

REVEGETACIÓN URBANA COMO SOLUCIONES DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Jon Laurenz¹, Daniel Roeher², Jone Belausteguioitia³

RESUMEN

Este artículo pretende analizar las soluciones urbanas de infraestructura verde desde el punto de vista de la arquitectura y el urbanismo. Se trata de un concepto muy amplio y transversal que engloba disciplinas y profesiones muy diferentes; las cuales deben alimentarse unas a otras para conseguir la mejor solución urbana posible.

Por ello, desde el enfoque de la arquitectura y el urbanismo, este artículo trata de aportar una serie de datos sobre cómo la infraestructura urbana verde contribuye a la mitigación y adaptación al cambio climático. De este modo, esta investigación analiza los beneficios urbanos que se alcanzan a través de una intervención urbana verde global; la cual incluye cubiertas vegetales, fachadas vegetales y soluciones urbanas de drenaje sostenible. Su contribución a la mitigación y a la adaptación al cambio climático se estudian desde diferentes aspectos tales como: la reducción en la demanda energética del edificio; la capacidad de bio-retención de las aguas torrenciales, y, por lo tanto, disminuyendo los riesgos de inundaciones; la reducción de espacios urbanos cálidos que contribuyen a la isla de calor; y la contribución a la salud urbana. Para ello primero se incluye una clasificación de soluciones urbanas verdes, analizando diferentes casos de estudio realizados en Alemania, España, Canadá, y EEUU; con el fin de identificar la contribución de estas soluciones urbanas verdes a la mitigación y adaptación al cambio climático. Tras este análisis se desarrollan una serie de herramientas urbanas para fomentar este tipo de soluciones tanto desde la administración pública, como desde la promoción privada. Se analizan una serie de herramientas urbanas para poder implementarse en las normativas urbanas municipales con el fin de ayudar a impulsar y a desarrollar estrategias y políticas urbanas en esta dirección. Finalmente, se proponen aplicar estas soluciones urbanas verdes a unos proyectos urbanos concretos en Amurrio (Araba, Spain) y Balmaseda (Bizkaia, Spain). El artículo concluye aportando datos sobre la contribución de los proyectos urbanos verdes planteados a la mitigación y adaptación al cambio climático y propone que se deberían extender en las ciudades, este tipo de intervenciones urbanas verdes, a mayor escala, para conseguir minimizar las consecuencias del cambio climático en los espacios urbanos.

Palabras clave: cambio climático, bio-retención, pavimentos verdes, fachadas verdes.

SUMARIO

1. Introducción. 2. Metodología. 3. Clasificación de las infraestructuras urbanas verdes. 3.1. Envoltentes Verdes de los Edificios: Cubiertas y Fachadas Vegetales. 3.1.1. Fachadas Vegetales (en inglés se conocen como green walls o living walls). 3.1.2. Cubiertas Vegetales (conocidas en inglés como green roofs o living roofs). 3.2. Infraestructura Urbana Verde en el espacio público. 3.2.1. Sombreamiento Verde (en el término inglés: Green Canopies). 3.2.2. Sistemas de Infiltración Verde (Green Infiltration Systems). 3.2.3. Pavimentos Verdes. 3.2.4. Áreas de bio-retención. 4. Herramientas y estrategias de normativas urbanas. 5. Contribución de las intervenciones urbanas verdes para la mitigación y adaptación al cambio climático: casos de estudio. 6. Conclusión y discusión. 7. Referencias

1. Introducción

Este artículo defiende la necesidad de realizar intervenciones globales de infraestructuras

urbanas verdes como respuesta a las consecuencias del cambio climático. Tras el Acuerdo Internacional de París de 2015¹, que resultó ser

¹ Arquitecto y doctorando por la Universidad del País Vasco

² Profesor Asociado de la Escuela de Arquitectura y Paisajismo de la Universidad British Columbia, Canadá

³ Arquitecta y doctoranda por la Universidad del País Vasco

¹ <https://unfccc.int/>

un punto de inflexión en el compromiso internacional de los países para combatir los riesgos del cambio climático. Unido este acuerdo al último informe de octubre de 2018 del Panel Intergubernamental sobre el cambio Climático (IPCC)² en el que se insta a tomar acciones urgentes para limitar los impactos del Cambio Climático; esta investigación propone nuevos diseños de regeneración urbana basados en una profunda intervención urbana verde.

¿Pero tienen sentido este tipo de intervenciones urbanas verdes? ¿Merecen la pena? ¿En qué términos se logran los beneficios ambientales que se les presupone? En este escrito se analiza la idoneidad de este tipo de intervenciones, y pretende aportar datos sobre sus beneficios urbanos ambientales. Estudia en qué medida se alcanzan diferentes objetivos ambientales implementando estos conceptos de diseño urbano verde a dos proyectos concretos de diferente escala; a escala de edificio en Balmaseda, Bizkaia y a escala urbana en Amurrio, Araba. En el caso de la rehabilitación del edificio de Balmaseda, se combina una cubierta vegetal y la integración de un invernadero en el bajo-cubierta con un diseño de jardines de agua en el jardín contiguo al edificio. En el caso del diseño urbano verde propuesto en Amurrio se combinan soluciones de drenaje urbano sostenible, parkings verdes, y pérgolas vegetales. Mediante estos proyectos de regeneración urbana verde se comprueba la necesidad de integrar este tipo de soluciones urbanas verdes en proyectos de regeneración urbana que reducen considerablemente diferentes impactos del cambio climático; tanto mediante soluciones de mitigación (cubiertas vegetales) como mediante soluciones de adaptación (sistemas de drenaje urbano sostenible y sombreamientos vegetales). Finalmente, se proporcionan una serie de herramientas urbanas para poder implementar este tipo de soluciones urbanas verdes en las normativas urbanas.

2. Metodología

Este análisis comienza recopilando un compendio de buenas prácticas de infraestructura urbana verde en diferentes partes del mundo. Una vez analizadas las clasifica en dos principales categorías: a escala del edificio, como infraestructura urbana verde en el espacio privado; y a escala urbana, como infraestructura urbana verde en el espacio público. Estas dos principales categorías se desglosan a su vez en distintas subcategorías.

La investigación identifica entonces una serie de oportunidades que representan las infraestructuras urbanas verdes. Explora las contribuciones que este tipo de intervenciones urbanas verdes proporcionan para mitigar el cambio climático divididas en dos campos principales: el primero referente a las soluciones de adaptación al cambio climático; en cuanto a la reducción de los efectos de la isla de calor; de la escorrentía de las lluvias y por lo tanto de los riesgos de inundación; así como la contribución a las calidades del agua y del aire (salud urbana). El segundo referente a las soluciones de mitigación al cambio climático, en términos de eficiencia energética y la reducción en las emisiones de CO₂.

El estudio analiza además una serie de herramientas y estrategias urbanas para poder implementar este tipo de soluciones en las diferentes normativas urbanas municipales. Incluye un estudio sobre diferentes herramientas urbanas desarrolladas con la finalidad de impulsar este tipo de soluciones urbanas verdes, llevadas a cabo en diferentes partes del mundo; enfocadas tanto a los espacios urbanos públicos como privados.

Considerando todo este análisis previo, el artículo propone implementar una intervención urbana verde a dos casos de estudio reales, y analizar su contribución a mitigar y adaptarse

² IPCC Press Release, 2018/10/08.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_en.pdf

al cambio climático. De este modo, se proponen una serie de soluciones urbanas en un espacio urbano público de Amurrio (Araba) y en un edificio existente en Balmaseda (Bizkaia), incluido su espacio de jardín adosado. En el caso del espacio urbano de Amurrio, se trata de un espacio dominado principalmente por los coches, en el que el 95% de la superficie urbana es impermeable. El proyecto de regeneración urbana verde propone incrementar la superficie verde hasta el 25% de la superficie urbana total. Para ello combina diferentes soluciones urbanas verdes como las áreas de bio-retención y las pérgolas vegetales, como soluciones de adaptación al cambio climático.

Mientras que en el caso del proyecto de rehabilitación del edificio de Balmaseda y su jardín, se implementan soluciones de adaptación y mitigación al cambio climático. En el caso de las soluciones de mitigación, se proponen soluciones de eficiencia energética, mediante un importante aislamiento térmico de las fachadas del edificio, su cubierta y ventanas; llegando a reducir más del 55% de la demanda energética del edificio. En cuanto a las soluciones de adaptación el proyecto incluye un invernadero integrado en el bajo-cubierta del edificio; así como unas tejas vegetales y sistemas constructivos secos para minimizar la generación de residuos de la rehabilitación. En el jardín se proponen soluciones de jardines de agua, exponiendo el tratamiento natural de las aguas pluviales recibidas en el espacio verde. La investigación proporciona unos datos concretos sobre cómo las soluciones propuestas contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático.

El artículo culmina con las conclusiones de la investigación y con la discusión que se pretende fomentar a través de este estudio. Reclama más estudios e investigaciones urbanas de este tipo para poder impulsar y desarrollar

intervenciones de regeneración urbana verde a mayor escala; y explora la contribución y barreras halladas al implementar este tipo de soluciones urbanas verdes en los proyectos de regeneración urbana.

3. Clasificación de las infraestructuras urbanas verdes

Cada vez son más los ejemplos que se pueden hallar en muchas ciudades de todo el mundo, dentro del concepto de infraestructura urbana verde. Existen, además, muchos términos utilizados para referirse a conceptos muy similares. En este apartado se pretende recoger y analizar dichos términos, así como clasificarlos en diferentes tipos de Infraestructura Urbana Verde. De este modo, en Europa es muy común referirse al concepto de soluciones de adaptación al cambio climático, como "Soluciones Basadas en la Naturaleza" (en inglés: Nature-Based Solutions: NBS); y Renaturalización de las ciudades (en inglés "Re-naturing Cities"³). Resulta también habitual encontrarse con el término usado en todo el mundo de los Sistemas de Drenaje Sostenible (en inglés Sustainable Urban Drainage: SUD) (Mrowiec, 2016); así como Re-vegetación Urbana (urban re-vegetation) (Schröder, Glan-dorf y Kiehl, 2018). En Estados Unidos, y más concretamente en la costa oeste del país, es muy común referirse a este concepto mediante el término de Desarrollos de Bajo Impacto (Low Impact Developments: LID) (Radcliffe, 2017); o en el caso de Canadá suele ser más frecuente usar el término de Calles Verdes (Green Streets) (Roehr, Laurenz y Kong, 2008). Este artículo propone englobar todos estos términos bajo el paraguas del concepto de las Infraestructuras Urbanas Verdes (Green Urban Infrastructure) (Mathey, Arndt, Banse. y Rink; 2018) considerando que es el concepto que mejor recoge la globalidad

³ European Commission. Nature-Based Solutions; Policy Topics Online, <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>.

de los diferentes términos hallados durante el análisis internacional realizado.

Una vez realizado este análisis de los diferentes conceptos se realiza una clasificación de las Infraestructuras Urbanas Verdes dividiéndolas en dos categorías principales: Aquellas asociadas a los sistemas constructivos de un edificio – Envolvente Verde de los Edificios; y aquellas asociadas al espacio público urbano – Infraestructura urbana pública verde. Se recogen a continuación las diferentes subcategorías de cada una de estas dos principales categorías:

3.1. Envolventes Verdes de los Edificios: Cubiertas y Fachadas Vegetales

Esta primera categoría de las Infraestructuras Urbanas Verdes en los edificios se compone de dos sistemas constructivos principales: Fachadas Vegetales y Cubiertas Vegetales; tal y como se describen a continuación.

3.1.1. Fachadas Vegetales (en inglés se conocen como green walls o living walls)

Tal y como se reflejaba en una investigación anterior se clasifican las fachadas vegetales en fachadas vegetales transparentes y opacas. (Figura 1). Estos dos tipos principales de fachadas vegetales se dividen a su vez en otras cinco subcategorías: en cuanto a las fachadas vegetales opacas, se desglosan entre aquellas plantas trepadoras que cubren un muro opaco; aquellas que actúan como un tapiz vegetal; y aquellas que aquellas compuestas por paneles vegetales modulares.

Types of Green Façade	
1 OPAQUE	Greenery climbing through an opaque wall
	Greenery attached to an opaque wall as a green tapestry
	Greenery composed of green vertical panels
2 TRANSPARENT	Greenery between two transparent layers
	Greenery in the external layer and a transparent wall as the internal layer

Figura 1. Tipos de Fachada Vegetal. (Laurenz y Roehr, 2008)

En cuanto a las fachadas vegetales transparentes se desglosan en aquellas cuya vegetación se

dispone entre dos pieles transparentes; y aquellas en las que la vegetación cubre externamente una piel transparente a modo de celosía vegetal (Laurenz y Roehr, 2008).

3.1.2. Cubiertas Vegetales (conocidas en inglés como green roofs o living roofs)

Al igual que en el caso de las fachadas vegetales, las cubiertas vegetales se clasifican también en dos grupos principales: cubiertas vegetales extensivas e intensivas (Bonoli, Conte, Maglionico, y Stojkov, I, 2013). El espesor de la capa vegetal es lo que determina una u otra tipología, que conlleva a su vez un tipo de plantas u otras. Si la capa vegetal es moderada, de entre 8-15 cm se consideran como cubiertas vegetales extensivas; mientras que a partir de ese espesor se tratan de cubiertas vegetales intensivas. (Figura 2).

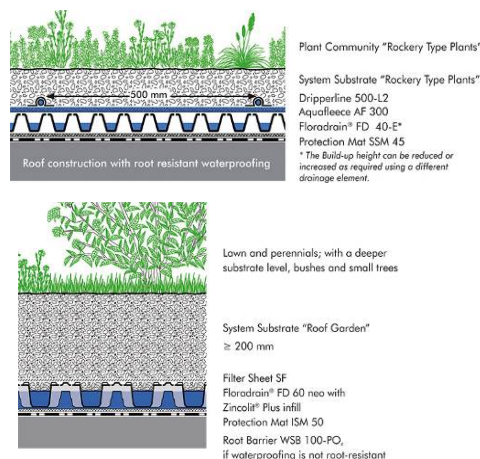


Figura 2. Sistemas de Cubiertas Vegetales de Zinco. <https://zinco-greenroof.com/green-roof-systems>

3.2. Infraestructura Urbana Verde en el espacio público

Si bien los parques urbanos son los espacios verdes clásicos de las ciudades, en esta clasificación de Infraestructuras Urbanas Verdes en el espacio público, no se incluyen estos espacios urbanos verdes, por ser suficientemente amplios para ser tratados en una investigación específica. Del mismo modo se han considerado los corredores o bulevares verdes. Por lo que en esta investigación se han tenido en cuenta los siguientes grupos de Infraestructuras Urbanas Verdes:

3.2.1. Sombreamiento Verde (en el término inglés: Green Canopies)

Se distinguen dos tipos principales de cubriciones vegetales urbanas: sombreamientos urbanos naturales, como los árboles; o las que requieren de elementos artificiales como las plantas trepadoras en pérgolas o entramados de diferente tipo; y las cubriciones verdes relacionadas con la generación de energía verde como los sombreamientos fotovoltaicos, o incluso eólico. Aunque estos últimos contribuyen definitivamente a la mitigación del cambio climático; no se incluyen en este análisis por centrarse más concretamente a los sombreamientos vegetales propiamente dichos. Las siguientes imágenes recogen algunos ejemplos de los sombreamientos vegetales (Figura 3).

3.2.2. Sistemas de Infiltración Verde (Green Infiltration Systems)

Se encuentran muchos diferentes tipos de ejemplos en esta tipología; los cuales se agrupan en cuatro grupos principales: Zanjas de infiltración; Pozos de infiltración; Drenes filtrantes; y Cunetas verdes (Figura 4).

3.2.3. Pavimentos Verdes

Esta investigación considera aquellos que son permeables, los cuales se distinguen en dos tipos: pavimentos permeables que pueden ser tanto modulares como continuos; y en ambos casos pueden además capturar la contaminación del aire. En esta clasificación no se incluyen aquellos pavimentos considerados como permeables pero que son impermeables y el agua filtra a través de sus juntas. Las siguientes imágenes muestran varios ejemplos de este tipo de pavimentos verdes (Figura 5).



Figura 3: Ejemplos de sombreamiento vegetal (Carponi, 1993) y pérgolas vegetales de la Exposición Internacional de Sevilla, 1992.



Figura 4: Ejemplos de Sistemas de Infiltración Verdes: zanjas y cunetas verdes. (Rodríguez-Rojas. 2015)



Figura 5: Imágenes de diferentes tipos de pavimentos verdes (imágenes por el autor)

3.2.4. Áreas de bio-retención

Las áreas de bio-retención se desglosan en tres tipos principales: estanques de retención;

humedales; y jardines de lluvia. Se incluyen a continuación varios ejemplos de estos tipos de áreas de bio-retención (Figura 6)



Figura 6: Diferentes imágenes de las áreas de bio-retención (imágenes por el autor)

4. Herramientas y estrategias de normativas urbanas

Este apartado analiza cómo desde la administración pública se puede fomentar e impulsar este tipo de intervenciones urbanas verdes. Para ello proporciona una serie de herramientas urbanas desarrolladas en diferentes partes del mundo y que han servido para facilitar la implementación de este tipo de intervenciones verdes en los proyectos urbanos municipales, o incluso en los proyectos de planificación urbana. Se han analizado, primero, diversas iniciativas plasmadas en normativas urbanas, que han facilitado la ejecución de infraestructuras urbanas verdes en diferentes ciudades. Se trata de las iniciativas conocidas como “factores verdes” que han impulsado y aumentado este tipo de intervenciones en las ciudades. El primer ejemplo analizado ha sido el caso de Berlín y Hamburgo en los 90 a través del Factor del área de Biotopo⁴. De manera similar, en 2001, en Malmö, Suecia, se desarrolló el llamado “Factor de espacio verde” (Kruuse, 2011); así como el caso del Factor Verde de Seattle de 2007⁵; o

más recientemente, 2017, el Factor Urbano Verde (Urban Greening Factor) desarrollado en Londres (Grant, 2017).

Destacan también las iniciativas para el impulso de las cubiertas vegetales en la ciudad llevadas a cabo en Toronto, mediante la conocida normativa “Green Roof Bylaw” (en 2009)⁶ o, como ejemplo más cercano, en el caso del ayuntamiento de Barcelona que ofrece ayudas económicas para la rehabilitación y renaturalización de las cubiertas (en 2015)⁷

Tomando estas iniciativas como punto de partida se ha desarrollado un análisis de cómo se podrían implementar este tipo de factores verdes en normativas de planeamiento urbano estatales. Para ello se han identificado seis instrumentos urbanos de diferentes niveles del planeamiento urbano: desde los planes generales de ordenación urbana; a los de menor nivel como los planes especiales; o las ordenanzas urbanas; aplicados tanto a los edificios como a la escala urbana. Incluye un estudio de la integración de las soluciones de adaptación al cam-

⁴ https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/landschaftsplanung/bff/index_en.shtml

⁵ [https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-\(a-z\)/seattle-green-factor](https://www.seattle.gov/sdci/codes/codes-we-enforce-(a-z)/seattle-green-factor).

⁶ <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/green-roofs/green-roof-bylaw/>.

⁷ <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/ciudad-verde-y-biodiversidad/azoteas-vivas-y-cubiertas-verdes>.

bio climático en los diferentes instrumentos urbanísticos, así como los desarrollos de normativas para las medidas de adaptación. Se han recogido estas iniciativas en una herramienta Excel que pretende ayudar a implementar las intervenciones urbanas verdes en las diferentes normativas urbanísticas. Se relacionan los instrumentos urbanos con las medidas de adaptación al cambio climático. Se dividen en 3 categorías principales, correspondientes a la identificación de los riesgos climáticos como las olas de calor; las inundaciones; y las sequías. Como resultado se han identificado 124 medidas de adaptación al cambio climático, los cuales se han relacionado con los seis instrumentos urbanísticos. Las diferentes medidas se han traducido a artículos urbanísticos que pueden ser incluidos en los seis diferentes niveles de las herramientas urbanas, con la finalidad de facilitar la implementación de este tipo de intervenciones urbanas verdes.

Finalmente se desarrollan en mayor detalle dos instrumentos urbanísticos concretos, como son las ordenanzas de edificación y de urbanización que integran varias de las soluciones urbanas de mitigación y adaptación al cambio climático; para poder implementarse en proyectos concretos de urbanismo y edificación.

5. Contribución de las intervenciones urbanas verdes para la mitigación y adaptación al cambio climático: casos de estudio

Este apartado se basa en investigaciones desarrolladas para identificar las contribuciones de las infraestructuras urbanas verdes en la mitigación y adaptación al cambio climático. En cuanto a las soluciones de mitigación al cambio climático se centra en la reducción de las emisiones de CO₂ derivadas de la eficiencia energética aportadas por las envolventes vegetales de los edificios. En cuanto a las soluciones de adaptación al cambio climático se centra en la contribución de las infraestructuras urbanas

verdes en reducir los efectos de la isla de calor urbana; reducción de las escorrentías y por lo tanto en el riesgo de inundaciones; así como su contribución en la calidad del aire y del agua (y salud urbana). Estos datos se aplican, gracias a un proyecto LIFE europeo⁸, en dos proyectos reales concretos, unos a escala de edificio en la localidad de Balmaseda (Bizkaia); y otro a escala urbana en la localidad de Amurrio (Álava).

En el caso de la rehabilitación del edificio de Balmaseda, se proponen seis soluciones innovadoras de mitigación y adaptación al cambio climático: un invernadero integrado en el espacio de bajo-cubierta del edificio, con un amplio lucernario móvil; la propuesta de las tejas vegetales; el agua pulverizada en la cubierta; los sistemas constructivos secos; y jardines de agua en el espacio del jardín contiguo al edificio. Se adjuntan a continuación una serie de imágenes que muestran las diferentes soluciones planteadas (Figuras 7 y 8).

Se ha investigado la contribución de este tipo de rehabilitación de edificio en términos de soluciones de mitigación al cambio climático. Concretamente, la contribución de las cubiertas y fachadas vegetales a la eficiencia energética del edificio, y consecuentemente a la reducción de las emisiones del CO₂ derivado de esa eficiencia energética. De este modo, se toman datos basados en investigaciones relacionadas que muestran por ejemplo cómo las cubiertas vegetales reducen en hasta el 75% la necesidad de aire acondicionado del edificio (Liu y Baskaran, 2003). Otras investigaciones aportan datos de cómo las fachadas vegetales contribuyen a reducir la temperatura exterior de una fachada oeste en hasta 4°C en un día soleado de agosto en Japón (Hoyano, 1988); o de 5°C en Sudáfrica (Holm, 1989). Esta capacidad de la vegetación en reducir las temperaturas de las fachadas tiene un resultado directo en la reducción de la energía de refrigeración necesaria en el edificio de hasta el 31 %, o arbolados

⁸ <https://goodlocaladapt.com/es>

frente a viviendas que las protegen del viento podrían reducir la demanda de calefacción en hasta el 15% (McPherson, Nowak et. al., 1993). Investigaciones basadas en simulaciones energéticas de ordenador muestran cómo en un clima cálido como el de Madrid, se puede reducir la demanda de refrigeración en hasta el 45% y la de calefacción en un 23% (Laurenz, 2005). Esto significa también que las emisiones de

CO₂ producidas al generar esa energía se reduce en el mismo porcentaje. Por lo tanto, basado en estos datos, esta investigación estima que en términos generales las envolventes vegetales contribuyen a reducir en un 10-15% la demanda energética de los edificios, y por lo tanto en las reducciones de las emisiones de CO₂.



Figura 7: Soluciones de jardines de agua en el espacio del jardín contiguo al edificio

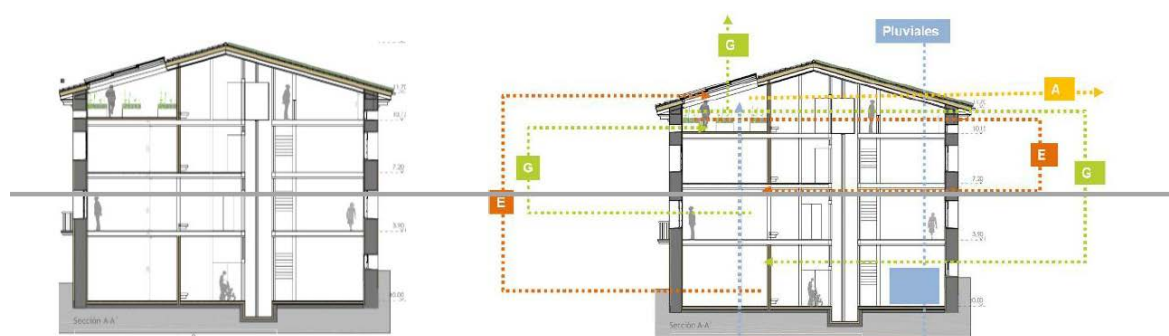


Figura 8: Invernadero, teja vegetal, acondicionamiento ambiental del edificio que aprovecha el funcionamiento del invernadero. Soluciones propuestas en la rehabilitación del edificio de Balmaseda.

En cuanto a las soluciones de adaptación al cambio climático, y más concretamente a las soluciones de áreas de bio-retención y de drenaje urbano sostenible; diferentes investigaciones que analizan la contribución de la vegetación en parques urbanos sugieren que por cada 100m² de vegetación la temperatura se reduce en 1 °C, y aumentando la ratio de superficie verde con respecto a la superficie dura en un 10%, la temperatura se reduce en 0,8°C (Dimoudi y Nicolopoulou, 2003). De manera similar, otras investigaciones muestran cómo Central Park de Nueva York reduce la temperatura del espacio cercano en 2-5°C (Rosenzweig, So-

lecki y Slosberg, 2006); y el parque Shinjuku Gyoen de Tokyo reduce el efecto de isla de calor urbano en 2°C, reduciendo también la temperatura del espacio adyacente en 80-90m de su perímetro. (Honjo, Narita et. al., 2002). Por otro lado, los patios vegetados reducen la temperatura del aire en unos 4-5°C (Reynolds, 2002); y las cubiertas vegetales reducen la temperatura en unos 0.5-2 °C (Missios et al. 2005). Además, considerando la capacidad que tiene la vegetación en atrapar y purificar los contaminantes del aire, como el CO₂; esta investigación toma los siguientes datos para el cálculo posterior: la vegetación del tipo de césped

atrapa 4,38kg/m²; la vegetación del tipo de seto atrapa del orden de 8,76 kg/m²; y las plantas trepadoras atrapan del orden de 6,57 kg/m² (Schaefer, Rudd y Vala, 2004).

Todos estos datos se aplican al mencionado proyecto de rehabilitación verde de Balma-seda. De este modo, la teja vegetal propuesta tiene una superficie de 98,71 m²; la cual se asemeja a la vegetación de tipo césped y por lo tanto se estima que atraparán alrededor de 432,35 kg de CO₂ al año. Mientras que las plantas propuestas para el invernadero integrado en el bajo-cubierta del edificio, se estima que

actuará de manera similar que las plantas de tipo seto; y se trata de una superficie de 38,36 m² que atraparán del orden de 336,03 kg de CO₂ al año.

En el caso de la intervención de infraestructura urbana verde del proyecto de Amurrio, se proponen 4 soluciones urbanas verdes concretas: áreas de bio-retención del agua de lluvia; diseño de aparcamiento de superficie verde; elementos urbanos de sombreado vegetal; y nuevos pavimentos permeables; tal y como muestran las imágenes de la Figuras 9 y 10.



Figura 9: Imágenes del antes y después de la intervención del diseño urbano verde propuesto

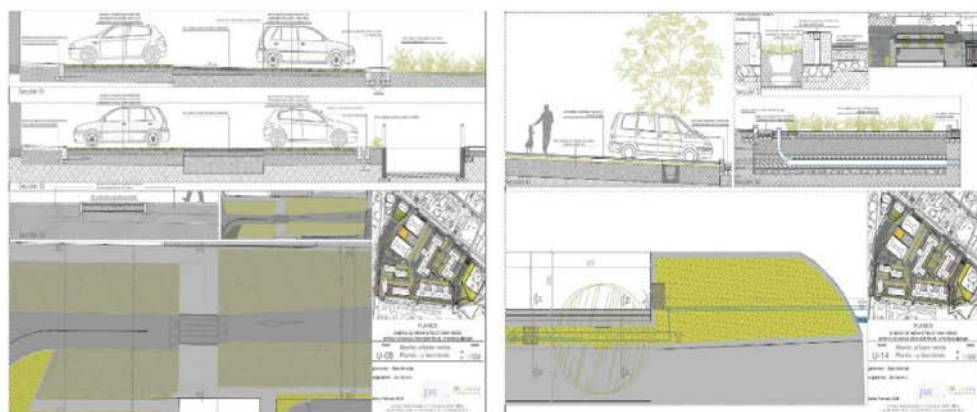


Figura 10: Planos técnicos de las áreas de bio-retención diseñadas en el proyecto.

La superficie urbana del espacio seleccionado es de una hectárea (10.987,10 m²), la cual está dominada principalmente por el espacio destinado al tráfico rodado y al pavimento impermeable, tal y como muestran los siguientes datos. La superficie urbana se divide en superficie de pavimento impermeable (6.667,31 m² de asfalto que supone el 60.7%; y 3.822,48 m² de pavimento peatonal de baldosa que supone el 34.8%); y de espacio verde (497,31 m² de vegetación, lo cual significa el 4,5% del total).

El nuevo diseño urbano verde propuesto incrementa en 2.305,89 m² la nueva área verde (principalmente mediante nuevas áreas de bio-retención 689,61 m² y diseño de aparcamiento verde 1.616,28 m²). Esto significa que en la nueva propuesta la superficie urbana verde alcanza el 21% del total de área urbana. Además, el nuevo diseño urbano incluye elementos de sombreado, tipo pérgolas vegetales, cuya superficie es de 610,59 m² (5,5%).

Al igual que para el caso de la rehabilitación del edificio, se calcula la contribución del nuevo diseño urbano verde en la mitigación al cambio climático, centrado principalmente en la estimación del almacenamiento de CO₂ atrapado por la nueva vegetación propuesta. Para ello se estima que la superficie del diseño de aparcamientos verde (1.616,28 m²) funciona como plantas de tipo césped. Esto significa que esta nueva área verde almacenará 7.079,31 kg de CO₂ al año (de acuerdo con la mencionada investigación de Schaefer (Schaefer et al., 2004). Por otro lado, las áreas de bio-retención (689,61 m²) se asemejan al funcionamiento de las plantas arbustivas; por lo que se calcula que almacenarán del orden de 6.040,98 kg de CO₂ al año. Por último, la superficie de las pérgolas vegetales (610,59 m²), se asemejan a las plantas trepadoras, por lo que se estima que atraparán unos 4.011,58 kg de CO₂ al año. Sumando todos estos datos, se estima que la intervención de infraestructura urbana verde propuesta contribuye a la mitigación del cambio climático, atrapando el CO₂ del ambiente y purificando los contaminantes en un total de **17.131,87 kg de CO₂ al año**.

En cuanto a la contribución de este tipo de intervenciones de infraestructura urbana verde a la adaptación del cambio climático se alcanza en términos de la reducción de la isla de calor, al reducir la temperatura de los alrededores entre 1-3°C; y consecuentemente se reducen los eventos de los golpes y olas de calor. Además, este tipo de intervenciones urbanas reducen los riesgos de inundaciones mediante las áreas de bio-retención propuestas que retienen las aguas de lluvia y retrasan las crecidas de los cauces de los ríos.

6. Conclusión y discusión

Esta investigación explora el potencial de las intervenciones de infraestructura urbana verde para reducir los impactos del cambio climático. Clasifica los tipos de infraestructura urbana verde en dos categorías principales; y las implementa en dos proyectos reales, tanto a escala de edificio como a escala urbana. Además, aporta datos concretos de cómo estas dos intervenciones contribuyen tanto a la mitigación del cambio climático (en cuanto a la reducción de la demanda energética, y por lo tanto de las emisiones de CO₂); así como a la adaptación al cambio climático (en cuanto a la reducción de la isla de calor urbana, y su influencia en la esorrentía de las aguas de lluvia reduciendo los riesgos de inundación); contribuyendo además a un entorno urbano más saludable y resiliente.

Los resultados de la investigación muestran que, aplicando las soluciones de infraestructura verde en un proyecto de rehabilitación, como en el de Balmaseda, la demanda energética se reduce entorno al 10-15% (incluyendo la reducción del 100% de la refrigeración). Esto significa que se reducen en la misma medida las emisiones de CO₂ derivadas del ahorro energético; contribuyendo de este modo a la mitigación del cambio climático. En cuanto a la contribución a la adaptación del cambio climático, los resultados muestran que la vegetación propuesta en el proyecto de rehabilitación contribuye a reducir la isla de calor reduciendo en

torno a 2°C la temperatura del entorno exterior. Además, la capacidad de la vegetación en almacenar y purificar los contaminantes del aire muestra que en el caso de la rehabilitación del edificio de Balmaseda se almacenan unos 768,38kg de CO₂ al año. Mientras que en la aplicación de las infraestructuras urbanas verdes al caso del proyecto urbano de Amurrio, los resultados muestran que las soluciones propuestas almacenarían en torno a 17.131,87kg de CO₂ al año.

De estos resultados se puede extrapolar, que, considerando las soluciones de mitigación al cambio climático, tiene más sentido implementarlas en proyectos de edificación, más que en proyectos de escala urbana, ya que se alcanzan valores más significativos en este tipo de proyectos. Además, incluyendo la vegetación en las envolventes de los edificios se consiguen resultados modestos para aumentar la eficiencia energética de los edificios; por lo que se propone combinarlos con soluciones de añadir mayor aislamiento térmico en la envolvente del edificio. En cuanto a las soluciones de adaptación al cambio climático resultan más eficientes implementarlas en intervenciones de mayor escala urbana, en lugar de en pequeñas zonas urbanas; para conseguir reducir de manera notable la isla de calor urbana y los riesgos de inundaciones.

Por lo tanto, la investigación muestra que, mediante las soluciones de infraestructura verde propuestas, se pueden reducir las consecuencias del cambio climático, creando entornos urbanos más saludables y resilientes. Sin embargo, sugiere que, para contribuir de manera significativa a los objetivos marcados en el Acuerdo de París, se deben realizar intervenciones urbanas verdes más ambiciosas y a mayor escala. Sugiere, además, que son necesarias mayores investigaciones que aporten más datos concretos de cómo este tipo de intervenciones urbanas verdes pueden además contribuir a otros aspectos medioambientales que han sido escasamente investigados hasta la fe-

cha. Sería necesario incluir por ejemplo un estudio de los costes y beneficios que este tipo de intervenciones urbanas verdes pueden suponer; así como su contribución a la salud urbana; a los materiales más amables con el medio ambiente; o a una recopilación de buenas prácticas de este tipo de intervenciones, entre otras.

Además, esta investigación proporciona una herramienta urbanística para ayudar a los agentes implicados en las normativas urbanas municipales, a facilitar la implementación de este tipo de intervenciones urbanas verdes. Destaca también las dificultades y barreras encontradas a la hora de implementar este tipo de soluciones en los proyectos urbanos y de edificación. Tras el análisis de los proyectos realizados en Balmaseda y Amurrio, se encontraron dos barreras principales: este tipo de intervenciones de infraestructura verde resultan muy nuevas para los técnicos de los ayuntamientos quienes son escépticos y prefieren realizar intervenciones más convencionales. Por otro lado, se ha constatado una notable falta de experiencia y de conocimiento técnico en este tipo de intervenciones. Los proyectos de este tipo y experiencias existente en el ámbito internacional no resultan ser argumentos suficientes para convencer a los responsables municipales para realizar este tipo de proyectos. Se encuentran pocos diseñadores, arquitectos, paisajistas, ingenieros o geólogos, o técnicos municipales, con conocimiento suficiente en esta materia. Del mismo modo, pocas son las constructoras que tengan experiencias en ejecutar este tipo de obras. Además, cuando se realizan licitaciones públicas mediante pliegos verdes o de compra pública verde, para impulsar este tipo de intervenciones urbanas verdes, son habitualmente declarados como licitaciones nulas.

Por lo tanto, no se trata sólo de una decisión gubernamental que se comprometa a implementar grandes intervenciones de infraestructura urbana verde para cumplir con los requisitos acordados en el Acuerdo de París; significa

nificación más profunda para alcanzarlo. Debería incluir cursos de formación para los diferentes agentes implicados involucrados en los desarrollos urbanos municipales, incluyendo las comisiones de urbanismo, los técnicos municipales, urbanistas, letrados, etc.

En definitiva, esta investigación muestra que son necesarias intervenciones de infraestructura urbana verde de mayor escala y más ambiciosas para alcanzar los compromisos acordados en el Acuerdo de París. Remarca también que debe haber mayor implicación en todos los agentes involucrados en este tipo de desarrollos de regeneración urbana. Si estamos todos de acuerdo en que ha llegado el momento de acometer este tipo de intervenciones para reducir las consecuencias del cambio climático, deberíamos remar todos en la misma dirección para implementar proyectos de regeneración urbana verde a gran escala.

7. Referencias

- Bonoli, A. & Conte, A & Maglionico, M. & Stojkov, I. (2013). Green roofs for sustainable water management in urban areas. *Environmental Engineering and Management Journal*. 12, 153-156.
- Carponi, M.S. (1993). Research project: Relevamiento del Arbolado Urbano de la Ciudad de Paraná. Entre Ríos: Entre Ríos University.
- Dimoudi, A. and Nicolopoulou, M. (2003). Vegetation in urban environment. Microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35, 69-76.
- Grant, G. (2017). Urban Greening Factor for London. Research Report. *Greater London Authority*. London. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/urban_greening_factor_for_london_final_report.pdf. Consultado: 15 Mayo. 2020
- Holm, D. (1989) Thermal Improvement by means of Leaf Cover on External Walls. A Simulation Model. *Energy and Buildings*, 14, pp. 19-30.
- Honjo, T., Narita, K., et. al. (2002) Observation of thermal effect of Shinjuku Gyoen Park. *AMS Fourth Symposium on the Urban Environment*, Norfolk, pp. 84-85.
- Hoyano, A. (1988), Climatological Uses of Plants for Solar Control and the Effects on the Thermal Environment of a Building. *Energy and Buildings*, (11)1-3, 181-199.
- Kruuse, A. (2011) The green spacefactor and the green points system. *Town and Country Planning Association*. https://malmo.se/download/18.d8bc6b31373089f7d980008924/1491301018437/greenspacefactor_green-points_grabs.pdf. Consultado: 5 Jul. 2019.
- Laurenz, J. (2005). Natural Envelope: The green element as a boundary limit. *The 2005 World Sustainable Building Conference*, 4653-4660.
- Laurenz, J., Roehr, D. (2008). *Living Skins, Opportunities, Critique and Appropriateness of Green Facades*. In proceeding of Sustainable Building 08 (2). Melbourne: Greg Foliente, 2047-2054.
- Liu, K. & Baskaran, B. (2003). *Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation*. In Proceedings of North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show, pp. 29-30.
- Mathey, J. & Arndt, T. & Banse, J. & Rink, D., (2018). Public perception of spontaneous vegetation on brownfields in urban areas-Results from surveys in Dresden and Leipzig (Germany). *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 384-392.
- McPherson, E. G., Nowak, D. J., et. al. (1993). Chicago's Evolving Urban Forest: Initial report of the Chicago Urban Forest Climate Project. *General Technical Report NE-169*. Northeastern Forest Experiment Station, 40-41. Radnor, Pennsylvania.
- Missios P., Banting D, Doshi H, Yiuwah Li J., Au A., Currie B.A., Verrati M. (2005). *Report on the Environmental Benefits and Costs*

- of Green Roof Technology for the City of Toronto.* https://mpa.ub.uni-muenchen.de/70526/1/MPRA_paper_70526.pdf. Consultado: 5 Jul. 2019.
- Mrowiec, M. (2016) Sustainable Urban Drainage Infrastructure. *Problemy Ekorozwoju*, 11(2), 113-118.
- Radcliffe, J. (2017). The evolution of low impact development. *Water e-Journal*, 2, 1-17.
- Reynolds, J.S. (2002). *Courtyards. Aesthetic, social and thermal delight*. Ney York, John Wiley & sons Inc.
- Rodriguez-Rojas M.I., (2015). Guía para la Integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el Proyecto Urbano. Granada: Universidad de Granada. pp. 68, 82.
- Roehr, D., Laurenz, J. & Kong, Y. (2008). Green Envelopes: Contribution of Green Roofs, Green Facades, and Green Streets to Reducing Stormwater Runoff, CO₂ Emissions, and Energy Demand in Cities. International Low Impact Development Conference, pp. 1-8.
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D. and Slosberg R.B. (2006). New York city's heat island with urban forestry, living roofs and light surfaces. New York State Energy Research and Development Authority, NY.
- Schaefer V., Rudd H., Vala J. (2004.) *Urban Biodiversity*. Ontario: Captus Press.
- Schröder, R., Glandorf, S. & Kiehl, K., (2018). Temporal revegetation of a demolition site—a contribution to urban restoration? *Journal of Urban Ecology*, 4 (1), 1-10.



AS BRAÑAS DE SADA. A CORUÑA

Núcleo (nodo) de la red de infraestructura verde del área de A Coruña. Presenta un interés especial por sus valores ecológicos, su biodiversidad y por sus servicios de regulación, en particular el secuestro de carbono.

Foto: Equipo de investigación de la Escuela Gallega del Paisaje