

Recibido:01-02-2017
Aceptado: 06-04-2017

EL PAPEL DE LA VEGETACIÓN EN LA MEJORA DEL ENTORNO DE LOS EDIFICIOS EN LOS PROCESOS DE REGENERACIÓN URBANA: ESTUDIO DE CASO

THE ROLE OF VEGETATION IN IMPROVING BUILDING SURROUNDINGS IN
URBAN REGENERATION PROCESSES: A CASE STUDY

M. ROSARIO DEL CAZ ENJUTO ¹

¹ Doctora Arquitecta
Profesora Titular de Urbanismo y Ordenación del Territorio
Universidad de Valladolid (España)
charo@arq.uva.es

102

El presente artículo expone los resultados parciales de una investigación más amplia sobre la regeneración urbana de barrios, titulada "Replicable and innovative future efficient districts and cities" (CITYFIED). En concreto, este trabajo se refiere a las posibilidades de mejora ecológica del entorno de los edificios proporcionada por la vegetación y su principal objetivo es el desarrollo de una estrategia global de tratamiento del mencionado entorno de los edificios en procesos de mejoramiento urbano. Para ello, se aborda una primera parte en la que se analizan los beneficios medioambientales de la vegetación y se exponen parámetros y criterios universales y generalizables sobre el tratamiento sostenible del espacio libre de los barrios. En una segunda parte, se lleva a cabo la aplicación de dichos parámetros a un caso concreto: el barrio de Torrelago, situado en la localidad de Laguna de Duero (Valladolid, España). De esa forma, el artículo concluye que el tratamiento del espacio libre que rodea los edificios juega un papel determinante en la sostenibilidad urbana.

Palabras clave: mejoramiento urbano, áreas verdes, desarrollo sostenible, arbolado urbano, entorno.

This article presents the partial results of more extensive research on the urban regeneration of neighborhoods entitled, "Replicable and innovative future efficient districts and cities" (CITYFIED). Specifically, this paper discusses the possibility of ecologically improving building surroundings through vegetation and the primary aim is to develop an overall treatment strategy for the surroundings of buildings that are in the process of urban improvement. To this end, the paper addresses the first stage in which the environmental benefits of vegetation were analyzed, and presents universal and generalizable parameters and criteria about the sustainable treatment of free space in neighborhoods. In the second stage, these parameters were applied to a specific case: the Torrelago neighborhood, located in the town of Laguna de Duero (Valladolid, Spain). Thus, the main preliminary conclusion of this research is that the treatment of the free space that surrounds buildings plays a determining role in urban sustainability.

Keywords: urban improvement, green areas, sustainable development, urban woodlands, surroundings.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación realizada se ha centrado en dos tipos de requerimientos en las ciudades (y en sus posibles intervenciones) que juegan un papel estratégico de cara a la sostenibilidad urbana. Por un lado, la conveniencia de impulsar la regeneración de barrios obsoletos e ineficientes frente al desarrollo de nuevos barrios en nuevos suelos. Por el otro, la necesidad de renaturalizar las ciudades, de incrementar decididamente las superficies verdes y los suelos permeables. Ambas estrategias convergen definitivamente con las políticas de adaptación y mitigación del cambio climático que forman parte de los acuerdos adoptados en la COP XXI, celebrada en París en diciembre de 2015, pero también con la Carta de Leipzig y la Declaración de Toledo sobre Regeneración urbana integrada **2**, así como con las políticas de investigación e innovación europeas sobre *Nature-Based Solutions & Renaturing Cities* (European Commission, 2015).

Concretamente, el trabajo del que da cuenta este artículo forma parte del proyecto "Replicable and innovative future efficient districts and cities" (CITYFIED), financiado por la Unión Europea a través del Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration activities (Grant Agreement number 609129). El proyecto tiene como propósito el desarrollo y la implementación de tecnologías y metodologías innovadoras para la rehabilitación de edificios y barrios, e incluye la renovación de tres distritos urbanos, en Laguna de Duero, Valladolid (España), Soma (Turquía) y Lund (Suecia), a realizarse entre los años 2014 y 2017. La intervención en Laguna de Duero consiste en la rehabilitación de la Urbanización Torrelago, situada al norte del municipio y construida entre 1977 y 1981, que consta de 31 edificios (1.488 viviendas) ordenados alrededor de un amplio espacio libre y una escuela de educación primaria. El área analizada cuenta con una superficie total de 70.436 m². Aunque el objetivo principal de dicha intervención es la rehabilitación energética de los edificios, una parte de la labor ha de definir la estrategia para la mejora sostenible del entorno de los mismos. En relación a la primera tarea, la Unión Europea subvenciona algunas obras (mejora energética de la envolvente de los edificios e implementación de un sistema de calefacción de distrito), pero con respecto a la segunda, no destina fondos, de manera que la metodología para la mejora sostenible del entorno de los edificios se circunscribe a un plano teórico. De entre los diversos temas planteados en dicha metodología este artículo recoge un aspecto fundamental: el papel de la vegetación en la regeneración sostenible de un barrio.

El tratamiento del espacio libre en torno a los edificios es fundamental para lograr unas buenas condiciones ambientales a diversas escalas. El tipo de urbanización que se realice (permeable, semipermeable o impermeable), la presencia de láminas de agua, la disposición o la ausencia de vegetación, el tipo de la misma, su ubicación, etc., tienen unas repercusiones que van mucho más allá de lo meramente estético. De hecho, a escala local, una ciudad es mucho más saludable, sostenible, habitable y resiliente cuando cuenta con un espacio libre más naturalizado; mientras que a escala global contribuye en mayor medida a la mitigación y adaptación al cambio climático (del Caz y Teodosio, 2013). En este momento, el estudio del papel relevante de la vegetación en las ciudades ha adquirido un gran auge, pero son numerosos los autores que han abordado el tema desde hace tiempo: Sukopp y Werner (1989), Migliorini (1992), Salvo y García-Vedugo (1993), Hough (1995), Briz (1999), Salvador (2003), Falcón (2008) han tratado la cuestión de manera genérica, mientras que Erell, Pearlmutter y Williamson (2010), Rueda (2010) y Hernández (2013), entre otros, ofrecen aproximaciones desde el contexto del urbanismo bioclimático, especialmente.

La aportación del trabajo realizado para Torrelago consiste en definir una estrategia holística que, partiendo de estos temas propios de la práctica urbanística, abordados de una manera u otra por la bibliografía especializada, aglutine todos ellos, definiendo estándares y pautas universales. En este sentido, se considera que tal estrategia debe evaluar e incorporar tanto cuestiones de cantidad, distribución y accesibilidad, proporcionadas en su momento por el funcionalismo, como otras más recientes de índole ecológica, por ejemplo, las asociadas a la renaturalización, la xerojardinería, la cualidad de la urbanización, etc. En consonancia con lo expuesto, en los apartados siguientes se abordarán tres asuntos clave: los beneficios de la vegetación, el concepto de renaturalización urbana y la gestión de la vegetación en relación al consumo de agua (Xerojardinería). El artículo se completa con el análisis de caso, donde se proponen unas recomendaciones específicas.

II. BENEFICIOS DE LA VEGETACIÓN EN LAS CIUDADES

- Capacidad como sumidero de CO₂. El cambio climático actual, imputable, en buena medida, al uso desmedido de combustibles de origen fósil hace que esta función de la vegetación deba ser una de las principales a considerar. Dado que no todas las especies vegetales tienen la misma capacidad

2 Carta de Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles. Leipzig: Presidencia alemana de la UE, 2007 y Documento de referencia de Toledo sobre la regeneración urbana integrada y su potencial estratégico para un desarrollo urbano más inteligente, sostenible y socialmente inclusivo en

de fijación de CO₂, es deseable recurrir a trabajos especializados, como el de Figueroa y Redondo (2007)³, entre otros, que permiten orientar a los técnicos en la selección de especies, desde este punto de vista.

- Evapotranspiración. La transpiración que se produce en las hojas, sumada a la sombra que generan los árboles, produce un enfriamiento en el aire al añadirle vapor de agua. Si a una superficie permeable (que funciona mucho mejor que una impermeable desde el punto de vista de la regulación de la humedad) se le añade vegetación, el efecto se multiplica (Briz, 1999).

- La vegetación tiene una influencia notable en la modificación de los parámetros que definen las condiciones higrotérmicas de un ámbito. Específicamente, produce una reducción de la incidencia de la radiación de onda corta en el suelo y una minimización de la emisión de radiación de onda larga (infrarrojos) del suelo a la atmósfera (Hernández, 2013), lo cual conlleva a la disminución de la temperatura en las áreas vegetadas. La variación de determinados parámetros climáticos entre zonas urbanas y rurales es notable. Así, en días soleados, la diferencia de temperaturas entre ambas zonas puede ser de entre 2 y 6°C y de hasta 11°C por la noche (Sukopp y Werner, 1989).

- Capacidad para proporcionar sombra, una cualidad enormemente relevante en climas con veranos calurosos, pues permite hacer más habitable el espacio libre. En función del clima del lugar, convendrá disponer arbolado de hoja perenne o caduca para aprovechar las ventajas de esta cualidad en verano sin sufrir sus efectos negativos en invierno, cuando lo que interesa es permitir la máxima radiación solar.

- Capacidad como pantalla de control del viento. Con velocidades de vientos iguales o superiores a los 10 m/s (Hernández, 2013), conviene poner pantallas vegetales. Las barreras vegetales tienen ciertas ventajas sobre otro tipo de defensas: disminuyen los efectos de las turbulencias o la aceleración del viento en los bordes de dichas barreras, pues la vegetación absorbe la energía cinética del aire en movimiento.

- Capacidad de reducción de la contaminación acústica, que depende de las características, densidad y estructura de las plantas utilizadas, así como de la localización de la barrera vegetal respecto a la fuente emisora de ruido. Considerando que la principal fuente de contaminación acústica en la ciudad es el tráfico rodado, las superficies

vegetadas deben ser densas, situarse próximas a las calzadas y estar compuestas por vegetación de diverso porte (Salvo y García-Verdugo, 1993: 100 y ss). Las barreras vegetales aumentan enormemente su efectividad si se combinan con la topografía; de ahí que en vías con mucho ruido sea beneficioso disponer taludes vegetados.

- Las superficies permeables y vegetadas tienen un mejor comportamiento respecto del ciclo del agua, que las superficies impermeables. Al permitir la infiltración lenta en el terreno, frente a la escorrentía hacia las alcantarillas, se consiguen varios objetivos: depuración natural del agua, recarga de acuíferos, protección frente a la erosión, etc. La relación entre cantidad de suelo permeable e impermeable permite modificar el efecto *isla urbana de calor*, especialmente, en las ciudades de tamaño medio o grande. Sería deseable lograr que al menos el 50% (Hernández, 2013:52) de las superficies de espacios libres fueran permeables.

- La presencia de vegetación abundante, variada y capaz de formar sistemas continuos favorece el aumento de la biodiversidad, lo que incide, a su vez, en el incremento de la resiliencia, pues la vegetación se comporta como hábitat y alimento para las diversas especies, especialmente insectos y aves, contribuyendo al funcionamiento ecosistémico de las ciudades (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2012).

- Hay otras funciones y aspectos de la vegetación que merece la pena citar, aun cuando no se refieran estrictamente al campo de la mejora ecológica. Hay que mencionar, por supuesto, las funciones ornamental, paisajística, recreativa y económica. En este último caso, cabe referirse de forma directa al aprovechamiento de la biomasa y de productos vegetales o a la contribución a la generación de empleo verde, e, indirectamente, a los ahorros energéticos en los edificios de los entornos vegetados, a costes sanitarios por mejora de la calidad del aire, etc.

III. RENATURALIZACIÓN URBANA

Este concepto se refiere a la generalización o extensión de los espacios vegetales y/o más naturales en la ciudad para hacer de ésta un ámbito más ecológico. Con ese fin, se parte de la vieja idea urbanística de que los espacios verdes en las ciudades deben formar sistemas, redes. Esos sistemas no sólo estarán compuestos por aquellas tipologías de espacios verdes clásicas (parques, jardines, riberas de los ríos, bulevares,

³ Según este estudio, entre las especies urbanas más utilizadas, la Melia puede fijar 5.669 kg de CO₂ por año, la Acacia de tres espinas 802, el Plátano de sombra 478, y el Ciruelo japonés tan sólo 17 kg de CO₂ por año. Así, una calle de 100 metros con 10 Melias puede fijar el CO₂ de

cuñas o anillos verdes, etc.), sino por otra serie de espacios secundarios (públicos y privados) que pueden servir para completar los denominados biotopos. Dentro de estos espacios secundarios hay que considerar desde las cubiertas verdes de las edificaciones hasta los espacios baldíos de las ciudades, desde zonas de aparcamiento con pavimentos semipermeables a paredes cubiertas de vegetación, desde las bandas verdes o terrazas en el viario hasta espacios libres asociados a equipamientos. Cada tipo de espacio vegetado cumple funciones diversas: el estudio realizado por Massing (Salvador, 2003) refleja la importancia de los diferentes tipos de espacios verdes para la protección ambiental y la preservación de la naturaleza en los ecosistemas urbanos.

La urbanística contemporánea ha heredado del funcionalismo dos modos de proceder en el tema de la planificación del verde urbano: la noción de *estándar* y la incorporación de tipologías de espacios verdes de diverso rango. Es decir, en primer lugar, la presencia de una dotación mínima de verde por habitante y la distribución equitativa de las áreas verdes en el ámbito de la ciudad, de tal modo que puedan conseguirse tiempos adecuados de acceso compatibles con el rango y la función de cada tipo de área. Y, por lo que se refiere a la tipología, la literatura internacional señala cuatro niveles jerarquizados de espacios verdes públicos urbanos: el verde anejo a la unidad residencial (vivienda unifamiliar o manzana plurifamiliar), el verde de la vecindad (espacios libres de pequeña entidad), el verde del barrio, y el parque urbano (Migliorini, 1992). Cada uno de estos modelos tipológicos está llamado a desarrollar una función específica en el ámbito de la estrategia recreativa para los habitantes de una ciudad. Una buena política de áreas verdes exige la integración de los distintos tipos de áreas en una red densa y continua, a la que puedan acceder los diferentes grupos sociales sin discriminación de cualquier tipo, y en la que estén integrados los equipamientos urbanos: escuela, centro cívico, área comercial, etc.

Además, es precisa la conexión del verde de la ciudad con el espacio periurbano próximo y más alejado, como estrategia de mejora de la calidad del medio ambiente urbano, como estrategia de incremento de la biodiversidad y como estrategia de mejora de la función recreativa del verde urbano. En este sentido, juegan un importante papel los llamados pasillos o corredores urbanos. Ya Frederick Law Omlsted, considerado precursor del concepto de sistema de espacios verdes, formado por *Park System* y *Park Ways*, proponía los parques no como "islas" dentro del sistema edificado, sino entrelazados a través de vías-parque. Sin tener que alcanzar las anchuras de más de 40 metros de los *Park Ways*, las calles con un buen sustrato permeable y una presencia arbórea diversa actúan como nexo entre las distintas áreas naturales. Para que una vía pueda considerarse corredor urbano, las cifras orientativas recomiendan densidades superiores a 4 árboles/10 metros lineales, niveles de ruido inferiores a 60 dBA e índices de permeabilidad del suelo mayores de 0,25 (Rueda, 2010)4.

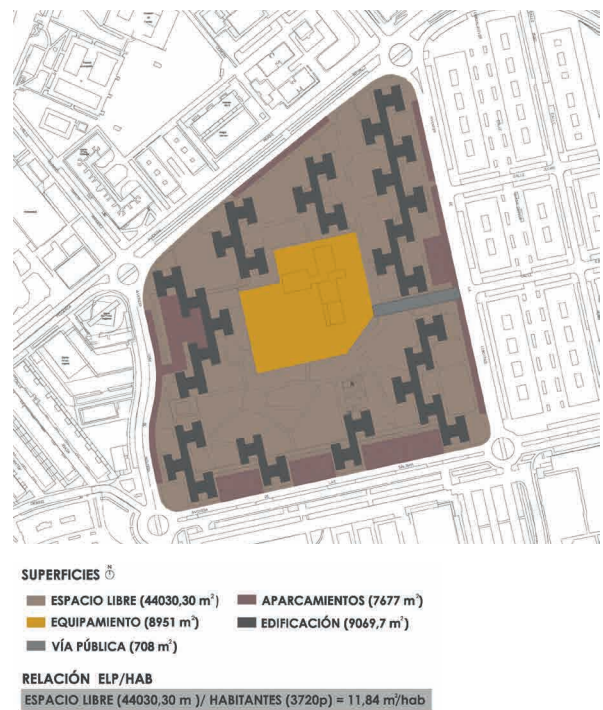


Figura 1. Superficie de espacio libre/habitante. Fuente: Elaboración de la autora a partir de datos del Plan general de ordenación urbana



Figura 2. Relación entre suelo permeable/suelo impermeable. Fuente: Elaboración de la autora a partir de mediciones en plano y trabajo de campo.

Pero ¿cuánto verde es necesario o suficiente? La bibliografía especializada está cargada de estándares: Cantidad de espacios libres públicos mínimos con los que deben contar las ciudades, cantidad de metros cuadrados de vegetación por persona, número mínimo deseable de árboles por habitante, etc. Por su parte, la legislación urbanística ha incorporado dichas recomendaciones en sus artículos de obligado cumplimiento. En Castilla y León, se exige reservar 5 m²/habitante de espacio verde con carácter genérico y, de manera específica, 15 m² y 20 m² por cada 100 m² edificables en suelos urbanos no consolidados y suelos urbanizables, respectivamente. Sin pretender hacer una exposición exhaustiva de estándares y de recomendaciones procedentes de múltiples fuentes, conviene, no obstante, citar a la OMS, que recomienda un mínimo de 10 m², siendo deseable una dotación de 15 m² por habitante (Lamela *et al.* 2011).

IV. XEROJARDINERÍA

Como es bien sabido, el agua es un bien valioso y escaso que es preciso racionalizar, especialmente en áreas secas. En este sentido, es conveniente implementar técnicas adecuadas para el diseño y gestión de espacios verdes cuyo objetivo principal sea el ahorro de agua y el uso eficiente del mismo. En concreto, huelga referirse brevemente a la xerojardinería, una técnica de diseño y gestión de espacios verdes (Burés, 1993) que ha de tener en cuenta:

- La planificación y el diseño, por el cual el parque o jardín debe dividirse en zonas diferenciadas según la agrupación de especies vegetales con similares necesidades de agua.

- El análisis del suelo (capacidad de drenaje, de retención del agua, de penetración de la humedad), que permitirá la selección adecuada de plantas.

- La selección de plantas: principalmente autóctonas o especies adaptadas.

- Las zonas de césped prácticas, es decir, el césped utilizado no como relleno, sino en aras de obtener su mayor beneficio funcional: prevenir la erosión en zonas de pendiente, por ejemplo. En cualquier caso, es preciso reducir las superficies de césped por su alta exigencia de agua, sustituyéndolas por especies tapizantes xerófilas.

- Riego eficiente. Sustituir el riego por aspersión (pues demanda gran cantidad de agua) por el goteo o los microaspersores, que llevan el agua a las raíces las plantas.

- El uso de acolchados o cubiertas para el suelo (*mulching*, según el término inglés). Esta suerte de mantillo no sólo

conserva la humedad del suelo, previene la erosión y protege las raíces del frío o el calor excesivos, sino que también ayuda a reducir las malas hierbas que compiten por el agua. Las mejores cubiertas son las orgánicas, como acídulas de pino, trozos de corteza, restos de vegetación, compost, etc.

- Mantenimiento adecuado, que reduzca al mínimo el uso de fertilizantes, pesticidas y otros productos para mantener la vitalidad de las plantas.

V. EL CASO DE TORRELAGO (LAGUNA DE DUERO, VALLADOLID)

La metodología para la realización del análisis de caso de Torrelago incluye: la revisión de documentos de planeamiento general y de desarrollo (para consulta de datos estadísticos y de ordenación del ámbito de estudio), el análisis de legislación autonómica vigente (sobre estándares urbanísticos exigidos), el trabajo de campo (para la identificación de especies y la valoración de otros aspectos de la urbanización), el manejo de las bases cartográficas municipales y la elaboración de unas bases propias en AutoCad (que permiten cuantificar diversos parámetros, como superficies, recorridos, etc.), la realización de cálculos propios como la evaluación de los efectos del viento dominante (programa Fluent 16 ©), cálculos de sombras, áreas de accesibilidad peatonal y ciclista, etc.

Dada la naturaleza del trabajo, para algunos de los parámetros que forman parte de la definición de la estrategia se han realizado mediciones específicas; sin embargo, para otros se han hecho estimaciones y valoraciones obtenidas a partir de las fuentes consultadas (por ejemplo, para la absorción de CO₂ por parte de la vegetación existente o las condiciones higrotérmicas).

Parámetros, relacionados con la vegetación, que forman parte de la estrategia de mejora del entorno de los edificios en la regeneración del barrio de Torrelago:

- *Cuantificación de espacios libres.* La Figura 1 muestra los espacios libres (públicos, en este caso), los espacios edificados, equipamientos y aparcamiento. La superficie de espacio libre asciende a 11,82 m²/habitante **5**. Como puede observarse, a pesar de que el barrio cuenta, aparentemente, con una gran cantidad de espacio libre, este indicador está por debajo del estándar deseable fijado por la OMS (15 m²/habitante). Esto se debe a que el barrio tiene una densidad residencial alta (200 viviendas/hectárea, unos 528 habitantes/hectárea). No obstante, el barrio está muy próximo al gran parque del municipio, lo cual es altamente positivo.

4 La proporción de suelo permeable en tejidos urbanos está definida por el denominado índice biótico del suelo, un indicador propuesto por el

- *Cualidades de la urbanización del espacio libre.* Se analiza en este punto la cantidad de suelo permeable frente a suelo impermeable. En la figura 2 puede observarse que esa relación no es la más deseable para el caso de Torrelago, según el estándar deseable fijado para este punto (al menos el 50% de la superficie total de suelo debe ser permeable), pues aquí sólo el 40% del suelo es permeable. Para poder cumplir el estándar deseable podría plantearse varias opciones: eliminar las playas perimetrales de aparcamiento, sustituir su pavimento actual por otro filtrante, disponer una mayor superficie de suelo permeable en el patio de la escuela o bien reemplazar las actuales cubiertas de los edificios por cubiertas verdes.

- *Distribución de espacios verdes y accesibilidad a los mismos.* Como puede observarse, en la Figura 3 se han trazado dos círculos desde el centro de Torrelago, uno de 500m de radio y otro de 1.000m. Con ello, se pretende mostrar la distribución de espacios verdes en torno a Torrelago y la accesibilidad a los mismos de las viviendas de dicho barrio. El tiempo que llevaría recorrer caminado la distancia máxima barrida por el primer círculo sería de unos 6 minutos para una persona joven, mientras que una persona mayor podría tardar el doble. Para recorrer la distancia máxima del segundo círculo, se necesitaría duplicar los tiempos señalados, aunque si los recorridos se realizaran en bicicleta dichos tiempos se reducirían notablemente: podemos estimar unos 3 y 6 minutos, respectivamente ⁶. En cualquier caso, la accesibilidad de Torrelago a los principales espacios libres del municipio es potencialmente muy buena, aunque sería necesario mejorar los itinerarios peatonales y ciclistas (prácticamente inexistentes en la actualidad). Por otro lado, aunque existen algunos corredores verdes definidos por el PGOU, que enlazan el centro urbano de Laguna de Duero con los bosques al Este y Oeste del municipio, se echa en falta la existencia de mayor número de corredores verdes que enlacen los diversos espacios verdes entre sí (especialmente los principales, situados alrededor de Torrelago) y éstos con los espacios naturales periurbanos. Se hace necesaria la existencia de elementos tan valiosos como cuñas verdes o anillo verde.

- *Cantidad, calidad y localización de la vegetación existente.* La Figura 4 proporciona información valiosa que implica a varios de los parámetros que se analizan en este trabajo. Así, el conocer los tipos de especies vegetales, si son caducifolias o perennifolias, como también la localización y porte de las mismas, puede ayudarnos a valorar la adecuación de las mismas de cara a: las potencialidades de captación de CO₂ y las posibilidades de confort y adecuación medioambiental del espacio libre (regulación higrótérmica, sombreadamiento, barrera contra el viento, barrera contra el ruido, etc.). Se analizan a continuación las más relevantes de esas características.

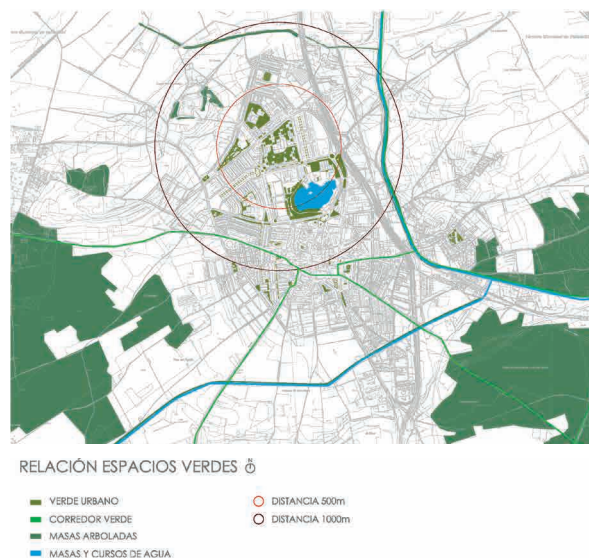


Figura 3. Gráfico de accesibilidades desde el barrio de Torrelago y distribuciones de espacios verdes en Laguna de Duero y su entorno. Fuente: Elaboración de la autora a partir de la documentación de PGOU del municipio.



Figura 4. Muestra la tipificación de especies: caducifolias (C) / perennifolias (P), el porte de las mismas, la especie, la distribución, etc. Fuente: Elaboración de la autora a partir de ortofotografía del

⁵ Según el ISA (Informe de Sostenibilidad Ambiental) del Plan General de Ordenación Urbana de Laguna de Duero, los Sistemas Generales de Espacios Libres propuestos por tal plan para el conjunto del municipio ascienden a 12,43 m²/habitante.

⁶ La estimación de tiempos se basó en la observación propia del trabajo de campo y en (Bermejo, 2007)

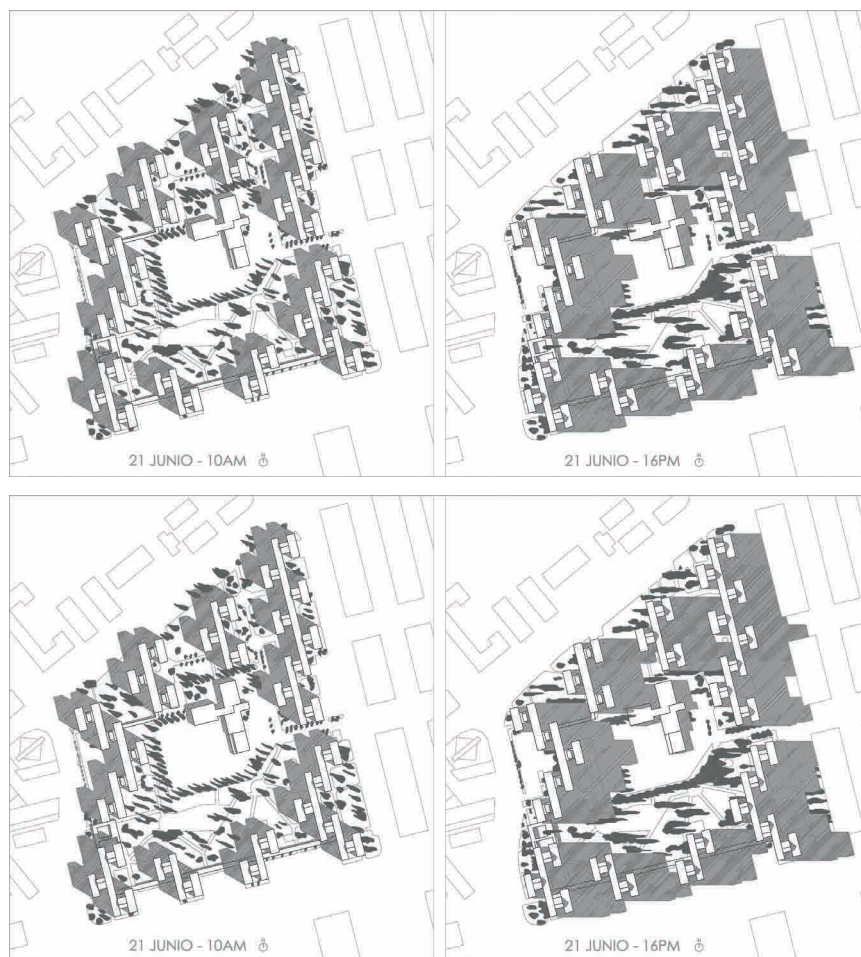


Figura 5. Arriba: Estudio de sombras de la vegetación y el arbolado en el solsticio de verano. Abajo: Estudio de sombras en el solsticio de invierno. Se ha descartado en el estudio de este último caso los árboles de hoja caduca. Fuente: Elaboración de la autora.

1. Funcionamiento como sumidero de CO₂. De acuerdo con la documentación consultada, la mayoría de las especies existentes en Torrelago tiene una capacidad media de absorción de CO₂.
2. Funcionamiento como regulador de las condiciones higrotérmicas. Según se ha indicado en el apartado anterior, la proporción de suelos permeables/suelos impermeables no es la más deseable. No obstante, dada la presencia cuantiosa de arbolado en el espacio libre, puede considerarse que las condiciones higrotérmicas (humedad, temperatura, evapotranspiración, etc.) proporcionada por ambos elementos (permeabilidad del suelo y presencia de vegetación) es adecuada.
3. Funcionamiento como proveedor de sombra. A la vista del estudio realizado, puede observarse las sombras arrojadas

por la edificación y el arbolado sobre el espacio libre y sobre el patio de la escuela en los solsticios de verano e invierno a diferentes horas del día. Es importante destacar que mientras la elección de especies (caducifolias y perennifolias) es adecuada, sobre todo alrededor del colegio (donde podemos localizar acacias y chopos, de hoja caduca), es menos adecuada en algunos de los pequeños espacios intersticiales de los edificios, entre los que predominan las especies de hoja perenne. En este último caso, esta circunstancia, unida a las potentes sombras arrojadas por las torres, genera que el espacio libre permanezca en sombra durante demasiadas horas al día y especialmente en invierno, lo cual no propicia su uso. Ahora bien, sería recomendable plantar más arbolado en el interior del patio del colegio (haciéndolo compatible con el desempeño de actividades deportivas y/o lúdicas), pues éste sólo tiene posibilidades de sombreado en el perímetro.

4. Funcionamiento como barrera contra el viento. Hay algunos condicionantes en Torrelago que hacen que la vegetación no tenga mucha relevancia como barrera contra el viento: la tipología edificatoria característica (torres de 12 plantas), la morfología urbana (la forma en la que dichas torres se van enlazando, formando módulos de 3, 5 y 8 torres, desplazados unos sobre otros en dirección N-S), y, por último, la dirección de los vientos dominantes (en este caso, Oeste/Sur-Oeste). Estos tres factores son los que determinan los efectos producidos por el viento, ya que el arbolado siempre queda por detrás de las pantallas edificadas, entre las que el viento va formando diversos "pasillos", como puede observarse en la Figura 6. Asimismo, la disposición de alineaciones arboladas en el ajardinamiento de los espacios libres y del viario tampoco tiene excesiva relevancia (Figura 7). En la cara exterior Oeste del barrio, el arbolado es de poco porte y no forma alineaciones continuas. En el resto de los bordes exteriores, la posible repercusión queda anulada por los efectos de la edificación. Solamente puede tener cierta incidencia la doble alineación perimetral de árboles (chopos y acacias) en el borde Oeste del perímetro de la escuela, en particular si se tiene en cuenta que los chopos tienen un importante desarrollo. Por último, el arbolado en alineación en las calles al Norte y al Sur del barrio puede funcionar (dada su orientación más o menos similar a la de los vientos dominantes) más bien como canalizador del viento, algo que no tiene especial relevancia medioambiental en este caso, dada la anchura de la vía y su relación con las edificaciones.
5. Funcionamiento como pantalla acústica. En congruencia con lo indicado en apartados anteriores, la capacidad de que la vegetación actúe como pantalla para reducir la contaminación acústica en Torrelago es claramente insuficiente, por las siguientes razones: las posibles pantallas vegetales no son densas y no están próximas a las principales fuentes de ruido (las vías rodadas y las playas de aparcamiento), no existe junto a dichas fuentes emisoras de ruido vegetación de diverso porte (plantas rastreras, tapizantes, setos y alineaciones arboladas) y tampoco hay taludes vegetados que ayuden a incrementar los efectos beneficiosos de las posibles pantallas.

- Implementación de técnicas de xerojardinería en los espacios libres.

En la actualidad, no se aplican la mayoría de las técnicas propias de la xerojardinería. El césped se presenta como la especie predominante para tapizar la mayor parte de las superficies y el riego de las mismas se realiza por aspersión. Tampoco la planificación del parque se realizó en su día bajo las premisas de la xerojardinería y no existen mulches. Sin embargo, hay que mencionar que casi todas las especies arbóreas son adaptadas al clima.

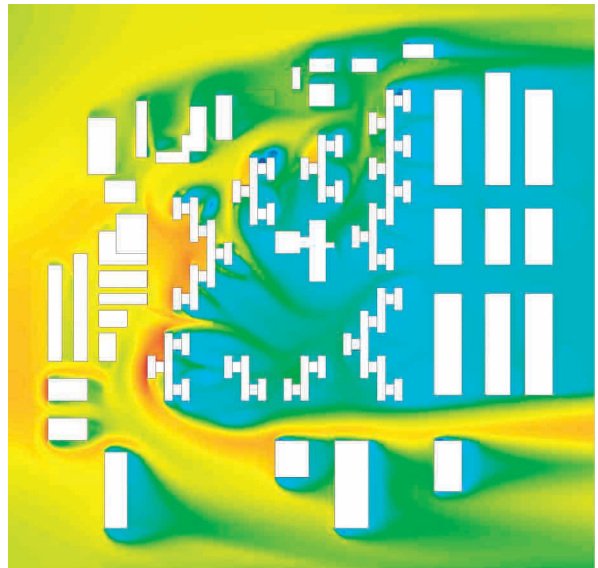


Figura 6: Simulación de distribución de presiones de viento. Fuente: Elaboración de la autora (GIR Arquitectura y Energía) con Fluent 16 ©.

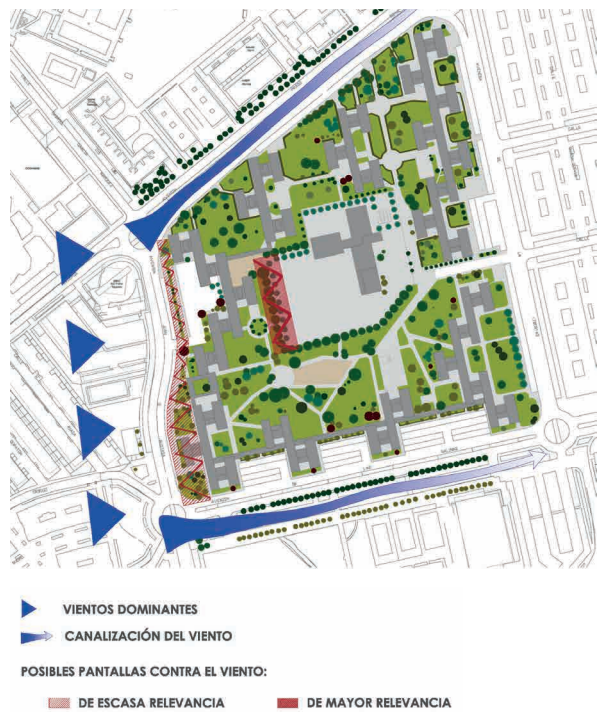


Figura 7: Valoración de la vegetación respecto de los efectos de los vientos dominantes. Fuente: Elaboración de la autora.

Parámetros a considerar		Recomendaciones para la mejora
1. Cantidad de espacios libres		- En Torrelago se cumple el estándar legal sobre reserva de espacios libres públicos, pero no se cumple el estándar deseable recomendado por la OMS de 15 m ² de verde/habitante. Para poder cumplirlo habría que eliminar las playas perimetrales de aparcamiento.
2. Calidad de la urbanización de los espacios libres		- El porcentaje de superficie de suelo permeable respecto del total de la superficie del barrio es del 40%. Menor del 50% mínimo deseable. Está por debajo del estándar deseable: 50% de suelo permeable. - Propuesta: eliminar las playas perimetrales de aparcamiento; incrementar la superficie de suelo permeable en el patio de la escuela; o sustituir las actuales cubiertas de los edificios por cubiertas verdes.
3. Distribución y accesibilidad		- La distribución y accesibilidad a los espacios verdes para todas las viviendas de Torrelago son buenas, dada la ordenación de las torres alrededor del parque del barrio y la proximidad al parque de la laguna, el mayor del municipio (5 minutos caminando). - Sería recomendable la existencia de corredores verdes que enlazaran los diversos espacios verdes y éstos con los espacios naturales periurbanos.
4. Cantidad, calidad y localización de la vegetación	a. Sumidero de CO ₂	- Es recomendable plantar en zonas concretas arbolado con buena capacidad de absorción de CO ₂ , especialmente en las vías perimetrales del barrio (donde es escaso o inexistente).
	b. Proveedor de sombra	- En Laguna de Duero, dada la variación térmica entre unas estaciones y otras, es preferible la disposición de arbolado perennifolio para conseguir unas mejores condiciones de confort térmico en los espacios exteriores. - La localización de los árboles debería estudiarse en función de las sombras arrojadas. El tipo de árbol (tamaño de su copa, tipo de hojas) debería disponerse en función de las necesidades de sombreado.
	c. Repercusión en las condiciones higrotérmicas	- Es muy recomendable la incorporación de vegetación en muros y cubiertas. - Un incremento de vegetación, unido al incremento de superficie permeable, incrementaría la humedad ambiente y mejoraría el confort, reduciendo la demanda energética en verano.
	d. Barreras contra el viento	- Mejorarían combinando plantas de diferente porte: rastreras o tapizantes, arbustos, arbolado. - Las alineaciones arboladas en las calles pueden funcionar como barreras vegetales, mejorando la humedad del aire. Hay que instalarlas perpendiculares a la dirección de los vientos dominantes.
	e. Pantallas contra el ruido	- Mejorarían combinando plantas de diverso porte, especialmente junto a las principales fuentes de ruido: el viario y las playas de aparcamiento perimetrales al barrio.
5. Xerojardinería		- Se recomienda la sustitución del césped por vegetación tipo pradera. - Se recomienda el uso de <i>mulches</i> en algunas superficies con el fin de reducir las necesidades de agua y de productos fitosanitarios.

Tabla 1: Síntesis de las recomendaciones para la implementación de mejoras en Torrelago.

VI. CONCLUSIONES

El estudio de caso realizado muestra cómo la renaturalización del entorno de los edificios en la regeneración de un barrio puede contribuir notablemente a la mejora medioambiental del mismo. En el contexto más próximo (el del barrio), la capacidad de la vegetación para fijar partículas y sustancias nocivas derivadas de la quema de combustibles fósiles contribuye a mejorar la calidad del aire y a crear un ambiente más saludable. De igual forma, produce un entorno más confortable -al tener la vegetación capacidad de regular los posibles efectos adversos del clima, como la temperatura, la humedad, el viento, el ruido-, lo que redundará en la mejora del bienestar de los ciudadanos y en una reducción de la demanda energética de las edificaciones próximas. En un contexto más global, la vegetación se comporta como un importante sumidero de carbono y como un elemento capaz de incrementar la biodiversidad urbana.

Empero, no se trata de incorporar vegetación sin más: es preciso seguir una estrategia holística de planificación. El trabajo plantea que dicha estrategia ha de tener en cuenta al menos los siguientes parámetros: la cantidad de vegetación necesaria, el tipo de especies y su ubicación, su porte, su capacidad de absorción de CO₂, la condición ineludible de formar sistemas continuos; así como la complementariedad con otras pautas: incremento de suelos terrizos o semipermeables, incorporación de láminas de agua, gestión posterior, etc.

Aunque, como ya se ha indicado, en Torrelago no está previsto realizar mejoras del entorno, al menos por el momento y con cargo al proyecto europeo en el que se enmarca la rehabilitación energética de los edificios actual, las potencialidades del barrio son altas. No obstante aquello, se requeriría sustituir parte del espacio de borde destinado a los coches por espacio vegetado y permeable, incorporar vegetación en cubiertas y paramentos verticales, enlazar el barrio con los corredores ecológicos y espacios verdes periurbanos definidos por el PGOU para el conjunto del municipio, reforzar las alineaciones de árboles en el viario, complementándolas con arbustos y plantas tapizantes en alcorques corridos, y reducir la demanda de agua aplicando pautas de xerojardinería. Finalmente, conviene señalar que para el análisis no han podido llevarse a cabo algunos cálculos específicos (como la capacidad de fijación de CO₂ de las especies existentes) que hubieran dado lugar a una evaluación más afinada. Con todo, las estimaciones que se han

realizado a partir de la literatura existente pueden considerarse suficientes para la definición de la estrategia de mejora del entorno de Torrelago mediante su renaturalización.

Agradecimientos: Este trabajo forma parte del proyecto *RepliCable and InnovaTive Future Efficient Districts and cities (CITYFiED)*, financiado por la Unión Europea a través del *Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration activities* (Grant Agreement number 609129).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, Giseke y MOHREN, Richard. *Der Biotopflächenfaktor als ökologischer Kennwert*. Informe, Grundlagen zur Ermittlung und Zielgrößenbestimmung, Berlin, 1990. Disponible en: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/download/Auszug_BFF_Gutachten_1990.pdf

BERMEJO, Martín. *Comparación de tiempos de trayectos metro-a pie-bici en la zona urbana de Barcelona*. Tesina, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori, Barcelona, 2007.

BRIZ ESCRIBANO, Julian. *Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora ambiental*. 2ª ed. Madrid: Mundi Prensa Libros, 1999.

BURÉS PASTOR, Silvia. *Xerojardinería*. 1º ed. Reus: Ediciones de horticultura, 1993.

DEL CAZ ENJUTO, María Rosario y TEODOSIO, Annarita. *Natura, città e cambiamento climatico*. En: MOCCIA, Francesco Domenico (ed.). *La Città Sobria*. Napoli: INU (Istituto Nazionale di Urbanistica Edizioni Scientifiche Italiane), 2013, pp. 515-522.

ERELL, Evyatar, PEARLMUTTER, David y WILLIAMSON, Terry *Urban microclimate: Designing the spaces Between buildings*. 1º ed. London: Editorial Earthscan, 2010.

EUROPEAN Commission. *Directorate-General for Research and Innovation Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015.

FALCÓN, Antoni. *Espacios verdes para una ciudad sostenible: Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.L., 2008.

FIGUEROA CLEMENTE, Manuel Enrique. y REDONDO GÓMEZ, Susana. *Los sumideros naturales de CO₂. Una estrategia sostenible entre el cambio climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial*. 1º ed. Sevilla: Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla, 2007.

HERNÁNDEZ, Agustín. (Coord.). *Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2013.

HOUGH, Michael. *Cities and Natural Process*. 1ª ed. London: Editorial Routledge, 1995.

MIGLIORINI, Franco. *Verde urbano. Parchi, giardini, paesaggio urbano: lo spazio aperto nella costruzione della città moderna*. 3ª ed. Milano: Editorial Franco Angeli, 1992.

LAMELA, Antonio. MOLINÍ, Fernando y SALGADO, Miguel. En búsqueda de unas recomendaciones urbanísticas mundiales de densidad y espacios verdes. *Nimbus. Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje*, 2011, nº 27-28, pp. 95-118.

RUEDA, Salvador. *Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas* (en línea). 2010. (Consultado: 2 septiembre 2016). Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/indicadores_ciudades_grandes_y_medianas_tcm7-177731.pdf

SALVADOR PALOMO, Pedro José. *La planificación verde en las ciudades*. 1ª ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2003

SALVO TIERRA, Enrique. GARCÍA-VEDUGO, Juan C. (Eds.). *Naturaleza urbanizada. Estudios sobre el verde en la ciudad*. 1ª ed. Málaga: Secretariado de publicaciones e intercambio científico de la Universidad de Málaga, 1994.

SECRETARÍA DEL CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA. *Perspectiva de las ciudades y la diversidad biológica: Acciones y políticas, Una evaluación mundial de los vínculos entre la Urbanización, la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas – Resumen Ejecutivo*. Montreal: 2012.

SUKOPP, Herbert. y WERNER, Peter. *Naturaleza en las ciudades. Desarrollo de flora y fauna en áreas urbanas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1989.