

# The Green architecture as a contribution for environmental improvement in Madrid

## La arquitectura verde como solución de mejora medioambiental en Madrid

JESÚS GIOVANNI MURCIA

Arquitecto.  
triptoarc@gmail.com

M<sup>a</sup> ALEJANDRA GÓMEZ

Ingeniería civil.  
alejagoa@gmail.com

RICARDO TENDERO CABALLERO

E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.  
ricardo.tendero@upm.es

The objective of this article is to compare the behavior of a green roof solution versus a traditional roof and its influence on the thermal comfort conditions in an office building located at 29 Apolonio Morales Street in the city of Madrid. After analyzing its behavior in a winter climate period and in turn, from an architectural vision, projecting new uses of the building's roof, different scenarios are proposed to understand if green spaces can change or improve the building's energy performance and influence the mood of users of the office building. By simulating the construction conditions closest to the reality of the building and the modification proposal involving the green architecture, simulations are carried out and the results are compared through the Design Builder software to know its energetic behavior. On the other hand, some parameters are proposed for the project to modify the use of the roof, seeking to generate synergies between the elements that currently make up the building and which, according to the initial visit, have been known to work very well and generate large contributions to the operation and performance of the building.

*Ambiental management; Green architecture; Green roof; Urban agriculture.*

El presente artículo tiene como objetivo comparar el comportamiento de una solución de cubierta verde frente a una cubierta tradicional y su influencia en las condiciones de confort térmico, en un edificio de oficinas ubicado en la calle Apolonio Morales 29 de la ciudad de Madrid. Tras analizar su comportamiento en una franja climática invernal y a su vez, desde una visión arquitectónica, proyectar nuevos usos de la cubierta del edificio, se plantean diferentes escenarios para entender si los espacios verdes pueden cambiar o mejorar el comportamiento energético del edificio e influir en el estado anímico de los usuarios del edificio de oficinas. Mediante la simulación de las condiciones constructivas del edificio y la propuesta de modificación que involucra la arquitectura verde, se realizan simulaciones y se comparan los resultados a través del software Design Builder para conocer su comportamiento energético. Por otra parte, se proponen algunos parámetros para el proyecto de modificación de uso de la cubierta buscando generar sinergias entre los elementos que conforman actualmente el edificio y que de acuerdo a las visitas iniciales se ha conocido que funcionan muy bien y generan grandes aportes al funcionamiento y desempeño de la edificación.

*Gestión Ambiental, Arquitectura Vegetal, Cubierta Verde, Agricultura Urbana.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, la industria de la construcción, ha sido identificada en todo el mundo como una de las áreas prioritarias a afrontar para lograr los objetivos internacionales de sostenibilidad, desarrollo, construcción inteligente y uso eficiente de los recursos, teniendo en cuenta que los edificios son responsables del 30% del consumo mundial de energía, debido principalmente a su baja eficiencia energética, y asimismo de un tercio de las emisiones directas e indirectas de CO<sub>2</sub> [1].

Es por tanto imprescindible reducir los impactos negativos y crear impactos positivos en el entorno climático y natural de

los edificios, desde el diseño hasta la construcción y **operación**. Los edificios verdes (Green Buildings) preservan los recursos naturales y mejoran la calidad de vida, por lo que resultan una buena alternativa por parte del sector de la construcción a la problemática medioambiental actual. Estos edificios contemplan el uso eficiente de la energía, agua y otros recursos, implementando energías renovables, medidas de reducción de contaminación y desperdicio, tratamientos para mejorar la calidad del aire interior, así como el empleo consciente de materiales no tóxicos, éticos y sostenibles. Adicionalmente los edificios deben adaptarse a las condiciones climáticas distintivas, culturales y tradiciones únicas de cada lugar y región [2].

Para empresas del sector, como la consultora de ingeniería internacional Grupo Arup, la integración de vegetación mediante la envolvente de los edificios a través de cubiertas verdes o fachadas vegetales (Fig. 1), puede ayudar a reducir el calentamiento urbano (efectos de isla de calor), filtrar el polvo fino en las calles y reducir los niveles de ruido, aprovechando el momento actual como una oportunidad de las ciudades para mejorar la infraestructura ecológica y ayudar a reducir el consumo de energía, mejorando la calidad del aire y el bienestar de las personas [3].



Fig. 1. Enfoques de diseño de las soluciones vegetales en la ciudad. Fuente: Cities Alive, Arup, 2017.

De la misma manera, la Asociación de Techos Verdes para Ciudades Sanas obtiene beneficios a través del aprovechamiento de los espacios de cubierta, para el aumento de la biodiversidad, ayudando a sostener una gran variedad de plantas e invertebrados y proporcionando un hábitat para distintas especies de aves. Esto genera beneficios sobre el ecosistema, aumentando la productividad durante periodos de variación ambiental, y económicos, pudiendo convertirse en proveedores de bienes ecológicos y de servicios.

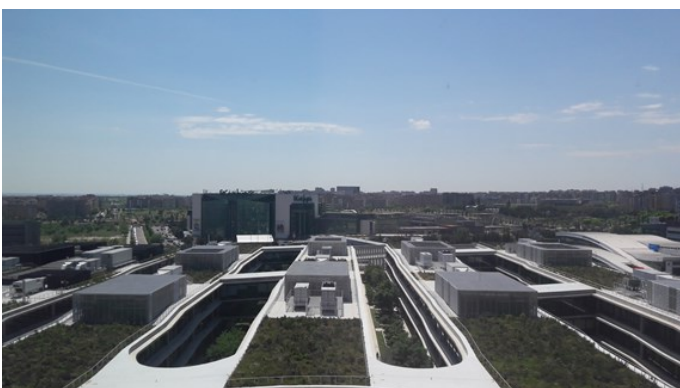


Fig. 2. Cubierta verde, Edificio de oficinas La Vela, Ciudad BBVA, Madrid. Fuente: Propia del autor.

Ejemplos como la cubierta verde de la Ciudad BBVA son cada vez más frecuentes. En el ámbito social, la diversidad visual y ambiental pueden tener un impacto positivo en la comunidad

y el bienestar psicológico (Fig. 2), contribuyendo directamente al bienestar de los usuarios a través de la reducción de la contaminación y del aumento de la calidad de agua. Los techos verdes pueden servir además, como centros comunitarios, incrementando la cohesión social, el sentido de comunidad y la seguridad pública [4].

Por otra parte, según la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, (Fig. 3) para el año 2050 el mundo habrá alcanzado 9.800 millones de habitantes y un 66 por ciento de ellos estará viviendo en áreas urbanas [5]. Para entonces, la escasez de recursos, el cambio climático y el incremento de costos energéticos harán cambiar la forma en que vivimos y construimos. Con estos parámetros, la concepción de los edificios se debe adaptar a un futuro inmediato con miras a conseguir resultados acordes con el avance tecnológico, a través de sistemas integrados donde la información fluya en tiempo real y se encuentre interconectada, y de edificios que respondan a las necesidades climáticas del medio y del propio usuario de manera inmediata, de acuerdo a principios medioambientales sostenibles.

### Crecimiento de la población mundial: alcanzando 7 mil millones

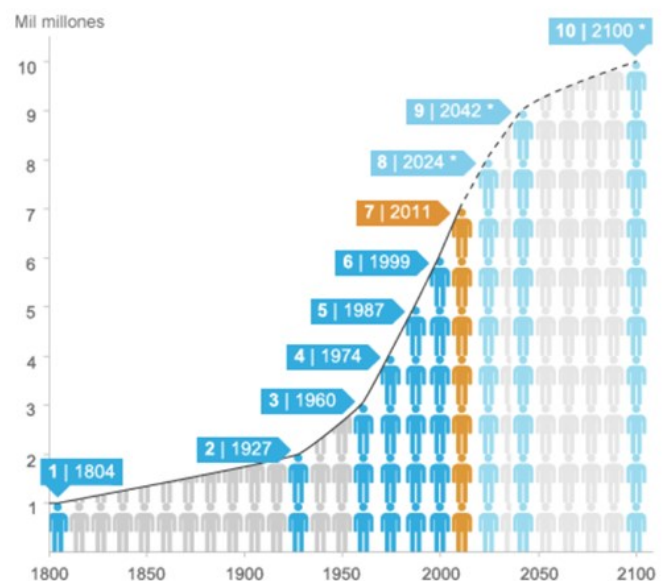


Fig. 3. Cifras poblacionales futuras de acuerdo a las predicciones de la ONU. Fuente: Fondo de población de la ONU.

En este sentido, el Grupo Arup propone a nivel teórico un hipotético edificio del futuro con los aspectos más importantes que este debe integrar para poder actuar más eficientemente a este número creciente de la población urbana. Ya se habla aquí de la capacidad de respuesta que debe adquirir la fachada ante estímulos externos gracias a elementos dinámicos que responden de manera inmediata.

Otro factor que cobra relevancia es la creación de espacios de los que se haga un uso sostenible y que puedan responder

a las necesidades de los propios usuarios por medio de un uso eficiente de los recursos, como las granjas verticales. Con todo ello, se forja la idea de edificio como organismo vivo que debe adaptarse a los requerimientos de sus ocupantes [6].

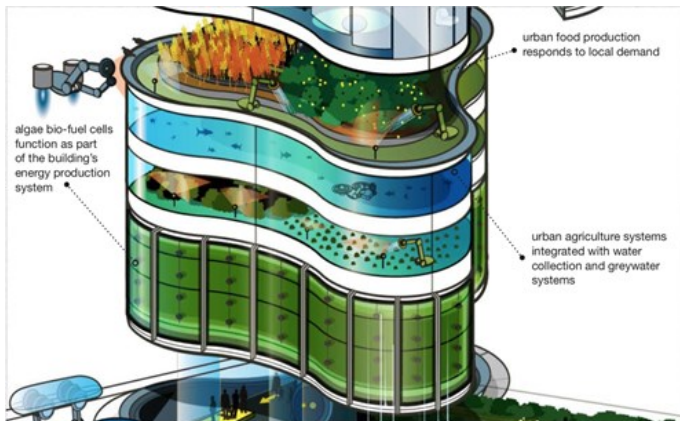


Fig. 4: Visión futurista de los edificios en 2050. Fuente: It's alive, Can you imagine the urban building?, ARUP

Otro beneficio muy importante del uso de los techos verdes como espacio ideal para proyectos de agricultura urbana, es que ayuda a mitigar la huella urbana de una comunidad a través de la creación de un sistema de producción de alimentos locales que pueden servir como fuente de unión de la comunidad, como mejora de los niveles de nutrición y avance en la autosuficiencia. Es preciso explorar los beneficios de los sistemas de agricultura urbana, los cuales cada vez tienen más reconocimiento, sin embargo se requiere explorar las bondades de una aplicación sistemática de este tipo de soluciones. De esta forma, junto con la edificación, las estrategias verdes podrían manifestar los avances positivos y adaptarse con éxito al futuro, como parte de las soluciones sostenibles, incorporándose en una red mucho más amplia de ecosistemas naturales.

Mediante este tipo de propuestas y a medida que las ciudades avanzan hacia un futuro altamente urbanizado, existe la necesidad de preparar a las localidades para adoptar nuevas dinámicas y ofrecer soluciones potenciales a los problemas que enfrentarán como resultado de su propio crecimiento. Algunas de ellas han tenido éxito en la comprensión de los desafíos y los están abordando, pero claramente no existe una aplicación masiva o consistente de la política ambiental. Es útil comprender estos fenómenos e investigar las lecciones que se pueden extraer de estrategias y enfoques exitosos.

Proyectos que cambian el juego como el High Line en Nueva York (Fig. 5), han superado espectacularmente los obstáculos anteriores, demostrando que la agricultura vertical, con el uso de sistemas de acuicultura integrados, representa una solución viable a la cuestión crítica de alimentar a una población en crecimiento dentro del contexto de la ciudad. El concepto es contener la producción de alimentos, la recolección de ener-

gía verde y un sistema de alimentación cerrado en un edificio, con requisitos de transporte y distribución limitados. Una densa concentración de actividad agrícola está contenida dentro de una huella urbana y de carbono mínima, fusionándose perfectamente con la estructura urbana existente [7].



Fig. 5: The High Line New York: Utilización de cubiertas industriales y renovación con espacios verdes administrados por la comunidad. Fuente: Cities



Fig. 6: The Urban Farm, Pasona HQ Tokio: Desarrollo de sistema de agricultura urbana dentro de su edificio de oficinas.

Es así que surgen proyectos verdes, donde su enfoque principal no está ligado a las compensaciones de consumo o eficiencia energética, sino en crear edificaciones realmente ecológicas que puedan cambiar la forma en que la gente vive su cotidianidad e incluso su propia carrera profesional.

Pasona HQ, una compañía japonesa busca a través de la rehabilitación de su edificio de oficinas en Tokio, proveer mejores lugares de trabajo a sus empleados y extender los beneficios a la comunidad. Además de crear un mejor ambiente de trabajo, esta firma también busca promover los proyectos de agricultura urbana y tradicional con fin de asegurar una producción sostenible de alimentos en el futuro, generando impacto en el bienestar y la salud de sus empleados, pero

también en la comunidad en la cual desarrolla su labor, demostrando que la influencia de las soluciones de arquitectura verde puede ir más allá del edificio donde se generan [8].

Es por esto, que con objeto de resaltar los beneficios en los aspectos medioambientales dentro de la relación edificio-usuario, se analiza el desempeño de una **propuesta verde** en la cubierta de construcciones y su prolongación hacia el interior de las mismas, desde la hipótesis de que los edificios verdes preservan los recursos naturales y mejoran la calidad de vida (Fig. 7).

En base a lo citado anteriormente, el objetivo del presente estudio es comparar el comportamiento de una solución de cubierta verde frente a una cubierta tradicional y su influencia en las condiciones de confort térmico en un edificio de oficinas ubicado en la calle Apolonio Morales 29 de la ciudad de Madrid, construido en los años noventa y rehabilitado bioclimáticamente en el año 2009 por el IEI - Instituto Europeo de Investigación / MM Arquitectura de bajo impacto; siguiendo parámetros de eficiencia energética y arquitectura sostenible, donde se ha logrado hacer un uso racional de los recursos naturales disponibles, así como involucrar el edificio en su entorno urbano.



Fig. 7: Techo verde, huerto urbano e invernadero. Zoku Roof, Amsterdam. Fuente: Green-roofs.com

Partiendo de la premisa de que la interacción entre los edificios construidos y sus usuarios va más allá de la respuesta a los parámetros de eficiencia energética, de su funcionalidad ligada al propósito de uso y de los sistemas de control y gestión del comportamiento de la edificación, la propuesta del presente estudio valora la influencia de integrar una solución verde en la cubierta del edificio desde tres perspectivas diferentes:

- ♦ Cuantificación del beneficio en cuanto al **confort térmico** gracias a evitar el sobrecalentamiento de la cubierta en verano y la pérdida de calor en invierno.

- ♦ Generación de nuevos usos dentro de la cubierta del edificio que faciliten la **integración de la comunidad** y se adapte a los requerimientos de los mismos.
- ♦ Estudio del **bienestar** generado por la incorporación de sistemas vegetales dentro del ámbito laboral en el estado anímico de los usuarios.

## 2. MARCO TEÓRICO

A medida que crece la densidad de población en las ciudades, y los espacios habitables se reducen, empieza a cobrar relevancia la infraestructura urbana verde. Las cubiertas son un espacio generalmente al que no se da un uso efectivo, sin embargo son espacios con un gran potencial de desarrollo dentro de las ciudades. Una solución que se presenta muy atractiva para combatir la densificación de las edificaciones son las cubiertas ajardinadas. Con este tipo de intervención el paisaje urbano podría cambiar de manera sustancial.

Estos sistemas se caracterizan por la presencia de plantas trepadoras o plantas de suelo, que crecen convirtiéndose en estructuras de soporte diseñadas específicamente para el lugar donde están ubicadas. Están generalmente enraizadas en capas de suelo a la base de la estructura, en macetas elevadas en niveles intermedios o directamente en las cubiertas de la edificación. Tras aprovechar los espacios urbanos para plantar vegetación nuevamente, aparecen los beneficios que hacen que ocurran los efectos de enfriamiento natural, permitiendo reducir las consecuencias de la llamada isla de calor; así como el aumento de los flujos de aire y su enfriamiento. La consecuencia es la mitigación de los niveles de contaminación del aire mediante la reducción de las temperaturas y en su proceso natural, la captación de material particulado y captura de gases. El aislamiento térmico que producen repercute directamente en menores demandas de energía, menor utilización de los procesos de hvac, liberando a su vez menos subproductos contaminantes al aire, mejora de la calidad del aire interior y reducción de ruido. El sistema convierte las edificaciones en ventajas competitivas dentro del mercado ecológico e impacta favorablemente la cantidad de espacio verde en los centros urbanos

Dentro de esta alternativa aparecen un sinfín de intervenciones posibles y entre ellas, la agricultura urbana. No solo mejora el comercio de alimentos dentro de la propia urbe sino que además genera beneficios relacionados con la reducción del estrés y con la mejora de la productividad en el trabajo. Además, para mantener parte de los usos establecidos en el proyecto original, se incluyen los colectores solares creando sinergias vitales en el espacio urbano.

Otros estudios destacan los beneficios ambientales y sociales relacionados con los espacios verdes para mitigar los efectos ambientales inducidos por la urbanización y aumentar la calidad de vida de los ciudadanos. En la investigación de Breuste

et Al, 2013, el espacio verde urbano se define como una variedad de parques, árboles de calle, agricultura urbana, jardines residenciales y jardines de techos [9] con ventajas como la generación de ambientes más frescos gracias a la provisión de sombra y humedad que generan como la realizada por Laforteza et Al. En esta investigación se empleó una evaluación de psicología ambiental para conocer si existe una relación entre el uso de espacios verdes y los beneficios físicos y psicológicos, y el bienestar percibido por los usuarios cuando es más probable que ocurran episodios de estrés por calor [10].

Por otra parte, el estudio liderado por Will Valley y Hannah Wittman de la Universidad de British Columbia en Canadá, explora las políticas alimentarias y de sostenibilidad de Vancouver, comparándolas con la política alimentaria ejemplar de Milán para "Alimentar el planeta, Energía para la vida." El artículo habla sobre la importancia del funcionamiento de los esquemas de agricultura urbana en Vancouver e invita a buscar medios de apoyo para los mecanismos de agricultura urbana como ayuda a resolver problemas de producción alimentaria urbana, demostrando la importancia mayor que adquiere este tema en las políticas urbanas [11].

Adicionalmente es importante resaltar cómo las principales organizaciones mundiales, es este caso las Naciones Unidas, resaltan los proyectos que buscan contribuir a la solución de problemas de medio ambiente y sostenibilidad. Un gran ejemplo es el premio otorgado recientemente a Adam Dixon como Campeón Joven de la Tierra por el desarrollo de su tecnología hidropónica que apoya el crecimiento de las plantas que usan 10 veces menos de tierra y agua que la horticultura tradicional. El objetivo inmediato de Dixon es diseñar soluciones hidropónicas para invernaderos, las cuales son compatibles con los desarrollos en agricultura urbana y continuar con su visión de usar tan solo un 10% de la tierra para la agricultura en el año 2050, pero seguir obteniendo productos frescos y acordes a las necesidades de alimentación mundial [12].

Asimismo dentro del presente estudio hemos considerado la investigación realizada por Julia Ayuso, quien desde su investigación acerca de arquitectura que mejora el bienestar y la productividad de las personas, mediante el uso de estrategias de diseño centradas en las personas y a su vez, mediante la realización de evaluaciones para medir el estado anímico de los trabajadores en estudios en España, Japón y Australia, concluye que los espacios que conectan a las personas con la naturaleza a través de un diseño integrador, aumentan el bienestar, productividad y salud de las personas, demostrando que en los espacios de trabajo con vegetación las personas manifestaron sentirse más despiertas con un 15,5% más de beneficio físico. Igualmente al combinar la vegetación con la luz natural, la sensación de carga de trabajo disminuye hasta en un 11,9%. Entre otras conclusiones, Ayuso logra demostrar de una forma científica e integral, los beneficios sobre

las personas que trabajan en ambientes laborales con vegetación [13].

### 3. MÉTODO

#### 3.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

El edificio a intervenir se localiza en la calle Apolonio Morales N°29, en un área residencial de la zona norte de Madrid. Se trata de un edificio de oficinas construido en los años 90 y rehabilitado bajo los principios de sostenibilidad en el año 2009.

Para la consecución de los objetivos aquí planteados se cuenta con la información actualizada del estado del edificio y suministrada por parte del Arquitecto Luis de Pereda encargado del proyecto de rehabilitación del edificio. En concreto, se facilitaron los siguientes documentos:

- ◆ Memoria descriptiva del proyecto de ejecución de rehabilitación.
- ◆ Planos arquitectónicos en formato PDF.
- ◆ Simulación energética del edificio en estado actual llevada a cabo mediante el software Design Builder.



Fig. 8. Localización del proyecto. Fuente: Google Earth.

Un primer acercamiento a las instalaciones del edificio permitió entender el concepto que habían seguido sus diseñadores durante el proceso de rehabilitación, donde buscaban un cambio respecto a la idea inicial con que se concibió el edificio. Se propone un diseño arquitectónico de alto rendimiento donde se involucra el comportamiento bioclimático de los sistemas, el aprovechamiento de los recursos naturales y se potencian los intercambios termodinámicos; todo ello para obtener un mayor confort interior a la vez que se reduce la demanda energética. Las estrategias que se siguieron pretendían satisfacer tres principios fundamentales:

- ♦ Edificio natural. Debe mantener una relación ecológica con su entorno.
- ♦ Edificio complejo. Se convierte en un tejido complejo de intercambio de información y recursos en constante evolución que debe ser gestionada de manera resolutive.
- ♦ Edificio reactivo. Con el avance a paso firme de la tecnología se requiere una gran flexibilidad en el edificio que permita adaptarse a los cambios y avanzar en la consecución de los objetivos planteados.

### 3.2 SUSTENTACIÓN DEL EDIFICIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El edificio caso de estudio cuenta con una cubierta invertida transitable donde se ubica la maquinaria de climatización y el cajón de paneles acústicos. Es un espacio que cuenta con un área resuelta con forjado reticular de hormigón. Se trata de un espacio que a pesar de encontrarse en uso actualmente, puede incrementar sus prestaciones y generar un beneficio mayor tanto energéticamente como en el confort de los usuarios a través de su intervención mediante una arquitectura vegetal.

Tras un análisis inicial de las condiciones climáticas donde se ubica el edificio a intervenir, la solución de arquitectura vegetal se estima viable. Como se ha explicado anteriormente, la amplitud térmica que se alcanza en la ciudad de Madrid es bastante grande tanto de una estación a otra como a lo largo de un mismo día. Esto hace que se generen picos de potencia en los sistemas de climatización.

Según los cálculos presentados en la memoria del proyecto, se estima una demanda de potencia del edificio de:

Pcalefacción: 45,7 kW

Prefrigeración: 48,9 kW

Para su producción, el edificio cuenta con un sistema primario en base a bombas de calor de intercambio geotérmico que aprovecha la estabilidad del calor del terreno sobre el que se encuentra edificado. Mediante este sistema logran una potencia aproximada de 25 kW para satisfacer las demandas requeridas por el edificio.

Además, cuenta con un sistema auxiliar que alivia las cargas requeridas a través de una bomba de calor aire-agua que aporta una potencia de hasta 35,1 kW.

Ambos son sistemas activos que proveen grandes prestaciones al edificio. Sin embargo, si el edificio contara con una envolvente vegetal estos rendimientos se podrían incrementar, de tal manera que no fuera necesario el empleo tan frecuente de sistemas auxiliares.

Con la solución vegetal, ya sea en fachada o cubierta se otorga una segunda piel a la envolvente logrando un comportamiento más estable de la temperatura y la humedad a lo lar-

go del día, cumpliendo un papel aislante y estabilizador de la temperatura interior, mejorando el confort térmico y disminuyendo la necesidad de generar grandes aportes de energía en el uso de calefacción o refrigeración.

### 3.3 ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

El estudio del régimen climático en la realización de este tipo de proyectos, asegura que las estrategias seleccionadas para dar solución al diseño sean las adecuadas y que durante la puesta en servicio del mismo, el edificio funcione otorgando el máximo rendimiento y beneficio al usuario final. Se convierte por tanto, en la base para realizar una intervención satisfactoria.

El clima de la ciudad de Madrid dentro de la escala de Köppen-Geiger es CSA, es decir, continental Mediterráneo, caracterizado por inviernos fríos y veranos cálidos. Se dice que se trata de un clima continental por los grandes rangos de temperatura que existen (la amplitud térmica alcanza los 20°C). Los veranos son secos y cálidos. Las precipitaciones medias anuales en Madrid se encuentran alrededor de los 400 mm y se registran entre otoño y primavera. Es habitual que los días presenten cielos despejados y soleados.

De acuerdo a las consultas realizadas en el software Climate Consultant 6.0, y teniendo en cuenta los parámetros de la ASHRAE Standard 55-2004, se observa en la gráfica el desempeño del clima de Madrid a lo largo del año y como durante gran parte del mismo, las temperaturas medias permanecen por debajo de la zona de confort térmico y por el contrario, durante los meses de Junio a Agosto permanecen muy por encima de ella (Fig. 9).

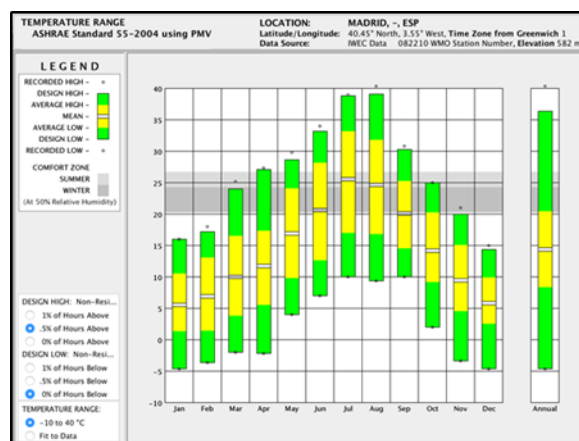


Fig. 9. Rangos de temperatura anual de la ciudad de Madrid. Fuente: climate consultant 6.0.

Para un análisis completo del comportamiento del edificio a lo largo de un periodo anual se deben seleccionar franjas de homogeneidad térmica que permitan caracterizar las estrategias a partir de las condiciones climáticas. Aunque inicialmente se siguió este procedimiento, para este proyecto el estudio se centra en el mismo periodo elegido por parte de la empresa a fin de poder generar datos comparables. En este caso el

análisis se realiza para el periodo comprendido entre el día 20 de noviembre y el 3 de diciembre. A continuación, en la Fig. 10 se muestra la carta psicrométrica obtenida del software Climate Consultant 6.0 correspondiente a ese periodo. A través de este análisis inicial se realiza una valoración de las posibles soluciones para la intervención a realizar y corroborar si la solución es viable o no.

A su vez, se representa la variación térmica de la zona para evaluar posibles consecuencias de periodos continuados de calor y planificar correctamente posibles intervenciones para minimizar los efectos de la isla de calor. Actualmente la edificación se encuentra en una zona de impacto moderado.

### 3.4 PROPUESTA

La presente investigación se orienta a la realización de un análisis comparativo entre la respuesta ambiental del edificio en sus condiciones actuales reales, presentando unos niveles bastante buenos de eficiencia energética, y el edificio en el caso de incluir en su cubierta un sistema vegetal. Se tiene conocimiento, gracias a las labores de monitorización y gestión, del comportamiento a lo largo de los últimos once años, lo que permite cruzar estos datos con los generados a través del modelo vegetal propuesto y caracterizado en el software de simulación Design Builder. Con todo ello, se pretende identificar las posibles variaciones y oportunidades de mejora al realizar modificaciones en la composición de su envolvente con los elementos vegetales. Por otra parte, se diseña y caracteriza el modelo de envolvente vegetal de forma que se puedan aprovechar espacios exteriores del edificio que hoy, debido a su configuración, no están siendo aprovechados para extender la vida del edificio y su uso hacia el exterior, sino que tan solo están sirviendo como espacios de apoyo a las instalaciones técnicas y de eficiencia de la edificación.

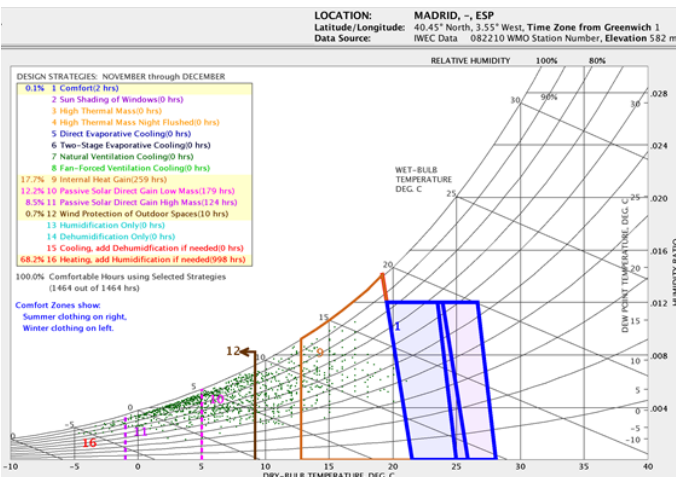


Fig. 10. Estrategias de diseño pasivas sugeridas por el software climático en el periodo de estudio. Fuente:Climate Consultant 6.0

Se trata de un periodo otoñal caracterizado por temperaturas bajas y humedad elevada. El motivo son las precipitaciones propias de estos meses. Será por tanto la ganancia solar y de cargas térmicas internas estrategias que acompañarán estos meses. En el caso de una cubierta vegetal, ayudaría la utilización de aislamiento necesario para evitar las pérdidas de calor.

El efecto isla calor es otro factor a tener en cuenta durante el proceso de selección de estrategias. La Fig. 11 muestra la distribución del uso del suelo del barrio Hispanoamérica del Ayuntamiento de Madrid en función de su tipología, y se puede apreciar que el edificio se encuentra en una área urbana.

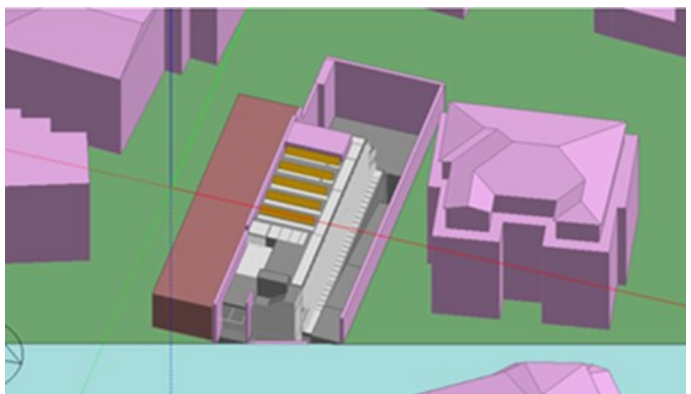


Fig. 12. Modelo del edificio en Design Builder. Fuente: Modelo facilitado por la empresa.

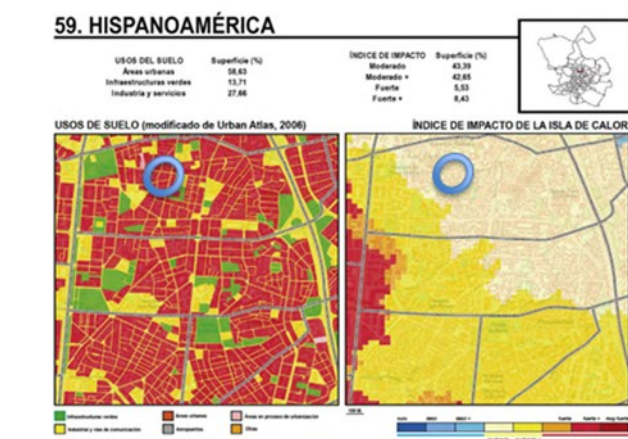


Fig. 11. Índice de impacto de isla de calor zona Hispanoamérica. Estudio de detalle del clima urbano de Madrid, área de gobierno de medio ambiente y movilidad, Ayuntamiento de Madrid, 2016.

### Simulación

A fin de comprobar el comportamiento y posibles mejoras que se derivan del empleo de sistemas de cubiertas que incluyen un acabado vegetal, se va a establecer un primer caso de estudio en el cual se realiza la comparación entre el estado actual de la cubierta y la misma solución en la que se incorpore una cobertura vegetal. Para ello, se emplea el software Design Builder que ya se ha venido usando por parte de la propia compañía para realizar las simulaciones del comportamiento energético actual del edificio. Se ha de tener en cuenta que la información proporcionada por parte de la empresa

sa centra las estrategias para una semana concreta de otoño correspondiente al periodo comprendido entre el 20 de Noviembre y el 3 de Diciembre. Por este motivo, y para generar una comparación consecuente a estos datos, las simulaciones que se van a realizar se desarrollan en el mismo periodo, quedando los resultados sujetos a un comportamiento concreto marcado por la climatología propia del momento.

Otro factor a tener en cuenta es que a fin de comprobar la respuesta bioclimática del edificio ante las condiciones externas y entender cuál de todas las estrategias instauradas es la que presenta mayor efectividad., todos los sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación mecánica se encuentran desactivados, exceptuando la ventilación natural.

Para el **segundo caso de estudio** se analizan las ventajas que conlleva la inclusión de un sistema de cubierta vegetal en una cubierta plana tradicional, como podría ser la que presentaba el proyecto previo a la rehabilitación del año 2009. Además se compara de igual manera con la solución actual de cubierta.

Todos los datos analizados se centrarán en la respuesta que tiene la primera planta del edificio de oficinas, pues es la directamente influenciada por el cambio de cubierta. La distribución de esta planta es como la que se muestra en la Fig. 13.

Superficie exterior	
50,00mm	Arena y grava [1700 < d < 2200]
3,00mm	Resina poliéster no saturado [UP] [no está a escala]
30,00mm	Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800
3,00mm	Cloruro de polivinilo [PVC] [no está a escala]
3,00mm	Resina poliéster no saturado [UP] [no está a escala]
3,00mm	Aluminio [no está a escala]
50,00mm	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable
50,00mm	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable
300,00mm FR Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	
Superficie interior	

Fig. 14. Cubierta en estudio. Tipo R1-a. Fuente: Design Builder

Superficie exterior	
20,00mm	Mortero de cemento o cal para albanilería y para revoc
30,00mm	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [ 0.034 ]
3,00mm	Resina poliéster no saturado [UP] [no está a escala]
30,00mm	Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800
3,00mm	Cloruro de polivinilo [PVC] [no está a escala]
3,00mm	Resina poliéster no saturado [UP] [no está a escala]
3,00mm	Aluminio [no está a escala]
50,00mm	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable
50,00mm	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable
300,00mm FR Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	
Superficie interior	

Fig.15 Cubierta en estudio. Tipo R1-b. Fuente: Design Builder.

Superficie exterior	
20,00mm	Mortero de cemento o cal para albanilería y para revoc
30,00mm	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 [ 0.034 ]
3,00mm	Resina poliéster no saturado [UP] [no está a escala]
30,00mm	Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800
3,00mm	Cloruro de polivinilo [PVC] [no está a escala]
3,00mm	Resina poliéster no saturado [UP] [no está a escala]
50,00mm	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable
50,00mm	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable
100,00mm Hormigón armado 2300 < d < 2500	
3,00mm	Acero [no está a escala]
Superficie interior	

Fig. 16. Cubierta en estudio. Tipo R2-b. Fuente: Design Builder.

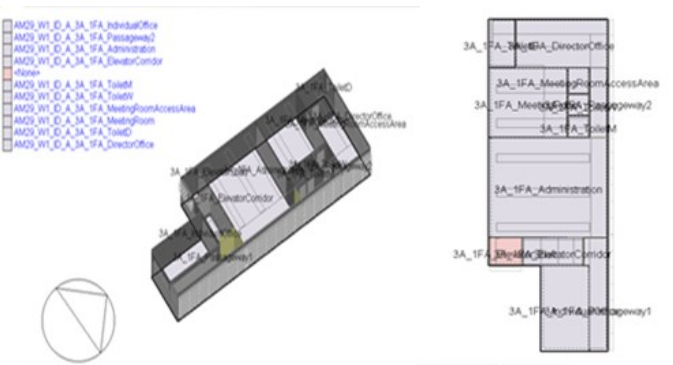


Fig. 13. Modelo en Design Builder de la primera planta. Fuente: Modelo facilitado por la empresa.

**CASO DE ESTUDIO 1**

◦ Simulación Base (SB):

Se realiza la simulación de la cubierta con los componentes estructurales actuales. En el modelo que se facilitó por parte de la empresa se realizó la diferenciación en las terminaciones de la cubierta, por lo que finalmente se obtuvieron tres tipos de soluciones constructivas que se visualizan en las figuras 14-15-16 y que se introdujeron en el modelo como Subcapas.

◦ Simulación 1 (CE1-S1): Cubierta vegetal

Partiendo de la composición estructural actual del edificio de oficinas, se genera una terminación diferente a la planteada a partir de una cobertura vegetal. Se seleccionó para este fin, un sistema de cubierta extensiva como la representada en la Fig.17 con un espesor de sustrato de 20 cm.



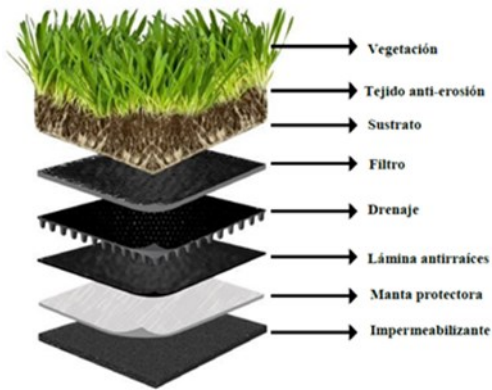


Fig. 17. Cubierta vegetal tipo extensiva.

El modelo de Design Builder tiene la posibilidad de modelar las cubiertas vegetales generando una capa adicional en la que se especifican las características propias del sustrato a emplear con su correspondiente espesor y, adicional a esto, se facilita la opción de incluir las características de la vegetación que se pretende simular, aportando datos como el índice de hojas, la densidad, etc. Con ello, la configuración final es como la de las Fig. 18-19-20.



Fig. 20. Cubierta en estudio. Tipo GR-R2-b. Fuente: Design Builder.

CASO DE ESTUDIO 2

Con intención de ampliar el rango de estudio del comportamiento de las cubiertas vegetales, el caso de estudio 2 se realiza con un enfoque en el comportamiento de la cubierta vegetal a partir de una solución de cubierta plana tradicional como podría ser la que presentaba la edificación antes de la rehabilitación del año 2009.

En este caso, se hará una comparación entre el sistema que presenta el edificio anteriormente nombrado como SB, con una solución de cubierta vegetal.

La primera es la misma solución de cubierta en la cual no se hubiera contemplado un aislamiento que cumpliera con los valores de eficiencia energética, es decir, la misma cubierta que se tenía antes de la rehabilitación del 2009, que se nombrará CE2-S1 (Fig. 21-22-23).



Fig. 18. Cubierta en estudio. Tipo GR-R1-a. Fuente: Design Builder.



Fig. 19. Cubierta en estudio. Tipo GR-R1-b. Fuente: Design Builder.



Fig. 21. Cubierta en estudio. Tipo Cp-R1-a. Fuente: Design Builder

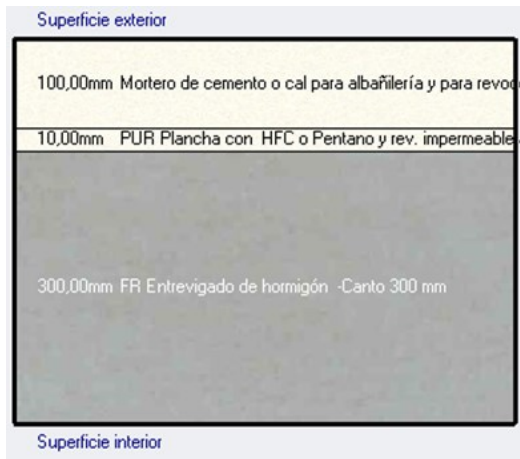


Fig. 22. Cubierta en estudio. Tipo Cp-R1-b. Fuente: Design Builder.



Fig. 25. Cubierta en estudio. Tipo GR- Cp-R1-b. Fuente: Design Builder.

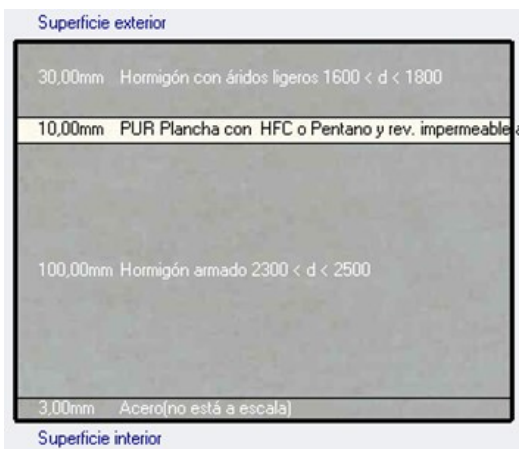


Fig. 23. Cubierta en estudio. Tipo Cp-R2-b. Fuente: Design Builder.

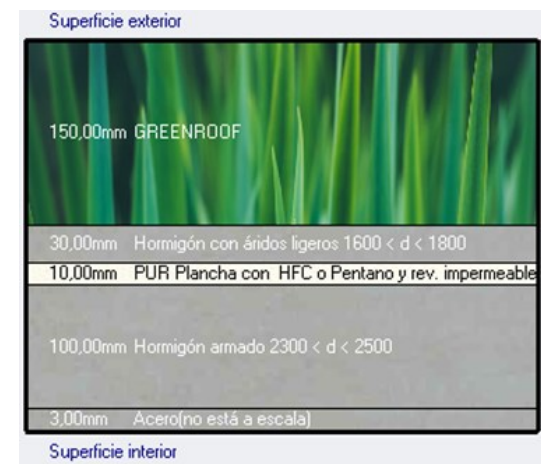


Fig. 26. Cubierta en estudio. Tipo GR- Cp-R2-b. Fuente: Design Builder

La segunda es una solución de cubierta vegetal que se podría haber contemplado como solución durante la rehabilitación en lugar del sistema actual, que se nombrará CE2-S2 (Fig. 24-25 -26). Los componentes que definen cada una de estas soluciones se muestran a continuación. El espesor del sustrato en este caso será de 15 cm.

◦ Simulación 1 (CE2-S1): Cubierta plana tradicional



Fig. 24. Cubierta en estudio. Tipo GR-Cp-R1-a. Fuente: Design Builder.

PROPUESTA ARQUITECTÓNICA

Desde una visión arquitectónica y comprendiendo desde un principio que se saldría de los parámetros de comprobación, de pruebas o ensayos para demostrar su validez; decidimos realizar una propuesta de modificación del espacio transitable de la cubierta. Desde el concepto de aprovechamiento de la mayor cantidad de espacio disponible para ampliar las alternativas de uso alrededor de la arquitectura verde, (Fig. 27) se propone la implementación de una cubierta verde y un espacio para el desarrollo de la agricultura urbana, sin perder los actuales usos y priorizando mantener la cubierta como un captador solar mediante paneles de captación de radiación difusa, el espacio de la unidad de tratamiento de aire y de la conservación de los lucernarios existentes.



Fig. 27. Concepto de diseño, aprovechamiento de espacio en cubierta para cubierta verde y agricultura urbana. Fuente: Pinterest

La integración de las diferentes capas propuestas en la cubierta, como se muestra en la figura 28, pretende encontrar una solución válida para las distintas épocas del año y sostenibles en el tiempo. La intención es que la cubierta verde sea realizada con distintos tipos de sedum, un tipo de vegetación transitable. Posteriormente en un área aproximada a 60,0 m<sup>2</sup>

se ubican las bases para sembrar los alimentos mediante estructuras de cultivos hidropónicos, todo esto cubierto por una estructura que permitirá mantener cerrado el espacio con un efecto de invernadero en los meses en los cuales la temperatura exterior sea perjudicial para el sembrado.

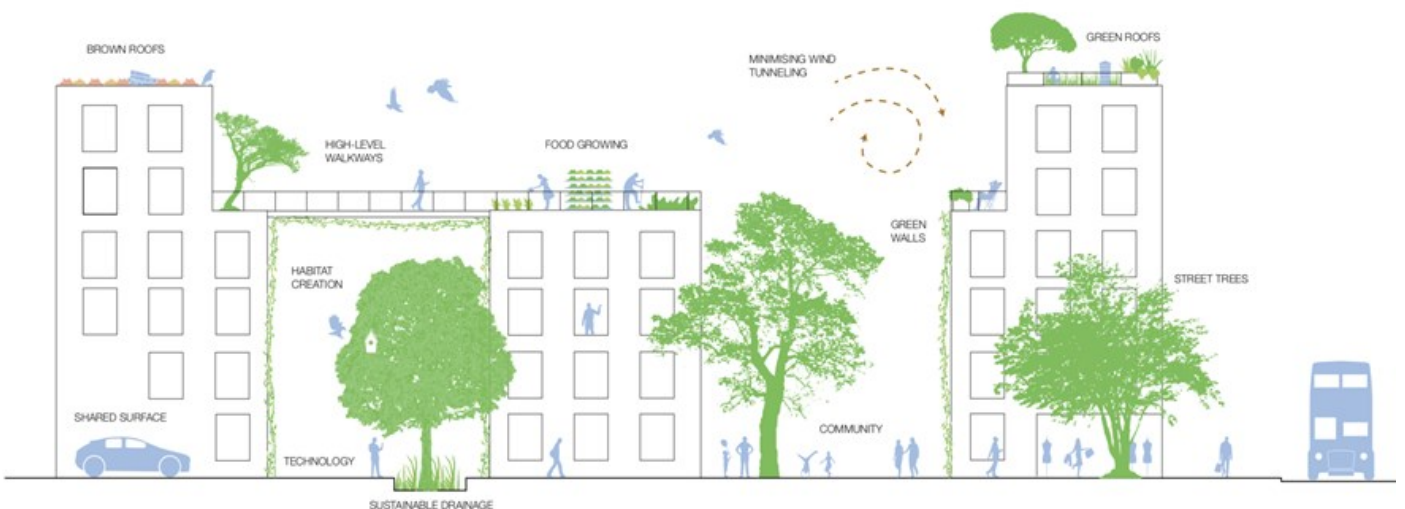


Fig. 28. Concepto de diseño mediante la integración de varias capas de arquitectura verde: techo verde extensivo, agricultura urbana e invernadero en cubierta para protección de la vegetación. Fuente: Cities Alive, Rethinking green infrastructure, ARUP

La propuesta contempla la realización de una estructura metálica que permita la reubicación de los paneles de captación de radiación difusa, colocándolos sobre el espacio a utilizar como parte del proyecto de agricultura urbana y que a su vez permitan cubrir parcialmente la vegetación que se encuentre allí sembrada, proporcionando sombra en los meses

más calurosos.

Toda esta estructura podrá ser cerrada para generar un espacio de temperatura controlada tipo invernadero y de esta forma generar un ecosistema natural para el crecimiento de los vegetales escogidos.

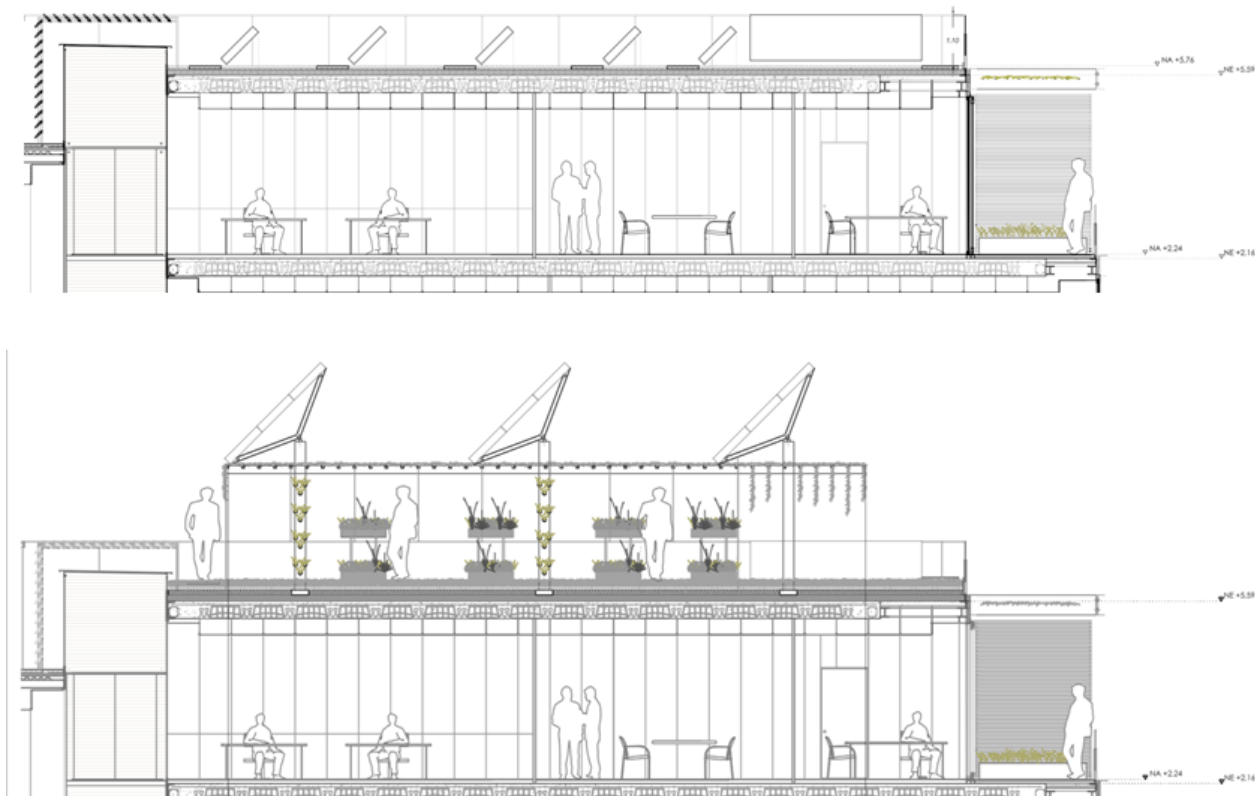


Fig. 29. Propuesta de intervención en cubierta. Aprovechamiento del espacio de cubierta para la generación de un invernadero. Fuente: Elaboración propia.

A su vez la zona de la U.T.A. permanecería cubierta por plantas de tipo enredadera de forma que genere un filtro de aire permitiendo que ingrese al sistema más fresco y húmedo.

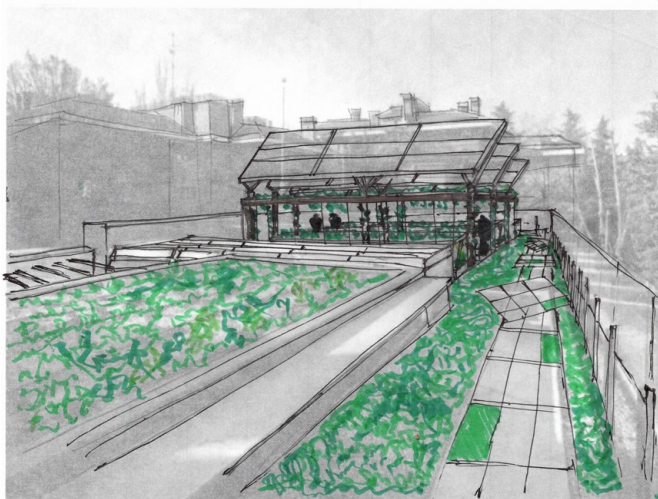


Fig. 30. Cubierta transitable existente y propuesta de intervención. Fuente: Elaboración propia.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

#### CASO DE ESTUDIO 1

Los resultados que se presentan pertenecen a tres estancias de la primera planta, en concreto la oficina de administración,

la sala de reuniones y la oficina del director. Estos espacios fueron elegidos para representar el comportamiento general de toda la planta por sus dimensiones y por presentar diferente configuración en cubierta.

En las gráficas 1 a 6 se observa cómo el empleo de la cubierta vegetal ha mejorado el comportamiento térmico aunque no de manera significativa. A lo largo de la semana, la diferen-

cia en la temperatura operativa en cada uno de los espacios nunca supera 0,5°C. Siendo esta, en algunas ocasiones ganancias positivas debido al uso de la cubierta vegetal, aunque no es un comportamiento que se repita de forma constante a lo largo de la semana y en todas las áreas de la primera planta.

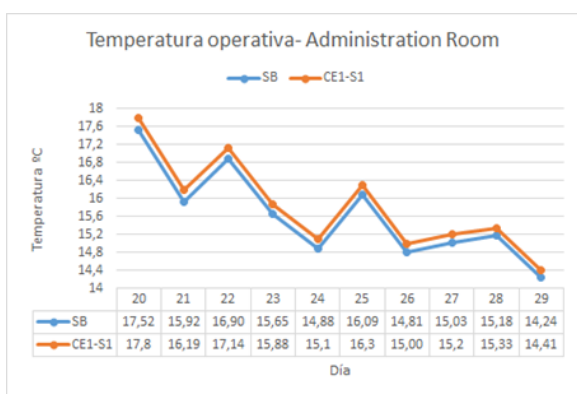
Esta tendencia se corrobora de igual manera con los valores de transmitancia que alcanzan las capas de cubierta, dando en ambos casos valores muy similares (Tabla 1).

El balance térmico es más constante en la solución con cubierta vegetal (CE1-S1). Se aprecia como los valores siempre rondan un intercambio casi nulo de energía. Sin embargo, de manera general, los valores en ambos casos nunca superan los -0.20

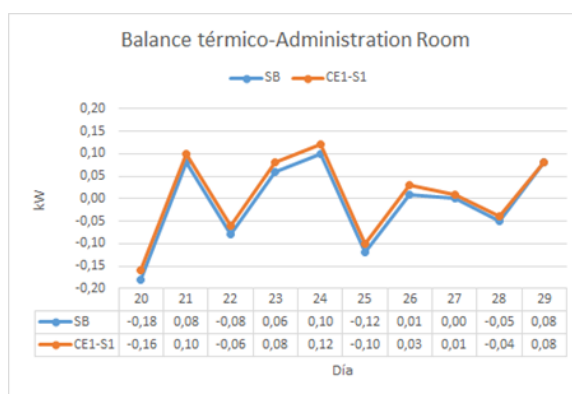
Caso de estudio	Subcapas	U(w/M2k)	R(M2k/W)
SB	R1-a	0,228	4,390
	R1-b	0,190	5,263
	R2-b	0,194	5,167
CE1-S1	GR-R1-a	0,218	4,588
	GR-R1-b	0,183	5,47
	GR-R2-b	0,186	5,364

Tabla 1. Transmitancias de cada solución del caso de estudio 1. Fuente: Elaboración propia.

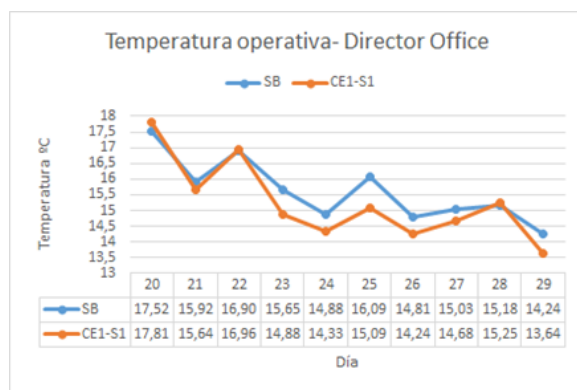
kW a +0.20kW, es decir, la cubierta no es un punto de pérdida energética.



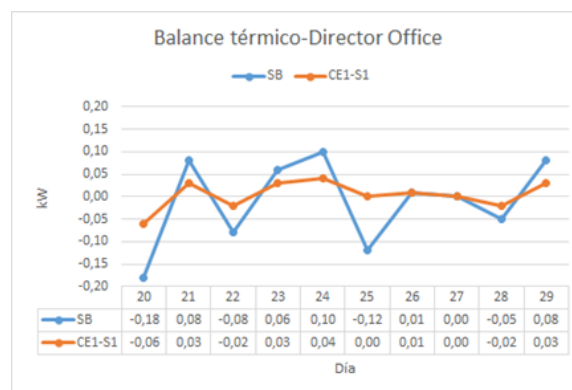
Gráfica 1. Comparativa de la temperatura operativa



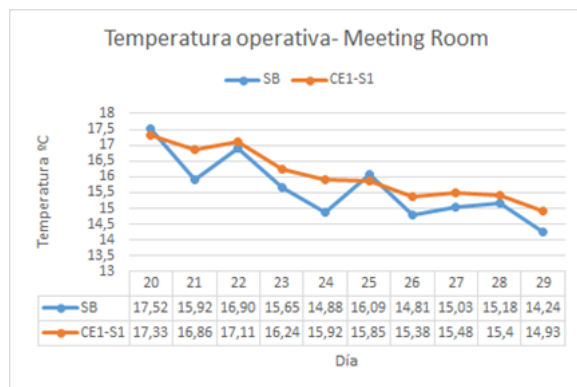
Gráfica 2. Comparativa del balance térmico.



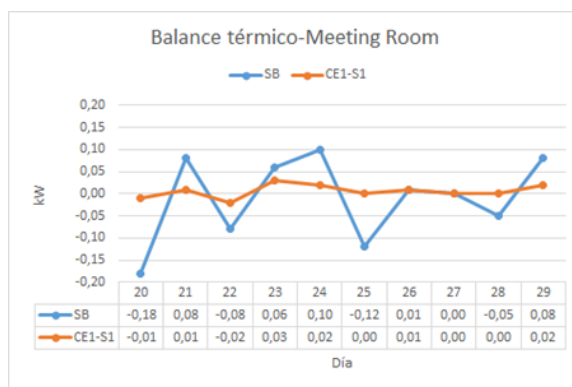
Gráfica 3. Comparativa de la temperatura operativa



Gráfica 4. Comparativa del balance térmico.



Gráfica 5. Comparativa de la temperatura operativa



Gráfica 6. Comparativa del balance térmico.

CASO DE ESTUDIO 2

En las gráficas de la 7 a la 12 evidenciamos grandes diferencias entre el comportamiento de los tres tipos de cubiertas estudiados. Por un lado, la cubierta plana tradicional (CE2-S1), presenta unos valores de transmitancia bastante elevados con respecto a la solución actual (SB). La cubierta que involucra una terminación vegetal (CE2-S2) presenta mejoras respecto a la primera, pero no sucede de igual manera respecto a las segunda, pues con respecto a la SB, aún se aprecia unas diferencias significativas. En la tabla 2 se presentan los valores de transmitancia y resistencia térmica correspondiente a cada sistema y sus consiguientes capas.

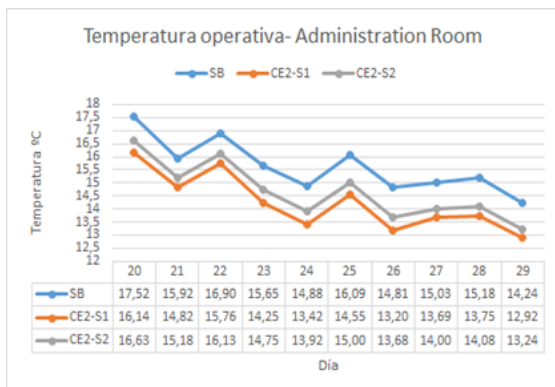
Las variaciones de temperatura operativa en las estancias alcanzan diferencias marcadas que se mantienen a lo largo de la semana en estudio. La cubierta actual (SB), con un buen sistema de aislamiento, logra mantener unas temperaturas superiores en el interior con respecto a las otras dos soluciones estudiadas. En el caso de comparar el CE2-S1 y CE2-S2, se pueden observar claramente las mejoras que generan el uso de una terminación vegetal. Tanto en las temperaturas como en el balance energético. De manera global se puede decir

Caso de estudio	Subcapas	U(w/M2k)	R(M2k/W)
SB	R1-a	0,228	4,390
	R1-b	0,190	5,263
	R2-b	0,194	5,167
CE2-S1	Cp-R1-a	1,396	0,716
	Cp-R1-b	1,304	0,767
	Cp-R2-b	1,640	0,610
CE2-S2	GR-Cp-R1-a	1,065	0,939
	GR-Cp-R1-b	1,010	0,990
	GR-Cp-R2-b	1,201	0,832

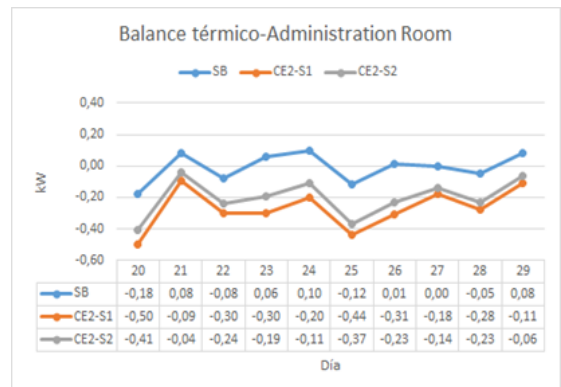
Tabla 2. Transmitancias de cada solución del caso de estudio 1. Fuente: Elaboración propia.

que las diferencias de temperatura entre uno y otro no son nunca superiores a 1.5°C.

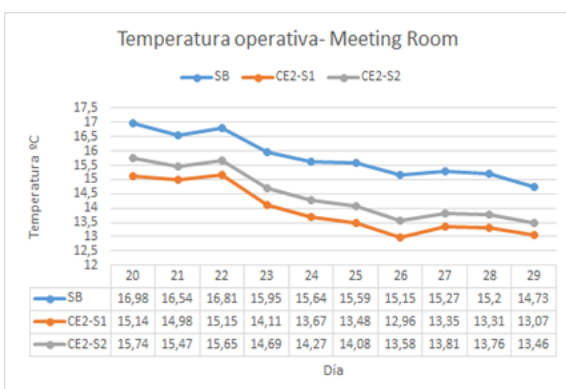
En cuanto al balance térmico, las pérdidas energéticas que se producen por las cubiertas CE2-S1 y CE2-S2 alcanzan valores de hasta 0,50 kWh mientras que en la SB existen incluso ganancias.



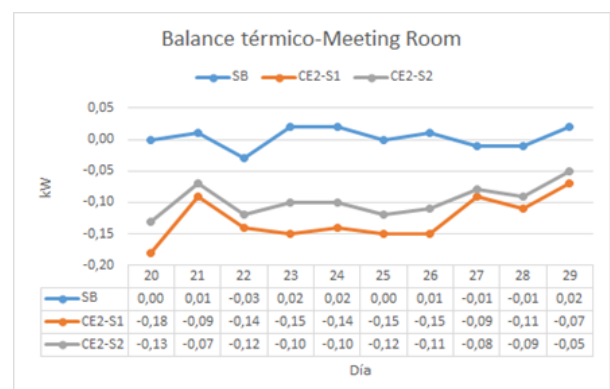
Gráfica 7. Comparativa de la temperatura operativa



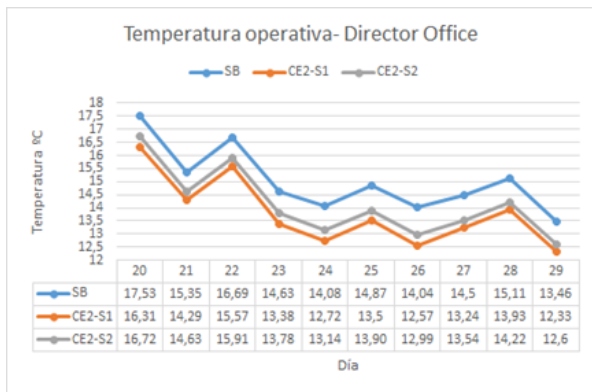
Gráfica 8. Comparativa del balance térmico.



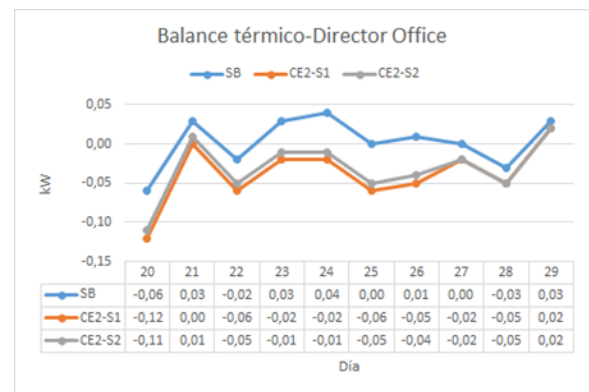
Gráfica 9. Comparativa de la temperatura operativa



Gráfica 10. Comparativa del balance térmico.



Gráfica 11. Comparativa de la temperatura operativa



Gráfica 12. Comparativa del balance térmico.

#### 4.2 INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN EL ESTADO ANÍMICO DE LOS TRABAJADORES

Se han realizado diversos estudios para cuantificar y valorar la influencia que tienen las plantas en espacios residenciales o ambientes laborales. Los resultados obtenidos demuestran que los elementos vegetales reducen los compuestos orgánicos volátiles en un 80% y el dióxido de carbono en hasta un 25% en oficinas, lo que ofrece importantes beneficios en la salud de los trabajadores [14].

La investigación llevada a cabo en Australia por Margaret Burchett et al. a través de instrumentos psicológicos bajo estándares internacionalmente reconocidos, han demostrado que la incorporación de vegetación en un ambiente laboral alivia el estrés y reduce los estados de ánimo negativos hasta en un 60%, y que para generar esta diferencia positiva solo es necesario una planta en el lugar de trabajo. Esta investigación ha demostrado que las plantas en un entorno laboral pueden reducir hasta el 37% la tensión y la ansiedad, en un 58% la depresión y el abatimiento, un 44% la ira y la hostilidad, un 38% en fatiga y el 30% en confusión y un aumento del 5% en el vigor [15]

### 5. CONCLUSIONES

- ◊ Mediante el uso del software de simulación energética Design Builder y a través de la exploración del modelo creado de acuerdo a la realidad constructiva del edificio, hemos podido generar diferentes propuestas de intervención teniendo en cuenta que es una herramienta muy útil para comparar distintos escenarios teóricos y simular ágilmente el comportamiento del edificio y la influencia en el mismo de las decisiones de diseño propuestas.
- ◊ De acuerdo a los casos de estudio simulados energéticamente podemos observar cómo en la semana de otoño, la cubierta vegetal presenta una leve mejoría aumentando la temperatura interior en 0,5 grados

C, tras la inclusión de una capa vegetal de 20,0 cm de espesor.

- ◊ Al realizar una exploración desde un punto de vista arquitectónico, surgen diferentes visiones sobre las alternativas de uso y aprovechamiento de los espacios de cubierta, donde claramente los resultados no se centran en las compensaciones en consumo o en la eficiencia energética del edificio, sino en crear influencias más subjetivas en los usuarios que son cada vez más exploradas por las soluciones verdes en las edificaciones alrededor del mundo.
- ◊ Es posible generar nuevos espacios de uso mediante la implementación de soluciones de arquitectura verde, partiendo de un diseño respetuoso ambientalmente y que complementen las demás soluciones de eficiencia energética, bioclimáticas o preexistentes en la edificación pero ampliando el margen de confort al orientarlas al beneficio de la calidad de vida de los usuarios y de la comunidad.
- ◊ De acuerdo a algunos estudios citados, que cuentan con investigaciones acerca de personas ubicadas en espacios con soluciones vegetales, a través de distintos test físicos y mentales, refieren aumentos de bienestar, productividad y salud en estas, demostrando la influencia positiva de este tipo de soluciones en las condiciones físicas y mentales de las personas.

### 6. REFERENCIAS

- [1] M. Casini, «1 - Designing the third millennium's buildings», en Smart Buildings, Woodhead Publishing, 2016, pp. 3-54.
- [2] «What is green building? | World Green Building Council». [En línea]. Disponible en: <http://www.worldgbc.org/what-green-building>. [Accedido: 01-jun-2018].
- [3] «Cities Alive Green Building Envelope - Arup». [En línea]. Disponible en: <http://www.arup.com/publications/research/section/cities-alive-green-building>.

envelope. [Accedido: 01-jun-2018].

[4] «About Green Roofs», Green Roofs for Healthy Cities. [En línea]. Disponible en: <https://greenroofs.org/about-green-roofs/>. [Accedido: 01-jun-2018].

[5] «World Urbanization Prospects - Population Division - United Nations». [En línea]. Disponible en: <https://esa.un.org/unpd/wup/>. [Accedido: 01-jun-2018].

[6] «It's Alive | Arup Foresight». [En línea]. Disponible en: <http://www.driversofchange.com/projects/its-alive/>. [Accedido: 02-jun-2018].

[7] «Cities Alive Rethinking green infrastructure - Arup». [En línea]. Disponible en: <http://www.arup.com/publications/research/section/cities-alive-rethinking-green-infrastructure>. [Accedido: 01-jun-2018].

[8] «Pasona Urban Farm by Kono Designs», Dezeen, 12-sep-2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.dezeen.com/2013/09/12/pasona-urban-farm-by-kono-designs/>. [Accedido: 31-may-2018].

[9] J. Breuste, J. Schnellinger, S. Qureshi, y A. Faggi, Urban Ecosystem services on the local level: Urban green spaces as providers, vol. 32. 2013.

[10] Laforteza R, Carrus G, Sanesi G, Davies C. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2009;8(2):97-108.

[11] W. Valley y H. Wittman, «Beyond feeding the city: The multifunctionality of urban farming in Vancouver, BC», *City, Culture and Society*, abr. 2018.

[12] «Young British inventor wins top UN Environmental award», UN Environment. [En línea]. Disponible en: <http://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/young-british-inventor-wins-top-un-environmental-award>. [Accedido: 12-mar-2018].

[13] «Julia Ayuso | Diseño de espacios de trabajo de alto rendimiento», Julia Ayuso. [En línea]. Disponible en: <https://www.julia-ayuso.com/>. [Accedido: 04-jun-2018].

[14] Ambius Fact Sheet: Plant life balance [Internet]. - [cited 2018 May 31]. Available from, [<http://www.ambiusindoorplants.com.au/news/latest-news/AMB468%20%20Fact%20Sheet%20PLB%209-5.pdf>]

[15] Burchett, M., Torpy, F., Brennan, J., & Craig, A. (2010). *Greening the great indoors for human health and wellbeing*. Sydney: Plants and Indoor Environmental Quality Group, Centre for Environmental Sustainability (CENS).

---

## WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at [bm.edificacion@upm.es](mailto:bm.edificacion@upm.es). Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.