

CODE 155

CATALOGING ROOFS FOR THE APPLICATION OF NBS IN EDUCATIONAL BUILDINGS

CATALOGACIÓN DE CUBIERTAS PARA LA APLICACIÓN DE SBN EN EDIFICIOS EDUCATIVOS

**Alonso, Carmen¹; de Frutos, Fernando¹; Martínez, Arturo¹; Torres, Salustiano²;
Frutos, Borja¹; Martín-Consuegra, Fernando¹**

1: Grupo de investigación Sistemas constructivos y habitabilidad en la edificación
Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja. CSIC
e-mail: c.alonso@ietcc.csic.es

web: <https://www.ietcc.csic.es/dpto-construccion/sistemas-constructivos-y-habitabilidad-en-edificacion/>

2: Real Jardín Botánico. CSIC

RESUMEN

Dentro de las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), la cubierta verde es una estrategia muy interesante para la rehabilitación de edificios escolares. Por un lado, reduce el sobrecalentamiento en el interior del edificio en los meses cálidos, por otro, reduce las necesidades energéticas para la climatización y mitiga el efecto del cambio climático. Además, puede favorecer la mejora de la biodiversidad, y servir como soporte de recursos educativos en las escuelas.

El trabajo que se presenta muestra el estudio de las cubiertas de edificios escolares en Badajoz, para conocer las posibilidades de rehabilitación con soluciones basadas en la naturaleza. Para ello se utiliza una metodología basada en sistemas de información geográfica, con datos georreferenciados LiDAR, Catastro, Ortofoto PNOA, contrastando los indicadores obtenidos con el estudio pormenorizado de cada cubierta.

Los resultados obtenidos permiten validar la metodología para este tipo de edificios y por tanto poder extrapolar los resultados. Este estudio forma parte del proyecto LifeMBIG, en el que se analizan diversas Soluciones Basadas en la Naturaleza para la adaptación de edificios al Cambio Climático.

PALABRAS CLAVE: Soluciones basadas en la naturaleza; Cubiertas verdes; Rehabilitación energética; Sistemas de información geográfica; Calidad ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial presenta una temperatura 1°C más alta que en la época preindustrial. Los periodos de calor extremo son cada vez más largos, comunes e intensos. [1]. Según [2] el calentamiento global aumentará en número de días e intensidad de las olas de calor en Europa, sobre todo en el extremo sur del continente. En la península ibérica, los 1.6 días de olas de calor promedio en cada verano del periodo 1961-1990 aumentarán a 11.9 días de 2021-2050 y a 39.9 días de 2071 a 2100.

En España, muchos de los edificios no están habilitados para hacer frente a este calentamiento cada vez más severo. En Madrid, la mayoría de los edificios de vivienda fueron construidos entre 1940 y 1980, en un periodo posbélico de precariedad económica donde escaseaban los materiales de construcción y

previo a la aparición de las normas que regulan las condiciones térmicas adecuadas para los edificios, lo que ha derivado en su ineficiencia energética y baja confortabilidad térmica [3]. Por su parte, los edificios escolares también resintieron este periodo, se detuvieron los cientos de construcciones y proyectos escolares programados y se recurrió a escuelas de emergencia (micro escuelas) en espacios improvisados o con materiales térmicamente inadecuados [4]. Como lo menciona Burgos en [5], se dejaron de lado los criterios de adaptación climática que recomendaban organismos como la Institución Libre de Enseñanza para la construcción de escuelas. La modernidad en los edificios escolares, con servicios e instalaciones adecuadas, comenzó a partir de 1970, con la Ley General de Educación [4].

En 1979 entra en vigor la norma NBE-CT-79 que establece requisitos térmicos para las envolventes de edificios [6]. Sin embargo, los edificios construidos dentro del periodo mencionado requieren de una intervención constructiva para mejorar su desempeño térmico y energético, sobre todo aquellos inmuebles cuyos usuarios son más proclives a padecer el creciente aumento térmico.

El sobrecalentamiento en los espacios afecta la salud de las personas en general, sin embargo, existen sectores más vulnerables. Los niños pequeños son más propensos a sufrir enfermedades respiratorias y renales, fiebre y desequilibrio electrolítico al estar en un ambiente con altas temperaturas [7]. Por lo tanto, resulta evidente la prioridad de mejorar las prestaciones térmicas de los edificios escolares.

La rehabilitación energética de los edificios se ha vuelto una prioridad por parte de la Unión Europea. En su agenda de investigación e innovación se han incluido las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), que buscan hacer frente a los problemas derivados de cambio climático desde una perspectiva social y ecológica a través de cuatro metas específicas: el aumento de la urbanización sustentable, la restauración de ecosistemas degradados, mejora de la gestión de riesgos y la resiliencia y el desarrollo de la mitigación y adaptación al cambio climático. Las SBN aprovechan los procesos complejos que suceden en la naturaleza, como la regulación de los flujos de agua de lluvia o el almacenamiento de carbono de la atmosfera [8].

Las cubiertas verdes forman parte de las SBN y pueden reducir la escorrentía pluvial y la absorción de radiación solar por parte de los edificios. Esta tecnología vegetal requiere de varias capas (de interior a exterior): impermeable, anti-raíz, de drenaje, con sustrato de cultivo y vegetal, entre otras. Estas cubiertas se pueden clasificar en extensivas o intensivas. Las primeras incorporan plantas de bajo porte y sustratos de poco espesor y las segundas utilizan plantas de mayor tamaño, árboles o arbustos, y requieren de un sustrato soportante de mayor espesor [9].

Antes de considerar esta SBN como opción para la rehabilitación energética de un edificio, se deben considerar, entre otras cosas, la inclinación del techo preexistente. En [10] se determina que cubiertas planas con una inclinación menor a 5° son aptas para una cubierta vegetal de tipo intensiva. Mientras que las cubiertas con una inclinación menor a 20° son adecuadas para recibir una cubierta vegetal de tipo extensiva.

La identificación del nivel de inclinación de un techo es sencilla, sin embargo, para establecer políticas públicas que mitiguen las crecientes olas de calor es necesaria la identificación general del ángulo de las cubiertas pertenecientes a una urbe, un método que permita realizar este tipo de operación a gran escala, para múltiples edificios de manera automatizada.

En [11] se establece una metodología para automatizar la identificación de propiedades geométricas de cubiertas y determinar su idoneidad para adaptarles sistemas fotovoltaicos. El autor utiliza datos LiDAR para segmentar, ubicar, calcular número y ángulo de pendientes y determinar la orientación azimutal de los techos. Ya que los datos LiDAR presentan restricciones en cuanto a resolución espacial, el autor se apoya en ortofotos aéreas para trazar con exactitud el perímetro de las cubiertas.

Con respecto al presente estudio, se utilizan los datos LiDAR para desarrollar una metodología que permita clasificar las cubiertas de centros educativos de acuerdo a sus grados de inclinación. La

metodología será mostrada a través de un caso de estudio perteneciente al proyecto europeo LifeMBIG, el cual tiene la encomienda de adaptar edificios escolares al cambio climático a través de SBN.

2. METODOLOGÍA

2.1 Edificios

Una de las tareas iniciales del proyecto LifeMBIG fue catalogar los edificios escolares de la provincia de Badajoz, para localizar demostradores adecuados para la instalación de las SBN. Dentro de un listado de 162 edificios docentes y sociales, el edificio seleccionado fue Colegio de Educación Infantil y Primaria Gabriela Mistral (RefCAT: 4397601QC1849N0001ZY) en el municipio de Solana de los Barros (Figura 1), sobre el que se va a explicar la metodología para la catalogación de cubiertas que se presenta en esta comunicación. Este edificio se seleccionó teniendo en cuenta criterios técnicos, ambientales y de gestión como el año de construcción, estado y tipo de cubierta existente, posibilidades de gestión e implantación de las soluciones, o posibilidades de instalación de equipos de monitorización.

2.2 Información de referencia

Para el análisis de las cubiertas se aplica la metodología de análisis de datos desarrollada a escala urbana en [12]. En este trabajo se utiliza para caracterizar edificios escolares en Badajoz. Para contrastar los datos extraídos con dicha la metodología con las características reales de los edificios, se realiza un análisis de las cubiertas de manera individualizada, a partir de los perfiles que proporcionan los datos de nube de puntos. De esta manera se puede comprobar la validez de su aplicación en estos edificios.



Figura 1: a) Ortofoto, b) Nube de puntos LiDAR, c) Geometría DG Catastro del edificio objeto de estudio

Para el análisis, los principales datos utilizados son:

- **Ortofoto:** Permite tener una visión general de los inmuebles y el entorno. Se utiliza la ortofoto PNOA de máxima actualidad que incorpora el menor tamaño de pixel disponible en cada territorio desde la plataforma de descargas del IGN [13].
- **Datos LiDAR:** Se ha descargado la información del centro nacional de descargas del IGN [13]. Se trata de ficheros digitales de nubes de puntos en formato comprimido LAZ correspondientes a la 2ª cobertura. La información altimétrica de la nube de puntos está distribuida en ficheros de 2x2 km de extensión. Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LiDAR con una densidad de 0,5 puntos/m² o mayores.
- **Datos DG Catastro:** Dentro del municipio de Solana de los Barros existen 17 inmuebles catalogados como “servicios públicos”. Entre ellos, sólo cuatro tienen establecido un uso educativo. Estos registros llevan incorporada la referencia catastral, lo que permite realizar una nueva consulta para descargar la información de detalle de los inmuebles de interés. En esta

ficha de detalle aparece una nueva catalogación, que permite seleccionar los edificios cuyo uso principal es “enseñanza”.

- **Centros educativos:** Se realiza una consulta en el Registro Estatal de Centros Docentes no Universitarios (RCD) [14]. Este identifica 3 centros definidos a través de su denominación genérica y específica, naturaleza y ubicación (Tabla 1). A partir de la ubicación se identifica el inmueble de estudio en la cartografía de DG Catastro.

Tabla 1. RCD. Solana de los Barrios

Denominación genérica	Denominación específica	Naturaleza	Domicilio	C. Postal
Colegio de Educación Infantil y Primaria	GABRIELA MISTRAL	Centro público	PLAZA DEL COLEGIO NUEVO,S/N	06209
Escuela Infantil	E.I. SOLANA DE LOS BARROS	Centro público	CTRA. DE LA CORTE S/N.º	06209
Instituto de Educación Secundaria Obligatoria	MARIANO BARBACID	Centro público	FEDERICO GARCIA LORCA S/N	06209

En un primer paso se analizan las pendientes de las cubiertas de manera manual, caso por caso, para tener datos de referencia fiables. Posteriormente se aplica la metodología propuesta, pensada para aplicarse de manera automática. Esto permite contrastar los resultados y detectar posibles fuentes de error.

En la provincia de Badajoz existen 165 municipios. Según la información catastral, en total habría una cantidad de 3.454 edificios catalogados como “servicios públicos” de los cuales sólo una parte se corresponderían con edificios de uso educativo.

Esta metodología y el proceso de datos que se muestra supone un avance sobre trabajos previos, aplicándose a la tipología de edificios educativos. Además, permitirá replicar el ejercicio que se ha expuesto en esta comunicación a dichos municipios, y por tanto disponer de información valiosa para abordar la rehabilitación de dichos edificios atendiendo a las características de sus cubiertas.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Además de la inspección in situ, a través de programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se visualizaron los ficheros de datos recolectados. En la figura 2 se muestra el modelo digital de elevaciones y una fotografía aérea para mostrar las características de las cubiertas del edificio bajo estudio. El módulo “A” presenta sus fachadas más amplias con orientación norte-sur y tiene una cubierta a cuarto aguas. Recientemente a modo de ampliación se construyó el módulo “B”, cuyas fachadas más extensas se orientan hacia el este y oeste. Esta parte B se divide en 4 cubiertas planas diferenciadas por su altura, todas ellas acabadas actualmente con grava.

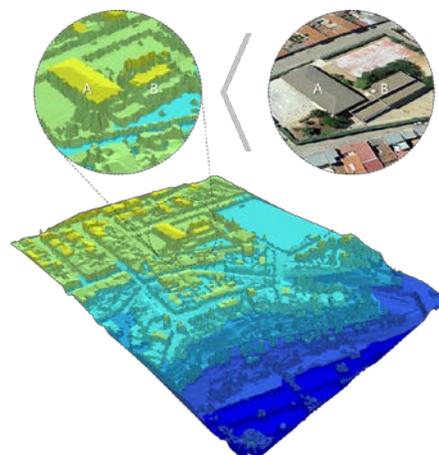


Figura 2: Modelo digital de elevación y fotografía del edificio analizado.

3.1 Datos obtenidos caso por caso

Para el análisis detallado de las pendientes de las cubiertas se realizaron tres secciones en el edificio, tal y como muestra la figura 3.



Figura 3: a) Mapa de nube de puntos LiDAR superpuesto con mapa catastral donde se muestran las secciones de los módulos A y B para determinar la inclinación de las cubiertas. b) Imagen del edificio tomada in-situ

En el módulo A, la sección 1 tiene una pendiente de 12.8° en el lado sur y 13° en el lado norte. De acuerdo a la sección 2, en el sentido longitudinal la cubierta del módulo A tiene una pendiente de 12.5° en ambos extremos. En el módulo B, la cubierta de la planta baja es prácticamente plana, con una inclinación de apenas 0.4° , mientras que la ubicada en el primer nivel no presenta ninguna inclinación perceptible. Así mismo, los puntos de la sección 3 muestran que los dos cuerpos restantes del módulo B tienen cubiertas prácticamente planas, sin inclinación para la planta baja y de 0.7° para primera planta (Figura 4).

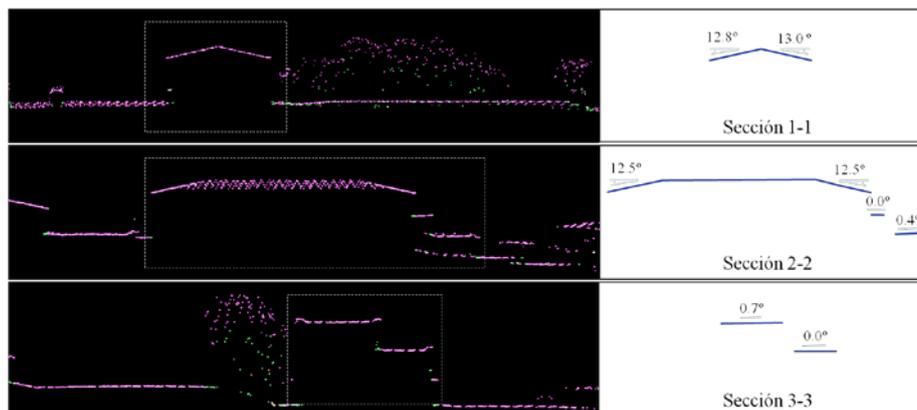


Figura 4: Secciones de nube de puntos utilizadas para determinar los ángulos de inclinación de las cubiertas

3.2 Aplicación de la metodología

Antes de obtener los resultados se ha identificado un desfase entre el modelo de elevaciones obtenido por la nube de puntos LiDAR y la planimetría vectorial proporcionada por la DG Catastro. La franja de recorte de 1m propuesta para eliminar errores de borde no logra abarcar esta discrepancia. Para dar solución a este problema se han propuesto dos vías. Por un lado, se han desestimado los datos en los que la pendiente es mayor a 60° , considerando que así se eliminan la mayor parte de los píxeles que se sobrepasan el límite de la cubierta, ya que se corresponderían con la diferencia de cota en las fachadas. Por otro lado, se ha corregido la geometría de Catastro, desplazándola para eliminar esos mismos errores.

A través de la metodología se extrajeron las pendientes promedio de las cubiertas de ambos módulos que se muestran en la tabla 2.

3.3 Comparación

La inclinación del módulo A, cuyo techo tiene 4 vertientes, ha registrado una pendiente media de 14.2° en el primer caso, y 14.9 en el segundo, frente a los 12°-13° estimados geoméricamente. En el módulo B las pendientes estimadas con la metodología son mayores que las estimadas geoméricamente, ya que según su construcción son prácticamente planas (Tabla2).

Tabla 2: Pendiente de las cubiertas por módulos

Modulo	Superficie (m ²)	Datos calculados para cada polígono	Resultado de la metodología Dato medio por polígono	Resultado de la metodología (geometría ajustada) Dato medio por polígono
A1(N)	562	12.8°	14.2°	14.9°
A1(S)		13°		
A2(O)		12.5°		
A2(E)		12.5°		
B2(PB)	48	0.4°	5.4°	5.4°
B2(P1)	108	0.0°	31.4°	39.9°
B3(PB)	126	0.0°	6.0°	3.6°
B3(P1)	171	0.7°	5.4°	7.1°

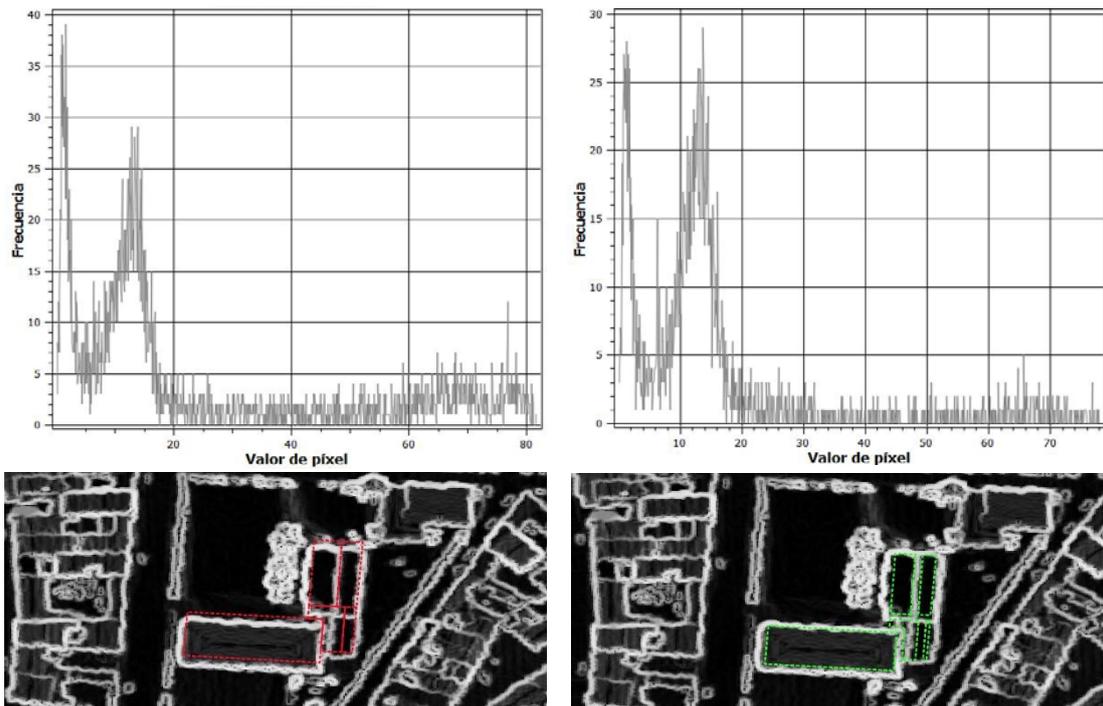


Figura 5: Pendientes a partir del modelo digital de elevaciones (MDE) y geometría DG Catastro para el caso de estudio. Histograma e imagen de la localización original (izquierda) y de la geometría justada (derecha)

Si se observa en la figura 5 el histograma con la aplicación de la metodología, se pueden ver los dos picos máximos, en torno al 0° y a los 13°, y todo el ruido generado por los píxeles que se encuentran principalmente en los bordes de las superficies. También se puede ver cómo los valores son similares si se corrige la localización geométrica proporcionada por DG Catastro.

El volumen B2(P1) que se muestra en la fotografía de la figura 3, ha registrado la mayor diferencia entre los resultados. La pendiente medida indica una superficie plana, no obstante, la metodología ha estimado una pendiente de 31.4°. El error obtenido puede atribuirse al desfase mencionado con anterioridad y a la ubicación y geometría de los módulos circundantes. Ni la reducción del área de influencia (buffer) de 1m ni la desestimación de cubiertas con inclinaciones menores a 60° lograron evitar que la pendiente perimetral derivada del cambio de altura del módulo A interviniera en el promediado de la pendiente de la cubierta del polígono B2(P1). La diferencia negativa en altura con respecto al primer módulo y su forma estrecha generaron estas diferencias.

Excluyendo a la sección B2(P1), la diferencia entre ambos resultados está entre 2° y 6°. En este caso, la metodología siempre arroja resultados más elevados que las mediciones, aunque se debe considerar que también se ha detectado una ligera variación entre los datos medidos dependiendo de la ubicación del trazado de la sección. Este aumento de los valores se debe a los valores residuales elevados que se pueden ver en el histograma de distribución (Figura 5).

En el caso de la sección B2(P1) el desplazamiento entre las dos fuentes de datos, unido a la propia geometría en “L” de la cubierta arroja un error importante. Esto se puede ver en el pixelado generado con el modelo digital de elevaciones (Figura 5).

Como alternativa para poder eliminar este tipo de errores en pequeñas superficies o superficies con quiebros o crujías estrechas, se propone utilizar una asociación similar a la que se detalla en [15][16][17], en la que se parte de los mismos datos de nube de puntos para determinar los límites geométricos de las cubiertas.

4. CONCLUSIONES

La metodología se considera válida para los casos analizados, a los efectos de considerar la idoneidad de instalación de soluciones basadas en la naturaleza, aunque como se ha visto puede presentar errores importantes en determinado tipo de superficies que son de pequeño tamaño, con crujías estrechas, o geometrías complejas. En estos casos el método utilizado no permite eliminar los errores de borde generados por los ligeros desplazamientos patentes entre las fuentes de datos, que en cualquier caso continúan presentes en el cálculo promedio, elevando ligeramente el cálculo de la inclinación al aplicar la metodología.

Para plantear las posibilidades de rehabilitación con SBN es interesante localizar, reconstruir y clasificar las cubiertas en función de su pendiente y superficie. El método propuesto permite programar las acciones a gran escala, de manera que se puedan analizar las cubiertas en función de su uso, localización, clima, o geometría. De esta manera puede ser de gran utilidad para abordar de manera estratégica operaciones de rehabilitación de cubiertas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea, a través de su programa LIFE+ (LIFE17 CCA/ES/00088) por la financiación del proyecto Life My Building is Green (LifeMBIG), del cual este trabajo forma parte.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Watts N, Amann M, Arnell N, et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet*. 2019; 394(10211):1836-1878. [doi:10.1016/S0140-6736\(19\)32596-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32596-6)
- [2] Fischer EM, Schär C. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nat Geosci*. 2010;3(May 2010). [doi:10.1038/ngeo866](https://doi.org/10.1038/ngeo866)

- [3] Alonso C, Oteiza I, García-Navarro J, Martín-Consuegra F. Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of façades. Three case studies in Madrid. *Energy Build.* 2016; 126:252-262. [doi:10.1016/j.enbuild.2016.04.034](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.034)
- [4] Asensi Díaz J. Revisión histórica de algunos contenidos y propuestas acerca del edificio escolar. *Tendencias Pedagógicas.* 2004; 9:743-762.
- [5] Burgos, F. *Aulas Laicas. El País, Suplemento Babelia.* https://elpais.com/diario/2002/02/09/babelia/1013213178_850215.html (accessed: October 2021).
- [6] España. *Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.* España: Boletín Oficial del Estado, 253, 24524-24550. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1979-24866> (accessed: October 2021)
- [7] Xu Z, Sheffield PE, Su H, Wang X, Bi Y, Tong S. The impact of heat waves on children's health: A systematic review. *Int J Biometeorol.* 2014; 58(2):239-247. [doi:10.1007/s00484-013-0655-x](https://doi.org/10.1007/s00484-013-0655-x)
- [8] European Commission. *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."* Brussels; 2015.
- [9] Sailor DJ. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy Build.* 2008; 40(8):1466-1478. [doi:10.1016/j.enbuild.2008.02.001](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.001)
- [10] Žuvela-Aloise M, Andre K, Schwaiger H, Bird DN, Gallaun H. Modelling reduction of urban heat load in Vienna by modifying surface properties of roofs. *Theor Appl Climatol.* 2018; 131(Feb 2018):1005-1018. [doi:10.1007/s00704-016-2024-2](https://doi.org/10.1007/s00704-016-2024-2)
- [11] Martín-Jiménez J, Del Pozo S, Sánchez-Aparicio M, Lagüela S. Multi-scale roof characterization from LiDAR data and aerial orthoimagery: Automatic computation of building photovoltaic capacity. *Autom Constr.* 2020;109(April 2019):102965. [doi:10.1016/j.autcon.2019.102965](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102965)
- [12] Alonso C, De Frutos F, Martín-Consuegra F, Frutos B, Galeano J, Oteiza I. Classification of roof types in existing residential buildings in Madrid. Data for an energy rehabilitation strategy. Proceeding of 8th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, REHABEND 2020. Granada, Spain; 2020:1981-1988.
- [13] Organismo Autónomo Centro Nacional de Información Geográfica. *Modelo digital de elevaciones: LIDAR 2ª Cobertura (2015-Actualidad).* <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.js> (accessed September 2021).
- [14] Ministerio de Educación y Formación Profesional. *Registro Estatal de Centros Docentes no Universitarios (RCD).* <https://www.educacion.gob.es/centros/home.do> (accessed: October 2021).
- [15] S. Wang, Q. Gou and M. Sun. Simple Building Reconstruction from Lidar Data and Aerial Imagery. Proceeding of 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering. Nanjing, China 2012, June 01-03, 2012:1-5. [doi: 10.1109/RSETE.2012.6260726](https://doi.org/10.1109/RSETE.2012.6260726).
- [16] Kim C, Habib A, Mrstik P. New approach for planar patch segmentation using airborne laser data. Proceeding of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS Annual Conference 2007: Identifying Geospatial Solutions. Vol 1. Tampa, USA; 2007:368-378.
- [17] Maas HG, Vosselman G. Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS J Photogramm Remote Sens.* 1999;54(2-3):153-163. [doi:10.1016/S0924-2716\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00004-0)