecución compatible con la realidad, por lo que no debe descuidarse un plazo de ejecución adecuado y realista, evitando cambios y retrasos respecto al plazo inicialmente definido.

⇒ Elaborar un plan de mantenimiento inicial debidamente ajustado para garantizar la supervivencia de las especies recién plantadas, que deberá ajustarse a medida que las especies se desarrollen y consoliden.

⇒ Dado que las nuevas zonas verdes del edificio, concretamente en la azotea, están destinadas al ocio o a la enseñanza, el diseño del proyecto debe tener en cuenta y salvaguardar la respectiva accesibilidad en condiciones de comodidad y seguridad.

⇒ Se deben seleccionar especies que se adapten perfectamente al clima local, así como a las condiciones en las que se encuentran en el edificio, sin descuidar el uso de asesoramiento especializado en este ámbito.

⇒ A efectos de seguimiento y verificación de los resultados obtenidos por las NBS, es necesario prever un tiempo adecuado para el desarrollo y la consolidación de los prototipos, con el fin de extraer y validar sistemáticamente los resultados del proyecto.

Limitaciones

Los resultados obtenidos por el proyecto, explorados, fundamentados y justificados a lo largo de su ejecución, representan una contribución significativa al conocimiento de las NBS y su correspondiente rendimiento como medida de adaptación de los edificios al cambio climático.

El objetivo de este documento es crear una herramienta eficaz para ayudar a implantar las NBS en los edificios y evaluar su rendimiento.

A pesar de los resultados obtenidos, el componente de supervisión del rendimiento de las NBS aún no se ha realizado en dos de los edificios piloto, especialmente en el caso de Évora, cuyas obras de construcción finalizaron coincidiendo con la fecha límite del proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN.

De hecho, los periodos de seguimiento y evaluación de los resultados deben ser lo suficientemente largos como para que puedan tener en cuenta las variables más diversas, sobre todo en lo que respecta a las estaciones y su impacto en las soluciones, y estos momentos a menudo se sacrifican o acortan debido a las limitaciones de los calendarios.

Se espera superar y subsanar esta limitación de los resultados obtenidos en esta fase en los próximos cinco años de periodo de vigencia del Plan After-LIFE.

El desconocimiento de las NBS y el carácter innovador de los prototipos asociados a este tipo de soluciones también fueron limitaciones detectadas en el transcurso del proyecto.

En concreto, faltan empresas especializadas en NBS, tanto de suministro de materiales como de suministro e instalación de sistemas de cubiertas y fachadas verdes, sistemas de riego para este tipo de soluciones, así como empresas de construcción con capacidad técnica especializada y mano de obra cualificada, y empresas de mantenimiento con experiencia en NBS. La escasez de este tipo de proveedores en el mercado sigue siendo un obstáculo para la implantación de las NBS en los edificios. Además, existe un desconocimiento generalizado por parte de otros profesionales del sector de la construcción, como promotores, diseñadores, arquitectos e ingenieros. En este contexto, los costes asociados a la implantación de NBS innovadoras son elevados y a menudo disuaden de su uso. **Esto, sin embargo, puede convertirse en una oportunidad porque hay un nicho de negocio evidente ante la explosión de instalaciones de este tipo que es previsible que se empiecen a implantar para mejorar el confort térmico de edificios públicos y viviendas privadas.**

En este contexto, el propósito del proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN era remediar esta limitación con acciones para compartir y difundir el conocimiento. Estas acciones continuarán,

con diversas actividades planificadas para diferentes públicos objetivo por los distintos socios del consorcio en el Plan After-LIFE.

Al mismo tiempo, el creciente acervo de conocimientos sobre las NBS permitirá superar los obstáculos en materia de contratación pública y de organización y adecuación de los procedimientos correspondientes.

Conclusión

El principal resultado de este proyecto es el diseño y la implantación de varios prototipos de NBS, materializados en cubiertas y fachadas verdes, así como en nuevas zonas verdes plantadas con especies autóctonas, en tres edificios piloto: el CEIP Gabriela Mistral, situado en Solana de los Barros, en Badajoz (España); el CEIP Horta das Figueiras, en Évora (Portugal); y el CEIP Falcão, en Oporto (Portugal).

Con los resultados obtenidos, el proyecto también ha demostrado que estas soluciones repercuten en la mejora de las condiciones térmicas y el confort en el interior de los edificios, la eficiencia energética, el control del consumo de agua y el aprovechamiento del agua, al tiempo que contribuyen significativamente a la adaptación de estos edificios al cambio climático. A pesar de la monitorización y recopilación de datos climáticos cuantificables ya realizada en la escuela de Badajoz, todavía no se ha llevado a cabo la monitorización en las escuelas de Oporto y Évora con NBS en pleno funcionamiento. Con el fin de evaluar la evolución de los efectos de los NBS en la mejora de las condiciones bioclimáticas del edificio, corroborando los resultados preliminares de la escuela de Badajoz, y validar sólidamente los NBS como medidas de adaptación al cambio climático, las acciones de seguimiento y evaluación previstas para las dos escuelas portuguesas deben llevarse a cabo en un período que incluya el desarrollo óptimo de las soluciones implementadas.

Considerando que las NBS son una medida viable y robusta para la adaptación de los edificios al cambio climático, esta Guía de Buenas Prácticas culmina en un conjunto de consideraciones a tener en cuenta a la hora de implementar NBS en futuros proyectos. Esta Guía de Buenas Prácticas también se materializa como una herramienta útil para replicar los prototipos diseñados y probados en el proyecto LIFE-myBUILDINGisGREEN, constituyendo una contribución más al conocimiento basado en las evidencias recogidas en el ámbito de este proyecto.





my building is green
A LIFE PROJECT

CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

REAL JARDÍN BOTÁNICO

Instituto de Ciencias de la Construcción
EDUARDO TORROJA

CARTIF

DIPUTACIÓN DE BADAJOZ

Porto.

ALENTEJO CENTRAL