



Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Caminos, Canales y Puertos

Universidad de Castilla-La Mancha. Campus de Ciudad Real

Innovación

en Ingeniería de Caminos, C. y P.

Revista de los alumnos de Máster, ETSI Caminos, C. y P. — UCLM



Volumen 2, año 2023

Sumario

Presentación.....	iii
Lista de revisores	iv
Urbanismo táctico: Revisión y caracterización de las intervenciones realizadas en España durante la pandemia de COVID19	
<i>Guillermo Rodrigo Torromé</i>	1
Ladrillos que absorben la polución del aire: Tecnologías y aplicaciones	
<i>María Barroso Pérez de Madrid</i>	5
Hacia una movilidad sostenible: Desafíos y retos de la implantación de los MaaS en zonas urbanas	
<i>Álvaro Roldán González</i>	9
Clima urbano: Estudio del efecto de la isla de calor urbana, causas y posibles soluciones	
<i>Alba Hidalgo León</i>	13
Áridos reutilizados: Una alternativa sostenible para reducir la huella ambiental en la construcción	
<i>Juan Francisco Ramos Morillo</i>	17
Movilidad urbana vertical como solución a la accesibilidad de los cascos históricos para las personas con movilidad reducida	
<i>Ana María García Fernández</i>	21
Retos y oportunidades de la realidad aumentada en la ingeniería civil	
<i>Fernando García Fernández</i>	25
Sistemas inteligentes de transporte orientados al aparcamiento en la ciudad	
<i>María Luisa Pérez Bravo</i>	29

Presentación

En 2023 se ha cumplido el 25 aniversario de la Escuela de Caminos de la Universidad de Castilla-La Mancha, una institución que prepara a profesionales comprometidos con el desarrollo social y la sostenibilidad ambiental. Además, les inculca el valor de la innovación como una forma de aprender constantemente y de servir a la sociedad.

La ingeniería de caminos es una profesión con una larga trayectoria y una gran importancia en la construcción y mejora del hábitat humano. Desde las antiguas civilizaciones hasta la actualidad, la ingeniería de caminos ha creado obras e infraestructuras que mejoran la vida de las personas y el desarrollo de las comunidades. Pero no solo pertenece al pasado, sino también al presente y al futuro. Los nuevos desafíos del siglo XXI, como el cambio climático, el aumento de la población, la urbanización, la movilidad, la seguridad, la sostenibilidad y la calidad de vida, requieren de soluciones innovadoras que generen valor para la sociedad y el planeta.

La innovación es esencial para el futuro de la ingeniería de caminos, pues consiste en generar y aplicar nuevas ideas, conocimientos y tecnologías que permitan resolver problemas, optimizar procesos, mejorar productos y servicios, y aportar valor a la sociedad. La innovación en nuestra ingeniería impulsa el desarrollo económico, social y ambiental, y favorece la competitividad y la excelencia de las organizaciones e instituciones que participan en este ámbito.

Con *Innovación en Ingeniería de Caminos, C. y P.* queremos contribuir a esta labor. En este segundo volumen, se ofrecen artículos sobre distintos aspectos innovadores relacionados con el urbanismo, los materiales, la energía, el clima, los residuos, la accesibilidad, la realidad aumentada y los sistemas inteligentes de transporte. Estos artículos reflejan el interés, la creatividad y el rigor de los alumnos, así como su habilidad para identificar, analizar y proponer soluciones innovadoras a los desafíos presentes y futuros de nuestra ingeniería. Esperamos que los artículos les resulten interesantes y les animen a seguir innovando en su profesión.

Finalmente, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los profesores e investigadores de la Escuela de Caminos que han actuado como revisores de los artículos de este volumen de la revista. Su trabajo ha sido fundamental para garantizar la calidad, la originalidad y la relevancia de los artículos, así como para orientar y apoyar a los alumnos en la mejora de sus trabajos. Gracias por su dedicación, profesionalidad y generosidad.

Ana Rivas Álvarez & Gonzalo Ruiz López

Profesores de Innovación e Investigación en Ingeniería de Caminos
Ciudad Real, diciembre de 2023

Lista de revisores

Profesores e investigadores de la ETSI Caminos, C. y P.

José María Coronado Tordesillas
Álvaro Galán Alguacil
José Antonio Lozano Galant
Amparo Moyano Enríquez de Salamanca
Vicente Navarro Gamir
Elisa Poveda Bautista
Ana Rivas Álvarez
Ángel De La Rosa Velasco
Rita Ruiz Fernández
Gonzalo Ruiz López
Santos Sánchez-Cambronero García-Moreno

Alumnos de Innovación e Investigación en Ingeniería Civil

María Barroso Pérez de Madrid
Eliza Altagracia Cuevas Camacho
Ana María García Fernández
Fernando García Fernández
Alba María Hidalgo León
Jesús Navarro Amador
María Luisa Peces Bravo
Juan Francisco Ramos Morillo
Guillermo Rodrigo Torromé
Álvaro Roldán González
Javier Vázquez Rodríguez

URBANISMO TÁCTICO: REVISIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERVENCIONES REALIZADAS EN ESPAÑA DURANTE LA PANDEMIA DE COVID19

Gillermo Rodrigo Torromé

Estudiante de Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha.
Av. Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España
Correo-e: guillermo.rodrido@alu.uclm.es

RESUMEN

El urbanismo táctico es un enfoque innovador en urbanismo que propone pequeñas intervenciones participativas, temporales, instantáneas y de bajo coste para revitalizar y mejorar espacios de las ciudades existentes. Esta corriente se ha popularizado en la última década, pero especialmente a raíz de la pandemia de COVID19, que propició un escenario en el cual muchas ciudades optaron por implementar este tipo estrategias para adaptar sus espacios públicos y su movilidad a la situación, probando que el urbanismo táctico puede ser una herramienta muy potente para la transformación de las ciudades en el futuro. El presente artículo revisa brevemente las intervenciones tácticas realizadas en este periodo, particularmente en el caso de España, centrándose en una serie de casos de estudio de relevancia, y además propone una clasificación para las estrategias de urbanismo táctico, de cara a caracterizar particularmente las llevadas a cabo en el contexto citado.

PALABRAS CLAVE: urbanismo táctico, urbanismo, movilidad urbana, sostenibilidad urbana

ABSTRACT

Tactical urbanism is an innovative approach to urban design that proposes small-scale, participatory, temporary, instantaneous, and low-cost interventions to revitalise and improve existing city spaces. This trend has become popular in the last decade, but especially in the aftermath of the COVID19 pandemic, which created a scenario in which many cities chose to implement such strategies to adapt their public spaces and mobility to the situation, proving that tactical urbanism can be a very powerful tool for the transformation of cities in the future. This article briefly reviews the tactical interventions carried out in this period, particularly in the case of Spain, focusing on a few relevant case studies, and proposes a classification for tactical urbanism strategies, in order to characterise particularly those carried out in the aforementioned context.

KEYWORDS: tactical urbanism, urbanism, urban mobility, urban sustainability

1. INTRODUCCIÓN: CONTEXTO Y URBANISMO TÁCTICO

Según Naciones Unidas, para el año 2050 dos tercios de la humanidad ya vivirán en ciudades. Ante este reto, plantea como uno de sus diecisiete ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) las “ciudades y comunidades sostenibles” [1]. Claramente, lograr tal objetivo requeriría una transformación drástica en el diseño de la ciudad, ya que, hasta ahora, el modelo de crecimiento de las ciudades ha estado estrechamente relacionado con un consumo de recursos muy elevado y con grandes desigualdades sociales. En este sentido, las administraciones públicas empiezan a favorecer intervenciones urbanísticas encaminadas a transformar la ciudad compacta existente para hacerla más agradable, acogedora, segura y sostenible a partir del cuestionamiento del uso de los espacios públicos. Es en este contexto en el que cobra importancia el urbanismo táctico, que en los últimos años ha crecido de forma considerable por todo el mundo [2,3,4].

El término “urbanismo táctico” (*tactical urbanism*) - también denominado en ocasiones *pop-up urbanism*, *do-it-yourself urbanism* o *guerrilla urbanism*- se ha usado en la última década para referirse a una serie de acciones o intervenciones en el espacio público cuyo objetivo común era reconquistar espacios para la ciudadanía y que esta pudiera participar en el diseño de su propio entorno urbano. Según los autores Lydon y García [5], se trata de intervenciones urbanas a corto plazo que buscan generar un cambio a largo plazo. Este enfoque utiliza elementos efímeros y portátiles como mobiliario urbano (bancos, maceteros, etc.), objetos reciclados (como palés) o pintura, para refuncionalizar el espacio público sin alterar su infraestructura. Por tanto, esto permite que las intervenciones se caractericen por un bajo coste; por realizarse a pequeña escala, frente a grandes planes y proyectos urbanísticos; por la rapidez en su ejecución; por su reversibilidad; por su sostenibilidad; y por la participación ciudadana en la toma de decisiones. Permite además evaluar de manera empírica si la intervención tiene el efecto deseado, y por tanto puede hacerse permanente, o si bien

pueden incluirse mejoras. Sin embargo, cabe señalar que este tipo de actuaciones también tiene ciertas limitaciones, como lo son su propio carácter temporal, o que se encuentran con la oposición de una parte de la opinión pública por no entender su finalidad y considerarlas intervenciones urbanísticas de baja calidad.

El urbanismo táctico, es pues, una herramienta que las administraciones locales han utilizado, por ejemplo, para devolver espacio al peatón y generar mayor actividad en el espacio público mediante la peatonalización de calles [6]; o para fomentar la movilidad activa [7,8] mediante planes que buscan revertir el uso desmedido del automóvil en los cascos urbanos en favor de transportes públicos o bicicletas. En este sentido, Barcelona es un ejemplo de ciudad se ha valido del urbanismo táctico en su objetivo de lograr una movilidad más sostenible (véase Figura 1), como se verá posteriormente.

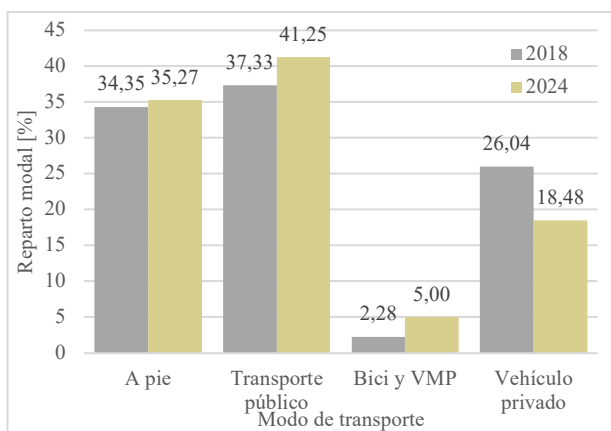


Figura 1. Reparto modal actual y proyectado en Barcelona. Elaboración propia a partir de datos de [9].

2. INTERVENCIONES TÁCTICAS DURANTE LA PANDEMIA DE COVID19: REVISIÓN Y CASOS DE ESTUDIO

La pandemia de SARS-CoV-2 del 2020 tuvo un fuerte impacto en múltiples ámbitos de la sociedad, y también, en la ciudad. Por una parte, esta situación transformó radicalmente y en muy poco tiempo los patrones de movilidad en las ciudades [10, 11], ya que se debían buscar alternativas a los transportes públicos colectivos. El distanciamiento social, por otra parte, cambió completamente la relación de la ciudadanía con el espacio público, generándose nuevas necesidades: por un lado, la de mayor espacio para el peatón en el viario para poder guardar la distancia interpersonal requerida; por otro lado, se precisaba una mayor proximidad de las actividades (usos comerciales, ocio, etc.) y equipamientos a los lugares de residencia, y mucha mayor área para realizar actividades en el espacio público (parques infantiles, espacios para practicar deporte, etc). Por último, el fuerte impacto socio-económico que tuvo la pandemia también afectó a la actividad de las calles ya en muchos casos, esta disminuyó considerablemente con el cierre de establecimientos. Y en este sentido, cabe destacar que muchos establecimientos de hostelería necesitaron ocupar una gran cantidad de espacio público con terrazas para subsistir.

En este contexto, se hace evidente que para implementar estos cambios se necesitaban soluciones urbanas rápidas y flexibles. Es así como en este periodo el urbanismo táctico experimentó un gran auge en distintas partes del mundo [12, 13]. Además, este punto de inflexión también supuso un impulso para las administraciones locales para la materialización de ambiciosos planes de urbanismo táctico anteriores a la pandemia. Así, en el ámbito internacional destacan proyectos como por ejemplo *Piazze Aperte* en Milán [14].

En España, si bien, previamente a la pandemia ya se habían llevado a cabo experiencias tácticas relevantes como por ejemplo *Espacio Galileo* en Madrid o intervenciones en solares vacíos (*Esto no es un solar*, Zaragoza) [15], fue la situación de pandemia la que consolidó esta práctica en ciudades de todos los tamaños.

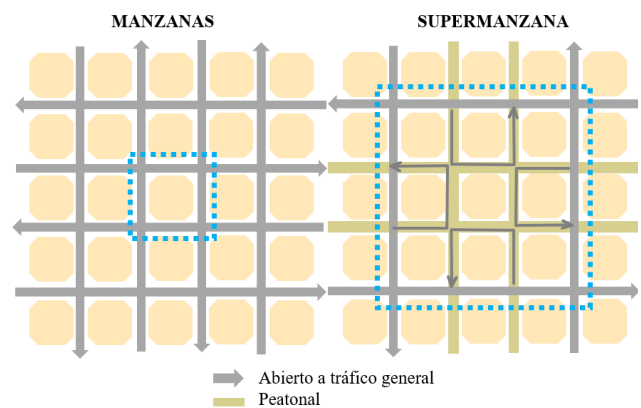


Figura 2: Esquema de la reordenación del tráfico en una supermanzana. Elaboración propia a partir de [16]

El caso con mayor repercusión internacional es el de Barcelona y sus supermanzanas [16], proyecto que llevaba en marcha desde 2016 pero que, como en otros casos, la pandemia ha potenciado. Las supermanzanas, que serían un conjunto de manzanas contiguas, pretenden ser la nueva unidad o célula en la que articula la movilidad en la ciudad, frente a la manzana, y se han convertido en la herramienta de la ciudad para fomentar la movilidad sostenible. El tráfico motorizado, salvo excepciones, no puede acceder a las calles interiores de las supermanzanas (Figura 2), que se convierten así en un espacio de convivencia vecinal y para el peatón. Ya existen varias en la trama urbana reticular del Ensanche, realizadas primero mediante urbanismo táctico [17] y, posteriormente, siendo consolidadas permanentemente.

En esta línea, además de las supermanzanas, Barcelona ha llevado a cabo todo un conjunto de intervenciones tácticas durante la pandemia, valiéndose de elementos como pintura, mobiliario y balizamientos, como carriles bici, ensanchamientos de la banda peatonal, parklets para terrazas o creación de zonas estanciales, entre otros.

Otro caso relevante es el de Valencia, que, siguiendo los pasos de Barcelona, ya ha creado una amplia red de carriles bici tácticos en el centro, y planea implementar también supermanzanas. Además, destaca la peatonalización con urbanismo táctico (principalmente, mediante delimitación de espacios con maceteros) de su Plaza del

Ayuntamiento (Figura 3), que posteriormente está siendo consolidada de forma permanente.



Figura 3: Evolución del espacio peatonal en la Plaza del Ayuntamiento de Valencia tras la intervención. Elaboración propia a partir de ortofotos de IGN.

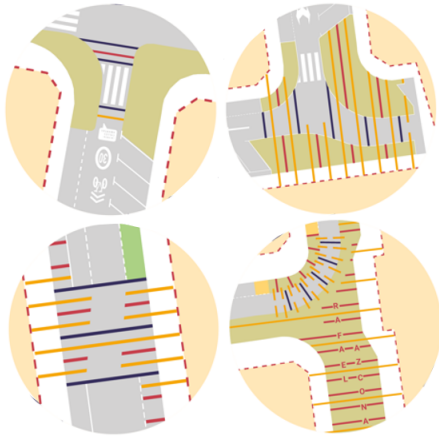


Figura 4: Detalles de intervención táctica en Logroño. Calmado de tráfico mediante el empleo de pintura. Adaptado de [18].

Pero el urbanismo táctico no se ha utilizado solo en grandes urbes: ciudades medianas y pequeñas también lo han llevado a cabo. Destaca el caso de *Logroño Calles Abiertas*, un plan completo que nació expresamente a raíz de las restricciones COVID y que demuestra que el urbanismo táctico también es una herramienta para ciudades de menor tamaño y con menor presupuesto. En la Figura 4, se pueden ver estrategias de calmando de tráfico en todo un área de la ciudad recuperada para el peatón mediante esencialmente el uso de pintura.

Muchas de estas intervenciones se han mantenido o consolidado tras la pandemia y suponen una referencia para la transformación de las ciudades en el futuro [19].

3. CLASIFICACIÓN DE LAS INTERVENCIONES TÁCTICAS

Para intentar caracterizar de manera general las intervenciones tácticas que se han realizado en España durante la pandemia y con el fin de establecer una clasificación de las estrategias utilizadas, se han analizado proyectos de urbanismo táctico entre 2020 y 2022 en las ciudades previamente mencionadas, así como otros de menor entidad

realizados en ciudades como Vitoria, Pamplona, San Sebastián, Zaragoza, Valladolid o Palma, entre otras. Esto se ha hecho mediante el análisis de fotografías y cartografías encontradas en hemeroteca y redes sociales.

Tabla 1: Clasificación de las intervenciones de urbanismo táctico. Frecuencia entre los casos estudiados en España durante la pandemia de COVID19. Elaboración propia.

Clave: **BF**: Bastante común entre los casos observados. **F**: Frecuente entre los casos observados. **PF**: Algunos de los casos observados. **N**: No se han observado casos.

ESTRATEGIAS/ LOCALIZACIÓN	OBJETIVO PRINCIPAL	Espacio del automóvil					Otros espacios infra-utilizados
		Simplificación / corte de intersecciones	Eliminación de carril	Parklet	Calmado de tráfico (orejas, zigzags, chaflanes, etc.)	Patonalización total	
Ganar espacio para:	Peatones (paso)	N	BF	N	N	F	N
	Peatones (estancia)	PF	BF	F	PF	F	N
	Carriles bici	N	BF	N	N	PF	N
	Terrazas	N	PF	BF	N	PF	PF
Reactivar espacios infrautilizados		PF	N	N	PF	N	PF
Seguridad vial y reordenación del tráfico		N	N	N	F	N	N

La heterogeneidad de las acciones tácticas plantea limitaciones para su clasificación. En este caso, la clasificación se ha hecho atendiendo a dos criterios: por un lado, el objetivo principal perseguido con la intervención y, por otro lado, la situación de la actuación [20]. En este sentido entre las actuaciones de urbanismo táctico en general podemos distinguir entre: por un lado, las intervenciones realizadas reconquistando espacio al automóvil, en intersecciones (convirtiendo rotondas e intersecciones en Y en plazas, creando fondos de saco en intersecciones en T, etc.), en carriles de circulación enteros, en espacio de aparcamiento (parklet [21]), o con calmados de tráfico (creación o extensión de orejas, zigzags, chaflanes); y por otro aquellas realizadas en solares y otros espacios infrautilizados [22], e incluso en patrimonio e infraestructuras abandonadas [23].

Además de una clasificación simplificada para el caso del urbanismo táctico durante la pandemia, se incluye (Tabla 1), una estimación cualitativa de la frecuencia de estas intervenciones durante el COVID19 en base a los casos observados.

4. CONCLUSIONES

Este artículo ha revisado brevemente la situación del urbanismo táctico, particularmente en España después de

su auge en la pandemia de COVID19. Tras el estudio de diversas actuaciones, se confirma que las acciones encaminadas a reducir el espacio del automóvil y otorgar mayor espacio al peatón han sido las más usadas durante la pandemia debido a la necesidad de distancia interpersonal, particularmente en la forma de eliminación de carriles de circulación para ensanchar aceras. También fueron frecuentes aquellas intervenciones que buscaban mayor espacio para terrazas o carriles bici. Otros tipos de actuaciones para las que el urbanismo táctico es empleado usualmente, como reactivar espacios infrautilizados, no han sido las más repetidas en este contexto particular. Estos resultados, coinciden con los de otras experiencias internacionales.

El urbanismo táctico ha resultado una herramienta de gran utilidad en la pandemia, como demuestran casos como el de Barcelona, Valencia o Logroño, planteando que también puede serlo en el futuro, con unas inversiones de riesgo muy bajo y un potencial beneficio para la ciudad muy alto. La clasificación realizada puede resultar de interés de cara a identificar posibles espacios susceptibles de mejora mediante urbanismo táctico en el futuro y a planear su proyecto. En este sentido cabe señalar que, pese a que este artículo se ha centrado en un contexto temporal y geográfico muy determinado, puede también resultar relevante para la comunidad internacional debido a que la clasificación y conclusiones de este pueden ser fácilmente extrapolables a otros ámbitos y áreas geográficas.

REFERENCIAS

- [1] ONU. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, Nueva York, EEUU (2015)
- [2] Mould, O., Tactical Urbanism: The New Vernacular of the Creative City. *Geography Compass* 8 (2014), 529-539.
- [3] Talen, E., Do-it-Yourself Urbanism: A History. *Journal of Planning History* 14 (2015), 135-148.
- [4] Silva, P., Tactical urbanism: Towards an evolutionary cities' approach? *Environment and Planning B-Planning & Design* 43 (2016), 1040-1051.
- [5] Lydon, M. y Garcia, A., *Tactical Urbanism: The Book. Short-term Action, Long-term Change* (2015), Washington, EE. UU., Island Press.
- [6] Yassin, H.H., Livable city: An approach to pedestrianization through tactical urbanism. *Alexandria Engineering Journal* 58 (2019), 251-259.
- [7] Barata, A.F. y Sansão-Fontes, A.S., Tactical Urbanism and Sustainability: Tactical Experiences in the Promotion of Active Transportation. *Civ. Eng. J.* 11 (2017), 734-739.
- [8] Bertolini, L., From "streets for traffic" to "streets for people": can street experiments transform urban mobility?. *Transport Reviews* 40 (2020), 734-753.
- [9] Ayuntamiento de Barcelona, Plan de Movilidad Urbana 2024 (2022)
- [10] Aloí, A. et al., Effects of the COVID-19 Lockdown on Urban Mobility: Empirical Evidence from the City of Santander (Spain). *Sustainability* 12(9) (2020), 3870
- [11] Rojas-Rueda, D. y Morales-Zamora, E., Built Environment, Transport, and COVID-19: a Review. *Current Environmental Health Reports* 8 (2021), 138-145.
- [12] Fabris, L.M.F. et al., New Healthy Settlements Responding to Pandemic Outbreaks: Approaches from (and for) the Global City. *The Plan Journal* 5(2) (2020), 385-406
- [13] Pradifita, F.S. et al., The Application of Tactical Urbanism in Public Space on COVID-19 Transmission Prevention. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 830 (2021).
- [14] Cariello, A. et al., Tactical Urbanism in Italy: From Grassroots to Institutional Tool—Assessing Value of Public Space Experiments. *Sustainability*, 13(20) (2021), 11482
- [15] Bellet, C., La activación de solares urbanos: de práctica alternativa a objeto de programas municipales. *Biblio 3W - Revista Electrónica Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales Universidad de Barcelona* 19 (2013), 1058
- [16] Magrinyà, F., Barcelona: un cambio de paradigma hacia una movilidad activa. En Ruiz-Apilániz, B. y Solís E. (Eds.) *A pie o en bici. Perspectivas y experiencias en torno a la movilidad activa* (2021), Ediciones UCLM, 137-150.
- [17] Sansão-Fontes, A. et al., "Urbanismo Táctico como teste do espaço público: o caso das superquadras de Barcelona", *EURE: revista latinoamericana de estudios urbano regionales* 45(136) (2019), 209-232
- [18] Concejalía de Desarrollo Urbano Sostenible del Ayuntamiento de Logroño, *Logroño Calles Abiertas: Estrategia para la movilidad activa en Logroño* (2020).
- [19] Graziano, T., Smart Technologies, Back-to-the-Village Rhetoric, and Tactical Urbanism: Post-COVID Planning Scenarios in Italy. *International Journal of E-Planning Research* 10 (2021), 80-93.
- [20] Lewis, J., y Schwindeller, M., "Adaptive Streets—Strategies for Transforming the Urban Right-Of Way." (2014). Issue.
- [21] Littke, H., Revisiting the San Francisco parklets problematizing publicness, parks, and transferability. *Urban Forestry & Urban Greening* 15 (2016), 165-173.
- [22] Nemeth, J., Langhorst, J., Rethinking urban transformation: Temporary uses for vacant land. *Cities* 40 (2014), 143-150.
- [23] Campo, D., Iconic eyesores: exploring do-it-yourself preservation and civic improvement at abandoned train stations in Buffalo and Detroit. *Journal of Urbanism*, 7(4) (2014), 351–380

LADRILLOS QUE ABSORBEN LA POLUCIÓN DEL AIRE: TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES

María Barroso Pérez de Madrid

Innovación e Investigación en Ingeniería Civil.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha.
Avenida Camilo José Cela s/n, 13071 Ciudad Real-España.
Correo-e: Maria.Barroso2@alu.uclm.es

RESUMEN

La contaminación del aire es un problema global que afecta a la salud, el bienestar de las personas y el medio ambiente. Para abordar este problema, se han desarrollado ladrillos que absorben la contaminación del aire. Son una nueva tecnología prometedora para reducir la contaminación del aire en entornos urbanos. En este artículo, se revisarán los principios de funcionamiento, avances en esta tecnología, así como las aplicaciones en la construcción de edificios y en proyectos de infraestructura urbana. Se discuten los mecanismos de absorción de contaminantes y los factores que influyen en su eficacia. En este artículo, se revisará también la información técnica, las limitaciones y desafíos, y por último la importancia de fomentar el uso de estos ladrillos. Se concluye que los ladrillos que absorben la polución del aire tienen un gran potencial para reducir los niveles de contaminación en las ciudades, aunque se requiere investigación adicional para mejorar su eficacia y escalabilidad.

PALABRAS CLAVE: Contaminación, ladrillo, tecnología.

ABSTRACT

Air pollution is a global problem that affects people's health, well-being and the environment. To address this problem, air pollution absorbing bricks have been developed. They are a promising new technology to reduce air pollution in urban environments. In this article, the principles of operation, advances in this technology, as well as applications in building construction and urban infrastructure projects will be reviewed. The mechanisms of pollutant absorption and the factors that influence its effectiveness are discussed. In this article, the technical information, limitations and challenges, and finally the importance of promoting the use of these bricks will also be reviewed. It is concluded that air pollution absorbing bricks have great potential to reduce pollution levels in cities, although further research is required to improve their efficacy and scalability.

KEYWORDS: Pollution, brick, technology.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica provoca unas 370.000 muertes prematuras en la UE y en torno a 16.000 en España, según los datos de la Comisión Europea. Teniendo en cuenta que como mínimo multiplica por 4 las causadas por los accidentes de circulación, este problema adquiere una dimensión suficientemente importante para que su alcance sea estudiado y analizado con detalle. El tráfico es, según la Agencia Europea del Medio Ambiente, una de las mayores fuentes de contaminación atmosférica en Europa, seguido de las centrales térmicas y de las plantas industriales.

En España, el 34% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) provienen del tráfico. Además del NO_x, los contaminantes atmosféricos con mayor impacto sobre la salud son las partículas de suspensión que emiten los automóviles y la industria, junto al dióxido de azufre de los combustibles fósiles y el diésel.

En los últimos años, ha aparecido una medida innovadora en el mundo de la construcción para mejorar la calidad del aire: los ladrillos que absorben la contaminación.

Existen varias tecnologías para la fabricación de ladrillos que absorben la polución del aire. Estos incluyen:

Fotocatálisis: Los ladrillos están recubiertos con un material fotocatalítico como el dióxido de titanio (TiO₂), que absorben la energía de la luz para catalizar la reacción de oxidación de los contaminantes del aire en la superficie del ladrillo.

Absorción: Los ladrillos que utilizan la absorción como mecanismo de filtración de contaminantes del aire están recubiertos con un material absorbente, como es el carbón activado o la zeolita, que tiene una gran superficie específica y alta capacidad de absorción.

Biodegradación: Los ladrillos que utilizan la biodegradación como mecanismo de absorción de contaminantes del aire están recubiertos con microorganismos o enzimas que metabolizan los contaminantes del aire en la superficie del ladrillo.

La absorción y la biodegradación simplemente retienen los contaminantes y luego deben ser eliminados, sin embargo, la fotocatalisis transforma los contaminantes en moléculas más simples e inocuas. Además, la fotocatalisis es un proceso que no consume energía adicional y no genera residuos tóxicos.

En resumen, la fotocatalisis es una técnica más efectiva y sostenible para la eliminación de contaminantes en la fabricación de ladrillos que absorben la contaminación, en comparación con la absorción y biodegradación.

2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS LADRILLOS FOTOCATALÍTICOS

Los ladrillos que absorben la contaminación del aire utilizan tecnología de fotocatalisis para convertir los contaminantes en sustancias menos dañinas.

Como se muestra en la *Figura 1*, los ladrillos están recubiertos con un material fotocatalítico como el dióxido de titanio (TiO_2), que actúa como un catalizador para acelerar las reacciones químicas. Cuando los contaminantes, como el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el monóxido de carbono (CO), entran en contacto con la superficie del ladrillo recubierto, se oxidan y se convierten en sustancias menos dañinas, como nitrato y dióxido de carbono (CO_2). Los contaminantes también se modifican en partículas que se adhieren a la superficie del ladrillo, lo que resulta en una reducción significativa de la contaminación del aire.

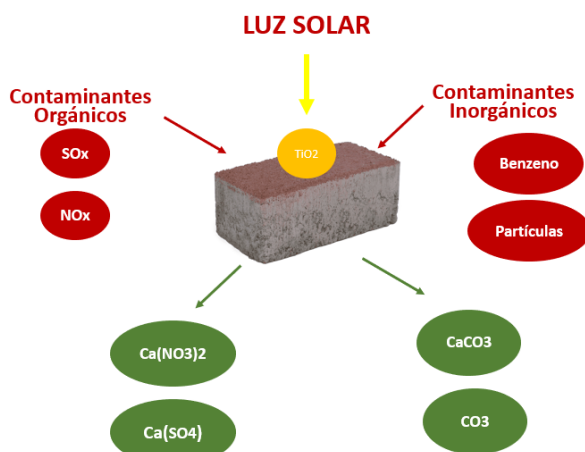


Figura 1. Esquema de funcionamiento de los ladrillos fotocatalíticos. Fuente: Elaboración propia.

3. APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN

Los ladrillos que absorben la contaminación del aire tienen aplicaciones en una variedad de entornos de construcción. En las *Figuras 2 y 3* se observa como es el funcionamiento de estos ladrillos, además, aparece un prototipo real de estos. Pueden ser utilizados en fachadas, muros, interiores y pisos para reducir la contaminación del aire interior y exterior. En edificios con sistemas de ventilación mecánica, los ladrillos también se emplean en conductos de aire para reducir la contaminación del aire que entra al edificio. Además, los ladrillos son muy útiles en proyectos de infraestructura urbana, como carreteras y puentes (entre otros), para reducir la contaminación del aire en zonas urbanas.

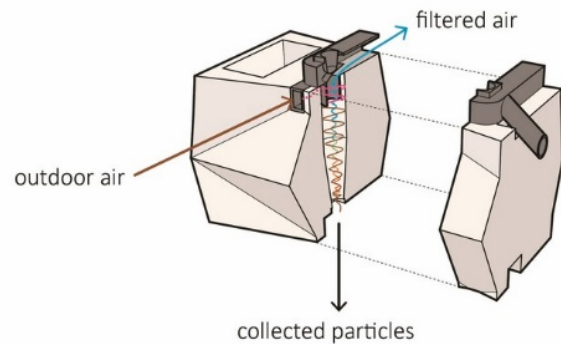


Figura 2. Esquema que muestra el modelo de "Breathe Brick" desarrollado para formar parte de la fachada de un edificio. Fuente: [1].

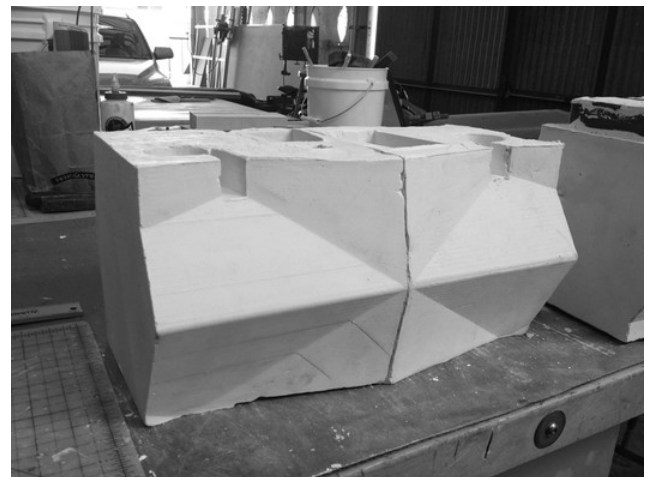


Figura 3. Prototipo de dos módulos de "Breathe Brick". Fuente:[1].

3.1. Elementos constructivos fotocatalíticos aplicados sobre infraestructuras urbanas.

- Pavimentos bituminosos drenantes percolados con lechada fotocatalítica.

- Sprays fotocatalíticos para pavimentación de calles y aceras.
- Losas fotocatalíticas para pavimentación de aceras.
- Revestimiento de fachadas con materiales cerámicos fotocatalíticos.
- Revestimiento de fachadas con mortero fotocatalítico.
- Impermeabilización de cubiertas con productos fotocatalíticos.
- Pinturas en polvo fotocatalíticas para envoltentes metálicas de edificación.

4. INFORMACIÓN TÉCNICA

Una vez instalados, estos ladrillos ayudan a reducir los niveles de polución del aire en el área circundante. La eficacia de estos ladrillos depende de varios factores, incluida la cantidad de ladrillos instalados, la tasa de contaminación en el área y la duración de su exposición a la contaminación.

Además de sus beneficios ambientales, ofrecen algunas ventajas técnicas. Por ejemplo, debido a que estos ladrillos son porosos, son más livianos y fáciles de manipular que los ladrillos convencionales. También pueden tener una apariencia similar a la de los ladrillos tradicionales, lo que significa que pueden utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones de construcción sin afectar al aspecto visual del edificio.

A continuación, en la *Tabla 1* se muestran los datos técnicos generales asociados a los ladrillos.

Tabla 1. Datos técnicos sobre los ladrillos fotocatalíticos. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Valor
Tamaño estándar	10x20x5 cm
Peso	2 kg
Composición química	TiO ₂
Resistencia a compresión	5-7 MPa
Porosidad	15-25 %
Vida útil	50 años

En términos de características técnicas, pueden presentar propiedades como:

- Alta porosidad: Esto les permite absorber una mayor cantidad de contaminantes del aire y mejorar su capacidad para descomponerlos mediante fotocatalisis.
- Durabilidad: Tienen una vida útil similar a la de los ladrillos convencionales, lo que los convierte en una opción viable para la construcción de edificios sostenibles y resistentes.
- Resistencia a la intemperie: Pueden soportar la exposición prolongada a la luz solar y a los cambios climáticos.

- Versatilidad: Se pueden utilizar desde la construcción de edificios hasta pavimentación de calles y carreteras.

5. LIMITACIONES, DESAFÍOS Y FOMENTO DEL USO DE LADRILLOS FOTOCATALÍTICOS

5.1. Limitaciones y desafíos

A pesar de los avances tecnológicos, todavía existen algunas limitaciones y desafíos.

En primer lugar, la eficacia de los ladrillos puede verse afectada por factores ambientales, como la humedad y la luz solar. Además, la durabilidad de los ladrillos puede ser un problema, ya que el material fotocatalítico puede desgastarse con el tiempo.

También hay preocupaciones sobre la seguridad y la salud de los materiales que se emplean para la construcción de estos ladrillos, por tanto, se necesitan más estudios para evaluar el impacto de la implantación de estos.

5.2. La importancia de fomentar el uso de ladrillos fotocatalíticos.

En primer lugar, es especialmente importante fomentar el uso de esta innovadora tecnología en las áreas urbanas donde la calidad del aire puede ser muy baja debido a la emisión de gases y partículas contaminantes por el tráfico y la industria.

En segundo lugar, son una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a los materiales de construcción tradicionales. Pueden ayudar a reducir la huella de carbono de los edificios al reducir la energía necesaria para mantener una temperatura confortable en el interior.

Además, estos no requieren mantenimiento especial, lo que los convierte en una opción económica y rentable a largo plazo.

Por último, es importante porque puede impulsar la investigación y el desarrollo de tecnologías más sostenibles en el campo de la construcción. Esto puede conducir a la creación de nuevos materiales y técnicas de construcción que sean más respetuosas con el medio ambiente y más eficientes en términos energéticos.

En conclusión, fomentar el uso de ladrillos fotocatalíticos es importante porque puede contribuir a mejorar la calidad del aire en las ciudades, reducir la huella de carbono de los edificios, ahorrar energía y promover la innovación y el desarrollo sostenible en el sector de la construcción.

6. CONCLUSIONES

Como se ha expuesto a lo largo del artículo, existen numerosas razones por las que usar los ladrillos fotocatalíticos en las nuevas construcciones.

En conclusión, estos representan una innovación prometedora en el campo de la construcción sostenible.

Su capacidad para descomponer contaminantes, autolimpiarse y reducir la temperatura en entornos urbanos ofrece beneficios significativos en términos de calidad del aire, mantenimiento de edificios y confort térmico.

A medida que se realicen más investigaciones y se mejore su eficiencia y durabilidad, es probable que estos ladrillos desempeñen un papel importante en la construcción de entornos más saludables y sostenibles en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] C. Trudell, N. Schnider. Both landscape and architecture. *Architect Magazine* (2015).
- [2] M. Gareca, M. Andrade, D. Pool, F. Barrón, H. Villarando. Nuevo material sustentable: Ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación* (2020).
- [3] D. J. Segura Montoya, D. M. Camelo Manzanares. Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de prefabricados para obras de infraestructura vial en concreto adicionado con dióxido de titanio (TiO₂). Trabajo de grado (Universidad de Colombia) (2019).
- [4] P. Gil Villanueva. Síntesis, caracterización y estudio de la actividad fotocatalítica de sistemas basados en el óxido de zinc (ZnO). Universidad Autónoma de Madrid (2013).
- [5] L. Espiga Lisboa García. Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción. Trabajo final de Master (Universidad Politécnica de Cataluña) (2016).
- [6] Reyalfil S.L. Producción de elementos prefabricados de hormigón, destinados esencialmente a obra pública, urbanización y pavimentación. *Proarquitectura* (2021).
- [7] M. Faraldos. Guía práctica de la fotocatalisis aplicada a infraestructuras urbanas. Asociación Ibérica de Fotocatalisis (2012).

HACIA UNA MOVILIDAD SOSTENIBLE: DESAFÍOS Y RETOS DE LA IMPLANTACIÓN DE LOS *MaaS* EN ZONAS URBANAS

Álvaro Roldán-González

Estudiante de Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha Edificio Politécnico. Campus Universitario de Ciudad Real. Avda. Camilo José Cela, s/n. 13071. Ciudad Real, España. Correo-e: alvaro.roldan1@alu.uclm.es

RESUMEN

El presente trabajo explora el paradigma cambiante de la movilidad en las ciudades, centrándose en los *MaaS* como solución sostenible a los retos a los que se enfrentan los sistemas de transporte tradicionales. Se aclara qué es un *MaaS* y cómo pueden mejorar los sistemas de transporte en las ciudades. Se analiza el papel de la tecnología como medio imprescindible para concebir los *MaaS* y se abordan los desafíos y retos para su adopción. Por último, se ofrecen ejemplos de éxito en la implantación de estos sistemas en algunas ciudades. En general, se destaca el potencial de los *MaaS* para influir en cómo nos movemos y la necesidad de estudiar su implantación en el marco de una movilidad sostenible.

PALABRAS CLAVE: *MaaS* (movilidad como servicio), Movilidad Urbana Sostenible, Tecnología, Transporte.

ABSTRACT

This paper explores the changing paradigm of mobility in cities, focusing on *MaaS* as a sustainable solution to the challenges faced by traditional transport systems. It clarifies what a *MaaS* is and how they can improve transportation systems in cities. It discusses the role of technology as an indispensable means to conceive *MaaS* and addresses the challenges and opportunities for their adoption. Finally, it provides examples of successful implementation of these systems in some cities. Overall, it highlights the potential of *MaaS* to change the way we move and the need to consider their implementation in the framework of sustainable mobility.

KEYWORDS: Mobility as a service (*MaaS*), Sustainable Urban Mobility, Technology, Transportation.

1. EL MODELO DE MOVILIDAD TRADICIONAL EN LAS CIUDADES

Cuando se realiza la descripción de una ciudad, suelen citarse tres componentes fundamentales: los edificios, las zonas ajardinadas y las calles. La calle es el lugar donde el vecino interactúa con otros vecinos y con su ciudad y su diseño ha influido en el día a día de pequeñas y grandes ciudades y, por ende, en los hábitos de movilidad de sus ciudadanos.

Históricamente, la ciudad europea poseía un tamaño compacto: estaba diseñada para llegar a todas partes andando o mediante vehículos de tracción animal. Sin embargo, a partir de mediados del siglo XIX, comienza una paulatina revolución motivada por la aparición de nuevos medios de transporte —el ferrocarril, en primera instancia, y el coche, después— que posibilitaban viajar distancias más grandes en tiempos menores.

La democratización del vehículo privado propicia una rápida expansión entre la población y por todo el territorio, y con ello, las formas urbanas evolucionan para adaptarse

a estas nuevas necesidades inducidas. Estos hechos sentaron las bases de lo que hoy conocemos como “modelo tradicional” de la movilidad en las ciudades, caracterizado por la dispersión o suburbanización, el diseño de nuevas carreteras de alta capacidad, el cambio en los patrones de los usos del suelo y la conquista del uso del espacio público.

La mayoría de las ciudades europeas y norteamericanas han evolucionado durante el siglo XX según este modelo para acomodarse al uso del vehículo privado, implantando calzadas y aparcamientos allí donde las aceras podían reducirse a la mínima expresión. Esto afectó gravemente a los servicios de transporte público, que se percibía menos práctico, cómodo y eficiente que el coche, lo que lo hacía menos atractivo.

En consecuencia, en muchos lugares desaparecieron los sistemas de tranvía y se redujo drásticamente el número de líneas de autobús. Esto condujo a una mayor dependencia de los automóviles privados, lo que a su vez contribuyó a problemas de congestión de tráfico, de contaminación urbana y de desigualdad social [1].

2. LOS RETOS DEL MODELO DE MOVILIDAD TRADICIONAL EN LAS CIUDADES

El modelo de movilidad tradicional es caduco y anticuado debido a que no puede hacer frente a ciertos retos, haciéndolo insostenible a largo plazo.

En primer lugar, el transporte en vehículo privado contribuye de forma significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero, y esto, al reto del cambio climático y la contaminación atmosférica en zonas urbanas. Estas emisiones crecen con proporción al número de vehículos en circulación, en especial en grandes ciudades.

La congestión es otro importante reto para los sistemas de transporte, ya que afecta aumentando los tiempos de viaje, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes y disminuyendo la productividad.

Desde el punto de vista de la equidad [2], el reto es que los medios de transporte sean asequibles y accesibles para cualquier miembro de la sociedad. Entre los colectivos más susceptibles de sufrir estos obstáculos son las familias de rentas bajas, las personas con movilidad reducida y los habitantes de zonas rurales. Además, con el actual ritmo de digitalización de los servicios, es importante garantizar que no se produce ningún fenómeno relacionado con la brecha digital.

Para superar estos retos se necesita un cambio de hábitos hacia una movilidad más sostenible, favoreciendo el uso del transporte público y de los modos de transporte blandos, la inversión en nuevas tecnologías y la adaptación al marco global del transporte del siglo XXI auspiciado por referencias como la *Smart City* o los Sistemas de Transporte Inteligente (TIS).

Una de las opciones que se está posicionando como señora es la “movilidad como servicio” o *MaaS* —de sus siglas en inglés, *Mobility as a Service*—.

3. QUÉ SON LOS *MaaS* Y CÓMO PUEDEN MEJORAR LA MOVILIDAD EN LAS CIUDADES

MaaS, o movilidad como servicio, es un nuevo paradigma que hace referencia a la integración y armonización del uso de diversas opciones de transporte, como el transporte público, el coche compartido, los sistemas públicos de préstamo de bicicletas o patinetes o el *carsharing*, en una sola plataforma que permite a los usuarios planificar, reservar y pagar sus desplazamientos.

El uso de los *MaaS* se generaliza durante la década de 2010, cuando la tecnología y los operadores de telefonía móvil facilitaron la posibilidad de acceder a Internet desde cualquier dispositivo móvil. En la [Figura 1](#) puede observarse una cronología sobre el crecimiento de los *MaaS*.



Figura 1. Cronología sobre la evolución de los *MaaS*. Elaboración propia a partir de [3].

Los *MaaS* se pueden clasificar en cinco categorías, según su nivel de integración y la disponibilidad de diferentes servicios de transporte. Algunos autores se refieren a esta clasificación como la “escalera de la integración”. En la [Tabla 1](#) pueden compararse sus características.

Tabla 1. Niveles de integración de las plataformas *MaaS*. Elaboración propia a partir de [4].

Nivel 0	Situación inicial, ausencia de integración, servicios completamente aislados.
Nivel 1	Integración de la información: posibilidad de realizar viajes multimodales, de consultar las incidencias en tiempo real o disponer de un asistente de viaje.
Nivel 2	Integración de los servicios de reserva y pago del viaje.
Nivel 3	Integración de la oferta de servicios, incluyendo los contratos (paquetes o suscripciones) y sus responsabilidades.
Nivel 4	Integración de los objetivos sociales a través de un marco de gobernanza que incentive las prácticas de movilidad sostenible.

Los *MaaS* tienen un gran potencial para ofrecer una amplia gama de opciones de transporte a sus usuarios [5], lo que puede redundar en un incremento de la accesibilidad y movilidad de aquellas personas que no quieran depender de los desplazamientos en coche o no dispongan de alternativas en transporte público. Además, como el proceso se realiza en la misma plataforma, la experiencia del usuario se ve mejorada en términos de rapidez y comodidad, lo que lleva asociado un notable ahorro de tiempo y reducción de molestias asociadas a la coordinación de múltiples modos de transporte.

Sin embargo, el éxito de la implementación de los *MaaS* requiere de un adecuado desarrollo tecnológico y de la colaboración entre las distintas partes interesadas: las empresas que realizan los servicios de transporte público, las Autoridades del Transporte y la Administración Pública, en sus diferentes niveles.

4. EL PAPEL DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA IMPLANTACIÓN DE LOS *MaaS*

Las nuevas tecnologías desempeñan un papel fundamental en los *MaaS* al proporcionar la infraestructura digital necesaria para que los usuarios puedan acceder a los servicios de transporte a través de su plataforma.

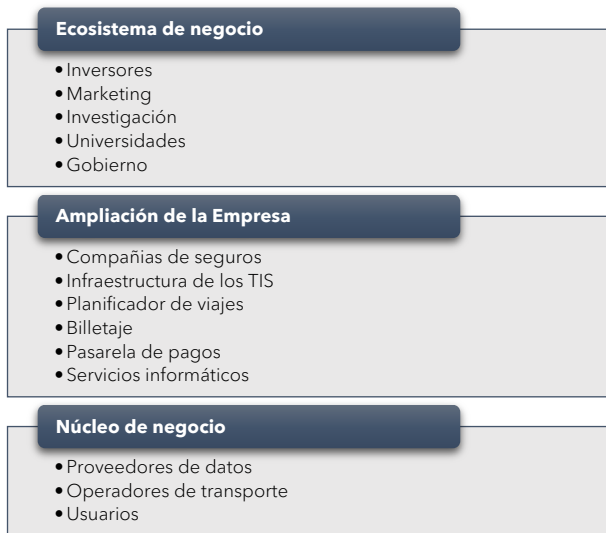


Figura 2. El ecosistema de los *MaaS*. Elaboración propia a partir de [3].

Las plataformas de los *MaaS* se sirven del uso de APIs —del inglés, *application programming interface*, en español, interfaz de programación de aplicaciones— para integrar las diferentes opciones de transporte y permitir a los distintos sistemas comunicarse entre sí. Estas plataformas proveen pasarelas de pago seguras y fiables que permiten procesar transacciones con rapidez y precisión, y permiten pagar un trayecto completo de una vez

El posicionamiento de los vehículos en tiempo real es crucial para que el sistema funcione de forma fidedigna. El uso de sistemas GPS permite recopilar datos de posicionamiento para que puedan mostrarse en las plataformas, pero aún más importante es su uso para la determinación de tiempos de viaje precisos y para la creación y optimización de rutas en función de las necesidades del usuario, de la disponibilidad y horarios de los distintos servicios de transporte o de las condiciones del tráfico. El posicionamiento se puede configurar como un factor de seguridad adicional para procesar el pago del viaje y para asegurar la recogida de viajeros a lo largo de la ruta.

También es importante el análisis de datos y el *big data*, que permiten ofrecer a los usuarios opciones de transporte personalizadas según sus patrones y preferencias de viaje, e incluso alternativas de transporte a la demanda. Esto requiere el uso de algoritmos avanzados y técnicas de *machine learning* que puedan analizar grandes cantidades de datos en tiempo real. Para que los usuarios puedan acceder a estos servicios, los *MaaS* utilizan aplicaciones móviles que muestran a los usuarios acceso a distintas rutas alternativas, proporcionando una experiencia

cómoda y fácil de usar. También es frecuente que estas plataformas utilicen sistemas alternativos de apoyo como *call centers* o atención al usuario mediante mensajería instantánea.

5. DESAFÍOS Y OBSTÁCULOS EN LA IMPLANTACIÓN DE LOS *MaaS*

Aunque los *MaaS* tienen un gran potencial para transformar cómo se mueven las personas por el territorio, existen ciertos desafíos y obstáculos que deben superarse para garantizar su progresiva adopción generalizada.

Uno de los mayores retos a los que se enfrenta la implantación de los *MaaS* es la fragmentación de los sistemas de transporte. En la actualidad, la mayoría de los servicios de transporte público y el resto de los sistemas de transporte funcionan como ecosistemas aislados, gestionados por diferentes empresas que se valen de distintas tecnologías y modelos de negocio. Esta fragmentación dificulta, aunque no imposibilita, la integración de estos sistemas en una única plataforma.

Otro reto al que se enfrentan los *MaaS* es el intercambio de datos y los problemas de privacidad [1]. Las plataformas de los *MaaS* se basan en la recopilación e intercambio de datos de diferentes sistemas de transporte y de posicionamiento del usuario, lo que plantea problemas de protección de datos.

La sostenibilidad financiera de los *MaaS* es otro desafío que debe abordarse [6]. Las plataformas de los *MaaS* requieren una inversión significativa en tecnología, infraestructura y una coordinación precisa con todas partes implicadas en el proceso del transporte. El problema es que no está claro cómo estas plataformas pueden sustentarse de forma autónoma para rentabilizar la inversión a largo plazo, lo que lleva a pensar que la implicación de la Administración en el sistema es condición necesaria para su correcto desarrollo.

Por último, el hábito de los usuarios como pilar fundamental en los servicios de transporte es un desafío clave. Como con cualquier servicio novedoso, los usuarios pueden mostrar dudas y reticencias al principio, sobre todo cuando están acostumbrados a moverse en vehículo privado. Una dificultad recurrente para los *MaaS* es anticiparse a las necesidades de sus usuarios para ofrecer productos que aporten un verdadero valor añadido a sus clientes. Por ello, los *MaaS* deben ofrecer una propuesta atractiva para que los usuarios decidan usarlos de forma habitual.

6. EXPERIENCIAS PILOTO EN LA IMPLANTACIÓN DE LOS *MaaS*

Algunas ciudades de todo el mundo están siendo pioneras en la implantación de los *MaaS*. Los servicios *MaaS* observados se dirigen principalmente a tres categorías de pasajeros:

- Usuarios de vehículos privados, fomentando el cambio modal a través de información completa y atractiva sobre alternativas a los desplazamientos en coche.
- Pasajeros multimodales que utilizan el transporte público y otros servicios de movilidad compartida de forma más o menos regular. El objetivo es fidelizar a estos pasajeros proporcionándoles mayor facilidad y comodidad de uso, disuadiendo del uso del vehículo privado.
- Turistas y usuarios ocasionales. Los *MaaS* pueden ser una oportunidad para proporcionar una oferta de movilidad integrada y de fácil acceso para visitantes que quieran explorar una ciudad y para usuarios no habituales, mejorando la percepción del servicio.

Helsinki fue una de las primeras ciudades del mundo en lanzar una plataforma *MaaS* integral. Su aplicación *Whim* integra todos los modos de transporte en un único lugar, incluyendo el transporte público, el sistema público de bicicletas y el taxi, entre otros. La aplicación goza de una gran aceptación entre sus usuarios, a la vez que sus directivos planifican su expansión a otras grandes ciudades europeas.

La aplicación *WienMobil* de Viena [4] posee un planificador de viajes menos potente que el presente en Helsinki; hay casos en los que hay que salir de la aplicación para poder completar etapas en ciertos modos de transporte. En Hanover funciona la plataforma *Mobilitätsshop*, que tiene un nivel de integración similar a la vienesa.

En España destacan alternativas como *Moovit*, *Meep* o *MUFMI*. La aplicación *Moovit* tiene una gran implantación en la mayoría de las capitales de provincia y áreas metropolitanas, aunque solo muestra información de esperas y posición de los vehículos en tiempo real y un planificador de viajes avanzado. La plataforma *Meep* goza de menos extensión en el territorio español, pero ofrece la posibilidad de pagar el billete de transporte en aquellos lugares donde se ha implantado. Por último, *MUFMI* se postula como un *MaaS* cuyo punto fuerte es ofrecer transporte a la demanda que se adapta en recorridos y horarios a las peticiones de los pasajeros.

7. CONCLUSIONES

El modelo tradicional de transporte y movilidad en las ciudades se enfrenta a importantes retos, como la congestión del tráfico o la contaminación. Los *MaaS* ofrecen una solución prometedora al proporcionar alternativas de movilidad multimodal sostenible, otorgando un gran potencial para revolucionar cómo y cuándo nos movemos. Por ello, el papel de la tecnología es fundamental para que los *MaaS* sean un éxito.

Sin embargo, la implantación de los *MaaS* en las ciudades no está exenta de dificultades: la coordinación entre los distintos actores (empresas de transporte y Administración), su implicación y una adecuada inserción tecnológica son indispensables para que un *MaaS* alcance a ser una suerte de alternativa al coche. En estos términos, debe velarse por una experiencia fiable y legible para cualquier usuario, algo que aún no se ha conseguido.

No obstante, la experiencia obtenida en los proyectos piloto es esperanzadora, siendo su expansión la siguiente fase de trabajo. Con todos estos ingredientes, más implicación y esfuerzo, el éxito se alcanzará librando espacio del vehículo privado.

En resumen, los *MaaS* representan un enfoque sostenible e innovador para la movilidad urbana. Su adopción requiere colaboración, innovación y un compromiso con el transporte sostenible, y los beneficios para las ciudades y sus residentes son claros: reducción de la congestión, mejora de la calidad del aire y entornos urbanos habitables.

REFERENCIAS

- [1] C. Buchanan, *Traffic in Towns: A Study of the Long-Term Problems of Traffic Urban Areas*. Penguin Books (1964) 42–46.
- [2] P. Jittrapirom, V. Caiati, A.M. Feneri, S. Ebrahimigharehbaghi, M.J. Alonso-González, J. Narayan, *Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges*. *Urban Planning 2* (2017) 13–25.
- [3] I. López-Carreiro, *MaaS Implementation Pathways. A multi-stakeholder approach*. Tesis doctoral, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.69071> (2021) 22–30.
- [4] D. Dubois et al., *MaaS in Europe: Lessons from the Helsinki, Vienna and Hanover experiments*. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2020/04/cerema_parangonnage_maas_syntesis_eng.pdf (2019).
- [5] H. Becker, M. Balac, F. Ciari, K.W. Axhausen. *Assessing the welfare impacts of Shared Mobility and Mobility as a Service (MaaS)*. *Transportation Research Part a-Policy and Practice 131* (2020), 228–243.
- [6] D.A. Hensher, *Future bus transport contracts under a mobility as a service (MaaS) regime in the digital age: Are they likely to change?* *Transportation Research Part a-Policy and Practice 98* (2017), 86–96.

CLIMA URBANO: ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ISLA DE CALOR URBANA, CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES

Alba Hidalgo León

Estudiante de 1º de Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha.
Avenida Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España.

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo poner de manifiesto uno de los problemas a los que nos enfrentamos como sociedad urbanizada, el problema de la isla de calor generada en las ciudades y los principales factores que influyen en la misma. El efecto isla de calor urbano es un fenómeno que hace referencia a la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y las zonas circundantes. Este aumento de la temperatura en las áreas urbanas se debe principalmente al diseño urbano y a las actividades humanas y tiene impactos importantes en el medio ambiente y en la salud de los seres humanos, haciendo que las ciudades sean menos confortables y saludables. Mitigar el efecto de la isla de calor requiere una combinación de estrategias de planificación y diseño urbano, apostando por un desarrollo urbano sostenible

PALABRAS CLAVE: Isla de calor urbana, clima urbano, desarrollo urbano sostenible.

ABSTRACT

This article aims to highlight one of the problems we face as an urbanized society, the problem of the heat island generated in cities and the main factors that influence it. The urban heat island effect is a phenomenon that refers to the temperature difference between urban and surrounding areas. This increase in temperature in urban areas is mainly due to urban design and human activities and has significant impacts on the environment and human health, making cities less comfortable and healthy. Mitigating the heat island effect requires a combination of planning and urban design strategies, focusing on sustainable urban development.

KEYWORDS: Urban heat island, urban climate, sustainable urban development.

1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades causan una transformación radical del paisaje natural, su impacto no solo cambia la morfología del terreno, sino que también modifica las condiciones climáticas y ambientales del entorno. Uno de los efectos más conocidos producidos por la urbanización es el aumento de temperatura, creando climas urbanos.

El clima urbano es una parte fundamental en el estudio de los climas locales. Una de las modificaciones de clima urbano es el fenómeno de la isla de calor, que se debe sobre todo al diseño de nuestras ciudades, a las propiedades térmicas de los materiales de construcción empleados en ellas y a las actividades que el ser humano desarrolla en este espacio. La acumulación de edificios, aceras o asfalto, entre otros, produce la aparición de un clima urbano que destaca por el aumento de temperaturas en comparación con las áreas suburbanas.

Se pueden distinguir dos tipos de isla de calor: la denominada isla de calor atmosférica, que se refiere a las diferencias en la temperatura del aire entre zonas urbanas y rurales; y la denominada isla de calor superficial, que se refiere a las diferencias térmicas entre las superficies artificiales y las naturales.

Las ciudades son muy vulnerables a las altas temperaturas debido a su menor vegetación, su gran cantidad de superficies impermeables y a la densidad de población, entre otros. Además, con el cambio climático y el crecimiento urbano, se prevé que este fenómeno empeore en las próximas décadas.

En los últimos 50 años, en España, el promedio de la temperatura urbana ha subido 1,6 °C, habiendo ciudades en las que el incremento ha sido mucho mayor. A continuación, se muestra una tabla con el aumento de temperaturas de algunas ciudades españolas en los últimos 50 años:

Incremento de temperatura en los últimos 50 años	
Ciudad Real	3,5 °C
Madrid	2,4 °C
Granada	2,3 °C
Zaragoza	2,1 °C
Córdoba	2 °C
Albacete	2 °C
Alicante	2 °C
Barcelona	1,9 °C
Murcia	1,8 °C
Vigo	0,77 °C
A coruña	0,76 °C

Tabla 1. Aumento de la temperatura en los últimos 50 años de algunas ciudades españolas. Fuente: Elaboración propia a través de los datos del Observatorio de Sostenibilidad.

A continuación, se muestra un gráfico en el que se puede ver la evolución de temperaturas máximas y mínimas anuales en Ciudad Real entre los años 2010 y 2022:

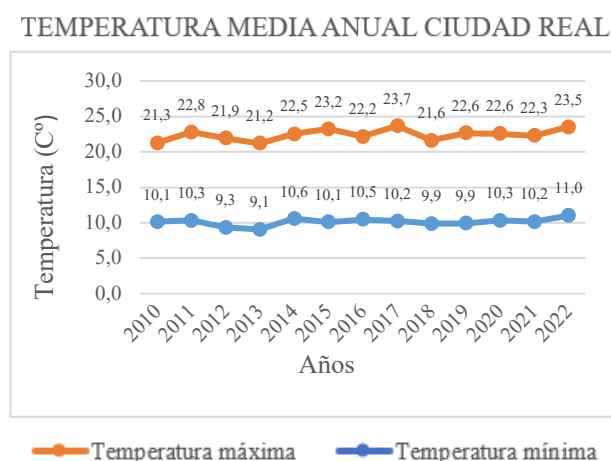


Figura 1. Temperatura media anual Ciudad Real entre los años 2010 y 2022. Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos meteorológica de datos-clima.es

El interés por estudiar el clima urbano está justificado, ya que las áreas urbanas constituyen unos sectores singulares dentro del clima del área donde se localizan. Estudiar el clima urbano logra que haya conocimiento para conseguir un ambiente más confortable y agradable para los habitantes de las ciudades además de analizar las repercusiones que pueden tener las ciudades en el clima.

Hoy en día, el problema del cambio climático, la preocupación por el planeta y la búsqueda de espacios más sostenibles y confortables en las ciudades hacen que la preocupación por el problema de la isla de calor tome fuerza, viendo el control de las condiciones microclimáticas urbanas como fundamental para la eficiencia energética, la reducción de emisiones y para asegurar espacios de vida habitables para los ciudadanos.

2. CAUSAS DE LA ISLA DE CALOR

Si bien el clima urbano depende de factores globales y regionales, los factores locales y de microescala, como pueden ser las características de la estructura urbana y materiales empleados, la contaminación atmosférica, la cantidad limitada de superficies húmedas, el calor producido en la combustión (en el transporte o los sistemas de calefacción), la topografía de la zona o el calor antropogénico pueden modificar el clima local a escala urbana.

Se exponen a continuación algunas de las causas que contribuyen a generar la isla de calor urbanas:

- Superficie urbana: la sustitución de los entornos naturales por entornos urbanos altera el clima a escala local. El fenómeno de la isla de calor urbano se debe a la recepción y absorción de radiación solar sobre la superficie urbana. Cuanto mayor es la superficie construida, más se alteran los parámetros climáticos que regulan el microclima local, ya que la superficie construida disminuye los aportes de humedad por evapotranspiración de las plantas, aumentando el impacto de la radiación solar sobre la superficie y generando un aumento de temperaturas.
- Geometría de las ciudades: la geometría de las ciudades también es un factor que contribuye a aumentar este fenómeno, acentuándose este problema en lugares específicos dentro del área urbana.
- Incremento de temperatura del suelo: es un factor clave en la generación de la isla de calor urbano. El área edificada y la superficie impermeable tienen un impacto significativo en el incremento de temperatura. La reducción de la vegetación no solo afecta al aumento de la temperatura en la superficie del suelo, sino que también produce una reducción de precipitación y evapotranspiración.
- Contaminación atmosférica: junto con el incremento de temperatura, la contaminación atmosférica es una característica muy importante en el clima urbano. La alteración de la atmósfera urbana ha alcanzado tal magnitud en algunos lugares que supone un gran problema. La presencia de una capa contaminada en la atmósfera urbana provoca que la radiación de onda larga emitida desde el suelo sea absorbida en parte por ella, siendo devuelta hacia el suelo, impidiendo que estas ondas salgan hacia niveles atmosféricos superiores. De esta manera, se produce en las áreas urbanas una mayor recepción de radiación de onda larga, hecho que contribuye a la isla de calor.
- Densidad de edificación y materiales de construcción: la densidad y el tamaño de los edificios en la ciudad, como también los materiales empleados en la construcción son factores urbanos que influyen en la isla de calor. No solo el tamaño de la ciudad influye en este fenómeno, sino también la compactación

urbana, que permite obtener diferencias térmicas importantes.

- Escasez de zonas verdes: en las ciudades la evapotranspiración es escasa, en consecuencia, el aire cercano a la superficie del suelo aumenta de temperatura, incrementando el efecto de la isla de calor.

3. EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR

La actividad urbana y la falta de estrategias a la hora de generar un cambio en el entorno contribuyen a aumentar el efecto de la isla de calor.

Como consecuencia, se reduce el confort en las ciudades y la población se ve expuesta a temperaturas extremas que producen efectos negativos en la salud, siendo la edad de la población un factor importante, con los ancianos y niños como grupos más vulnerables, también personas con enfermedades crónicas o personas que viven en áreas muy densificadas. Más del 4% de las muertes que se producen en las ciudades durante los meses de verano se deben a la isla de calor urbana.

Además, el impacto de este incremento de temperaturas sobre las condiciones de bienestar térmico en el interior de las viviendas puede duplicar la demanda de refrigeración de estas, aumentando el consumo de energía.

Este efecto también puede conducir a la degradación de los ecosistemas urbanos, con la reducción de la biodiversidad y el aumento de la contaminación del aire.

Estas diferencias de temperaturas se verán incrementadas por el cambio climático, ya que las olas de calor serán mayores, aumentando el efecto de la isla de calor. Desde este punto de vista, la isla de calor puede considerarse como una forma de contaminación térmica.

4. POSIBLES ACCIONES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE LA ISLA DE CALOR

Combatir la isla de calor pasa necesariamente por replantear el diseño urbano, apostando por un desarrollo urbano sostenible, incorporando los espacios naturales como la piel fundamental de la ciudad y transformar la movilidad.

Hay distintas estrategias de mitigación, clasificándose en estrategias naturales y artificiales. Las estrategias naturales son, por ejemplo, los techos verdes o la planificación, diseño y plantación de bosques urbanos. Como estrategias artificiales podemos encontrar paredes reflectantes o asfaltos fríos, entre otras, para reducir la temperatura superficial.

Aunque cada ciudad requeriría de un estudio científico para poder saber cuáles son las acciones que más podrían mitigar este efecto, algunas de las acciones que se pueden llevar a cabo son las siguientes:

- Reducción de las temperaturas superficiales mediante el empleo de materiales de construcción adecuados al entorno urbano, como pavimentos reflectantes, que reflejan la energía solar, manteniendo la temperatura más baja que con los pavimentos convencionales, reduciendo así la temperatura ambiente.
- Incremento de las zonas verdes en el entorno urbano: especialmente relevantes para el control de la isla de calor son las zonas verdes, que debido a su abundante vegetación y a que su superficie es permeable, suponen una reducción de la temperatura de la ciudad en la zona donde se ubican. Además de enfriar el aire, aumentan la humedad relativa del aire y la cantidad de oxígeno.
- Vegetación en medianeras y azoteas: plantar árboles debe combinarse con otras acciones como tejados verdes, jardines verticales u otras alternativas para reducir la temperatura.
- Planeamiento urbano que asuma la isla de calor como un problema importante y contemple medidas de mitigación.

5. CONCLUSIONES

El efecto isla de calor es un problema ambiental importante que requiere de una acción urgente, ya que tiene impactos significativos en la salud humana, el consumo de energía y en el medio ambiente y se prevé que este efecto se vea agravado en combinación con el incremento de temperaturas producido por el cambio climático.

La trascendencia social que tiene este fenómeno y su incidencia sobre el confort y la calidad de vida hacen que sea un tema de estudio importante para poder llevar a cabo la gestión ambiental de la ciudad.

Las ciudades son muy vulnerables al cambio climático y al incremento de temperaturas, pero a su vez son piezas clave para frenarlo y paliar sus efectos negativos.

Mitigar este efecto requiere de una combinación de estrategias de planificación y diseño urbano. Las ciudades deben trabajar para implementar estrategias de desarrollo urbano sostenibles para reducir el efecto de isla de calor urbano, promoviendo un entorno más saludable y habitable para sus residentes.

REFERENCIAS

- [1] MORENO, M.C. Bibliografía sobre Climatología urbana: la isla de calor I. Revista Geográfica, 1990, vol. 24, nº 1-2, p. 99-109. MORENO, M.C. Unas notas históricas acerca de la Climatología urbana. Notas de Geografía Física, 1991-1992, nº 20-21.
- [2] MORENO GARCÍA, María del Carmen; SERRA PARDO, Juan Antonio. El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. Biblio 3W. Revista Bibliográfica de

- Geografía y Ciencias Sociales.[En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 25 de noviembre de 2016, Vol.XXI, nº 1.179. <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1179.pdf>>. [ISSN 1138-9796].
- [3] Lungman T, Cirach M, Marando F., Pereira-Barboza E., Khomenko S., Masselot P., Quijal-Zamorano M., Mueller N., Gasparrini A., Urquiza J., Heri M., Thondoo M., Nieuwenhuijsen M. Cooling cities for health through urban green infrastructure: a health impact assessment for European cities. *The Lancet*, Published online January 31, 2023 2023.
- [4] Sánchez-Guevara Sánchez, C., Nuñez Peiró, M. y Neila González, F.J. (2017). Isla de calor urbana y población vulnerable. El caso de Madrid.. En *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions*. (545-556), Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- [5] ARELLANO, B. y ROCA, J. Áreas verdes e Isla de Calor Urbana. En: Libro de proceedings, CTV 2018. XII Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual. “Ciudades y Territorios Inteligentes”. Mendoza, 5-7 septiembre 2018. Barcelona: CPSV, 2018, p. 417-432.
- [6] Irina Tumini. Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid.

ÁRIDOS REUTILIZADOS: UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA REDUCIR LA HUELLA AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN

Juan Francisco Ramos Morillo

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha
Avenida Camilo José Cela, s/n. 13071 Ciudad Real. España
Correo-e: JuanFco.Ramos@alu.uclm.es

RESUMEN

El artículo discute el uso de áridos reciclados como una alternativa sostenible en la construcción para reducir el impacto ambiental de los materiales de construcción tradicionales. Se analizan las propiedades físicas de los agregados reciclados y se concluye que pueden ser una opción viable y respetuosa con el medio ambiente para la construcción. Se necesitan más investigaciones y mejoras tecnológicas para maximizar su uso en la industria del hormigón mientras se minimiza su impacto ambiental.

PALABRAS CLAVE: Áridos reciclados, construcción sostenible, Impacto ambiental.

ABSTRACT

The article discusses the use of recycled aggregates as a sustainable alternative in construction to reduce the environmental impact of traditional construction materials. The physical properties of recycled aggregates are analyzed, and it is concluded that they can be a viable and environmentally friendly option for construction. More research and technological improvements are needed to maximize their use in the concrete industry while minimizing their environmental impact.

KEYWORDS: Recycled aggregates, Sustainable construction, Environmental impact.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el impacto ambiental de la construcción es cada vez más evidente. La extracción y producción de materiales de construcción como áridos, cemento, ladrillos y otros materiales, generan una gran cantidad de emisiones de CO₂ y un gran impacto ambiental debido a la enorme cantidad de energía y recursos naturales necesarios para su producción. Además, la eliminación inadecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD) también tiene un impacto ambiental significativo.

En este contexto ha surgido la economía circular, un modelo de producción y consumo orientado a reducir la generación de residuos y minimizar el impacto ambiental. La economía circular propone un cambio de paradigma, en el que se reduce la extracción de recursos naturales y se maximiza la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales y productos existentes.

En este sentido, la reutilización de áridos de construcción demolidos o desperdicios de obra se presenta como una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental de la construcción civil. La reutilización de áridos es una práctica que se está utilizando cada vez más en la construcción en la que se aprovechan los materiales que se generan como desechos de obras anteriores y se les da un nuevo uso en obras posteriores.

El objetivo de este artículo es analizar la viabilidad y las ventajas de la reutilización de áridos en la construcción

como una solución sostenible para minimizar la huella ambiental generada por las obras civiles.

Además, se pretende mostrar cómo esta práctica puede ayudar a reducir la extracción de recursos naturales, disminuir la cantidad de residuos que se envían a vertederos y reducir las emisiones de CO₂ generadas por la producción de nuevos materiales de construcción.

2. PROPIEDADES FÍSICAS

El presente informe tiene como objetivo analizar las propiedades físicas de los áridos reciclados, tanto los gruesos como los finos [1,4].

Entre las propiedades físicas a evaluar se encuentran la granulometría, absorción, densidad relativa y peso volumétrico compactado. Se compararán estos resultados con los obtenidos en las pruebas realizadas con áridos naturales. La información recopilada será de gran utilidad para determinar la calidad de los áridos reciclados y su posible aplicación en la construcción sostenible.

2.1. Granulometría

La evaluación de la granulometría de los áridos se realiza mediante la medición del material que pasa a través de los tamices establecidos en la norma ASTM C 33 para cada tipo de material. En la Figura 1 se presentan los áridos gruesos analizados, tanto los reciclados como la grava natural, con un tamaño de $\frac{3}{4}$ " a #4 (19.0 a 4.75 mm) o una grava número 67 según la norma. Asimismo,

en la Figura 2 se muestran los distintos tipos de arena evaluados, incluyendo arena reciclada y natural [1,4].

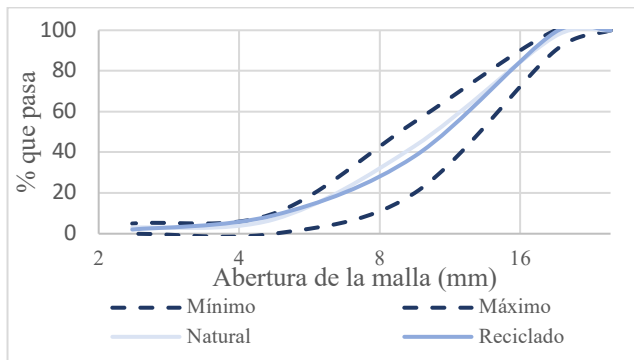


Figura 1. Granulometría de árido grueso

Tanto el árido grueso natural como el reciclado son materiales que se obtienen a partir de la caliza.

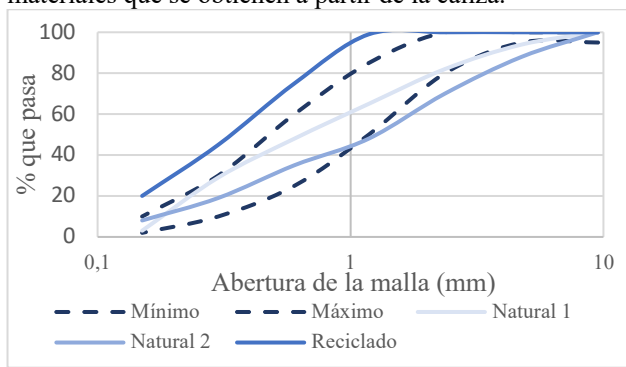


Figura 2. Granulometría de árido fino

Como se puede observar en la Figura 2, el árido fino reciclado es un material muy fino con un módulo de finura de 1.77. En cambio, el árido fino natural 2 es un poco más grueso y no cumple con todas las especificaciones de la norma, ya que su módulo de finura es de 3.36. La combinación de estos dos materiales podría ser una buena opción, ya que permitiría mejorar la curva granulométrica.

El árido fino natural 1 cumple con las especificaciones de la norma y tiene un módulo de finura de 3.15, lo que indica que es un material grueso [1,4].

2.2. Absorción

La absorción es un término que se utiliza para describir la cantidad de agua que un material poroso puede absorber en relación a su peso o volumen. Es importante conocer la absorción de cada material, ya que esto puede afectar su uso en diferentes aplicaciones, incluyendo la producción de hormigón y otros productos de construcción.

A continuación, se presentan los datos de la absorción de cada uno de los materiales mencionados anteriormente, incluyendo un árido fino reciclado con carbonatación. Los datos se encuentran en la Tabla 1 a continuación [1,4]:

Tabla 1. Absorción de los materiales porosos

Tipo de árido	Nombre	Absorción (%)
Arido grueso	Natural	0,42
Arido grueso	Reciclado	2,62
Arido fino	Natural 1	6,03
Arido fino	Natural 2	2,1
Arido fino	Reciclado	8,82
Arido fino	Reciclado C	7,25

Los resultados de absorción obtenidos en la prueba de laboratorio son típicos y esperados. Como es comúnmente conocido, los materiales reciclados tienden a tener una mayor absorción que los materiales naturales. En particular, se observó que la arena natural 1 presentó una alta absorción debido a que se trata de una caliza, la cual siempre presenta una alta absorción.

Por otro lado, se encontró que el árido fino reciclado tratado con carbonatación presentó una absorción reducida en comparación con el árido fino reciclado sin tratamiento. Este resultado puede deberse a la eliminación parcial de los poros en la superficie del material durante el proceso de carbonatación, lo que disminuye su capacidad de absorción.

2.3. Densidad relativa

La densidad relativa de los áridos gruesos y finos se define como la relación entre la masa y el volumen de un árido, comparado con la misma relación de agua a una temperatura y presión estándar. Esta medida es fundamental para la caracterización de los áridos, ya que su densidad relativa puede afectar la resistencia y durabilidad del hormigón o mortero en el que se utilizan.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en dos investigaciones. Estas investigaciones examinaron el comportamiento mecánico del hormigón y mortero fabricado con áridos reciclados y evaluaron la viabilidad de su uso en construcciones sostenibles [1,4].

Tabla 2. Densidad Relativa de los materiales

Tipo de árido	Nombre	Densidad
Arido grueso	Natural	2,71
Arido grueso	Reciclado	2,36
Arido fino	Natural 1	2,31
Arido fino	Natural 2	2,64
Arido fino	Reciclado	2,20
Arido fino	Reciclado C	2,40

Los valores obtenidos de densidad relativa en los estudios mencionados son considerados aceptables y reflejan la realidad de los áridos. Se ha encontrado que los áridos gruesos tienen una densidad relativa que varía entre 2.5 y 2.9, mientras que los áridos finos tienen una densidad relativa que oscila entre 2.6 y 2.8. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los materiales de origen caliza o reciclado pueden presentar densidades relativas menores[1,4]

Se encontró que el árido reciclado tratado con carbonatación, mejoró su densidad relativa. Esto podría tener un impacto positivo en los resultados finales de la resistencia del hormigón [1,4].

2.4. Dosificación de las mezclas

En el estudio de dosificaciones de mezclas presentado, se han dividido en dos tipos: mortero y hormigón. En los morteros se han considerado diferentes proporciones, desde el 100% de árido natural hasta el 50% de árido reciclado carbonatado y sin carbonatar. Por otro lado, en el hormigón se han utilizado diferentes cantidades de cemento para probar la resistencia tanto del árido grueso natural como del reciclado.

Para identificar las diferentes mezclas, se ha establecido una codificación que consta de la siguiente manera: se indica el porcentaje del árido fino, seguido del porcentaje del árido grueso y las dos primeras letras del nombre del material. El número que sigue identifica la mezcla en caso de ser necesario, y al final se agrega una H o una M para identificar si se trata de una mezcla de mortero o de hormigón. Por ejemplo, la codificación M.FN1.100 indica un mortero con árido fino natural 1 y un porcentaje del 100%.

Tabla 3. Dosificación de las mezclas

Codigo	a/c	Cemento (kg/m³)
M.FN2.100	0,65	-
M.FN2.75.FR.25	0,65	-
M.FN2.50.FR.50	0,65	-
M.FN2.75.FRC.25	0,65	-
M.FN2.50.FRC.50	0,65	-
H.FN1.GN	1,01	200
H.FN1.GN	0,72	300
H.FN1.GN	0,56	400
H.FN1.GR	1,3	200
H.FN1.GR	0,85	300
H.FN1.GR	0,68	400

En el estudio de dosificaciones de mezclas, se han establecido ciertas especificaciones para la elaboración de morteros y hormigones. En el caso de los morteros, se ha mantenido una relación agua-cemento constante, aunque no se ha especificado la cantidad de cemento añadida ni la cantidad de agua utilizada. Sin embargo, se ha indicado que el diseño de los morteros es de 17.5 MPa [4].

En cuanto al hormigón, se ha establecido un revenimiento de 10 cm con un límite de tolerancia de ± 2 cm. Entre las diferentes mezclas de hormigón evaluadas, se ha identificado que la única que no ha cumplido con esta especificación es aquella que contiene árido grueso reciclado con árido fino natural 1, presentando un revenimiento de 6.93 cm [1].

2.5. Resistencia a la compresión

El hormigón convencional está compuesto por áridos gruesos, matriz de mortero con áridos finos y la zona interfacial entre ellos, que es muy delgada, pero ocupa una amplia porción relativa dentro de la mezcla de cemento, estimada entre el 20 % y el 60 % del volumen total de la matriz de cemento.

El hormigón reciclado, en cambio, presenta una estructura más compleja porque tiene dos zonas interfaciales: una, entre el árido reciclado y la nueva mezcla de cemento (nueva zona interfacial) y otra, entre el árido reciclado y el viejo mortero adherido a su superficie (vieja zona interfacial).

La cantidad y calidad del mortero adherido a la superficie de los áridos reciclados influyen en el comportamiento mecánico del hormigón reciclado. En general, a mayor porcentaje de áridos reciclados, mayores variaciones en las propiedades del nuevo hormigón debido al aumento de la probabilidad de unión de zonas débiles. Por esta razón, las opciones con árido 100% reciclado no se utilizan debido a la pérdida de resistencia. Se presenta una tabla 4 que muestra los resultados de resistencia obtenidos en el laboratorio [3].

Tabla 4. Resistencia a la compresión

Codigo	Resistencia (Mpa) 28d
M.FN2.100	20,00
M.FN2.75.FR.25	14,00
M.FN2.50.FR.50	17,50
M.FN2.75.FRC.25	21,00
M.FN2.50.FRC.50	25,00
H.FN1.GN	18,46
H.FN1.GN	30,86
H.FN1.GN	37,81
H.FN1.GR	18,19
H.FN1.GR	29,49
H.FN1.GR	35,33

3. OPTIMIZACIÓN DEL HORMIGÓN RECI-CLADO

El uso de áridos reciclados en la fabricación de hormigón es una práctica cada vez más común por su impacto en el medio ambiente. Sin embargo, su uso puede generar una disminución en la resistencia del hormigón resultante debido a la presencia de mortero viejo en los áridos reciclados.

Para mejorar los resultados obtenidos se pueden utilizar dos técnicas: la carbonatación, para reducir la absorción y porosidad de los áridos reciclados y la utilización de superplastificantes para disminuir la relación agua-cemento, lo que aumenta la resistencia del hormigón. De esta forma, se puede hacer más viable el uso de áridos reciclados en la fabricación de hormigón [4].

4. SOSTENIBILIDAD

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) para la extracción de áridos naturales y el reciclaje de áridos son similares ambas, siendo de 0.008 kg CO₂/kg. Sin embargo, el proceso de fabricación de cemento es mucho más contaminante, con emisiones de 0.892 kg CO₂/kg. Por lo tanto, al utilizar áridos reciclados en la fabricación de hormigón, no puede reducir el impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ [2].

La utilización de áridos reciclados puede tener beneficios económicos y medioambientales, ya que suele ser más barato que extraer nuevos materiales y ayuda a preservar los recursos naturales. Además, como el 50% de los desechos en los vertederos son residuos de construcción y demolición, el uso de áridos reciclados permite reutilizar gran parte de este material, lo que lo convierte en una opción más sostenible.

5. CONCLUSION

Después de haber analizado los datos y las informaciones recopiladas en esta investigación, podemos concluir que la utilización de áridos reciclados puede ser una opción viable para la industria del hormigón y la construcción en general. El uso de áridos reciclados presenta ventajas económicas y medioambientales, ya que su costo suele ser menor que el de los áridos naturales, y al utilizarlos se reduce la necesidad de extraer más materiales de la tierra, lo que ayuda a preservar los recursos naturales.

Es importante destacar que la reutilización de los áridos reciclados también es un paso importante hacia una economía circular en la construcción, donde se busca minimizar los residuos generados y maximizar el uso de los recursos disponibles. Al reutilizar gran parte de los residuos de construcción y demolición, que constituyen el 50% de los residuos que se encuentran en los vertederos, se evita que estos materiales se conviertan en basura y se desperdicien.

Sin embargo, como se pudo observar en los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón, el uso de áridos reciclados puede presentar algunas limitaciones. Específicamente, se observó que la resistencia a la compresión del hormigón producido con áridos reciclados es menor que la del hormigón producido con áridos naturales. Lo anterior podría limitar su uso en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la compresión [1,4].

Además, en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono, se observó que las emisiones generadas durante el proceso de extracción de áridos naturales y el reciclaje de áridos son similares, ambas siendo de 0.008 kg CO₂/kg. Esto indica que, aunque el uso de áridos reciclados puede ayudar a reducir la necesidad de extraer nuevos materiales de la tierra, no puede reducir significativamente el impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ [2].

En general, podemos concluir que la utilización de áridos reciclados puede ser un paso importante hacia una industria más sostenible y circular, pero es importante considerar sus limitaciones en términos de resistencia y emisiones de CO₂.

Se necesitarán más investigaciones y mejoras tecnológicas para poder maximizar su uso y minimizar su impacto ambiental en la industria del hormigón y la construcción.

REFERENCIAS

- [1] Espino-González, C.U., Martínez-Molina, W., Alonso-Guzmán, E.M., Chávez-García, H.L., Arreola-Sánchez, M., Sánchez-Calvillo, A., Navarrete-Seras, M.A., Borrego-Pérez, J.A., Mendoza-Sánchez, J.F., 2021. Asphalt Mixes Processed with Recycled Concrete Aggregate (RCA) as Partial Replacement of the Natural Aggregate. *Materials* 14, 19.
- [2] Abomuslim, S., Russell, A.D., 2005. Innovative design and construction technologies for building internal partitions for super hi-rise buildings on an international basis. *Tall Buildings: From Engineering to Sustainability*, 594-603.
- [3] N. S. P. Alvarez, D. J. L. Castano, M. A. R. Perez, Inclusion of sustainable concretes in compliance with Resolution 0472 of 2017 and the decrease in emissions from the Colombian building sector: Analysis of Materials. *Logos Ciencia & Tecnología* 14, 76-85 (2022).
- [4] Munoz, A., Torres, N., Guzman, A., 2019. Assessment of a mortar with recycled aggregate from a concrete improved by carbonation: A look to a sustainable construction. *Revista Ingeniería de Construcción* 34, 25-32.

MOVILIDAD URBANA VERTICAL COMO SOLUCIÓN A LA ACCESIBILIDAD DE LOS CASCOS HISTÓRICOS PARA LAS PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA

Ana María García Fernández

Estudiante de Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha.
Edificio Politécnico, Avenida Camilo José Cela, s/n. 13071. Ciudad Real. España
Correo-e: anamaria.garcia27@alu.uclm.es

RESUMEN

Los cascos históricos de las ciudades españolas, debido a su estructura urbana de calles estrechas y laberínticas, sus pavimentos tortuosos, sus desniveles y la falta de una correcta señalización de rutas alternativas, representan las mayores dificultades de las personas con discapacidad física para disfrutar del Patrimonio Histórico.

A lo largo de este artículo se analizarán los problemas que presentan los cascos históricos en función de su mala accesibilidad, y se abordará la implementación de instalaciones de movilidad urbana vertical en las ciudades como una posible solución, ya que estos barrios no siempre son accesibles para personas con discapacidad o movilidad reducida. Por último, se comentarán algunos ejemplos de ciudades españolas donde se ha tratado de adaptar sus centros históricos para garantizar el acceso inclusivo a todos.

PALABRAS CLAVE: Accesibilidad, Casco histórico, Movilidad reducida, Infraestructura de movilidad urbana vertical.

ABSTRACT

The historic centres of Spanish cities, due to their urban structure of narrow and labyrinthine streets, their tortuous pavements, their unevenness, and the lack of proper signposting of alternative routes, represent the greatest difficulties for people with physical disabilities to enjoy the historical heritage.

This article will analyse the problems presented by historic city centres in terms of their poor accessibility and will address the implementation of vertical urban mobility facilities in cities as a possible solution, as these neighbourhoods are not always accessible to people with disabilities or reduced mobility. Finally, some examples of Spanish cities where efforts have been made to adapt their historic centres to ensure inclusive access for all will be discussed.

KEYWORDS: Accessibility, Historic Old Town, Reduced mobility, Vertical urban mobility infrastructure.

1. INTRODUCCIÓN

En muchas ocasiones, las ciudades se han ido construyendo a partir de su centro histórico, por lo que no se ha llegado a tener en cuenta las necesidades de accesibilidad que las personas con movilidad reducida pueden llegar a tener para acceder a estos barrios.

El objetivo de preservar los centros de las ciudades como elementos singulares cargados de historia, debe hacerse compatible con su recuperación y revitalización, dentro de una estrategia de “conservación activa”, es decir, alcanzar nuevos equilibrios que, siendo respetuosos con los valores arquitectónicos, urbanísticos y culturales del pasado, den respuesta a las necesidades del presente. [1]

En España, según los datos del *Instituto Nacional de Estadística* (INE) actualizados en 2022, se estima que alrededor del 9,2% de la población presenta algún tipo de discapacidad, lo que se traduce en aproximadamente 4,4 millones de personas con discapacidad en el país.

Tabla 2. Número de personas con discapacidad según su género en España. Fuente: Elaboración propia a partir de [2]

Año	Hombres	Mujeres
1999	1.473.000	2.055.000
2008	1.548.000	2.300.000
2022	1.813.000	2.571.000

Hoy en día, es fundamental que se tengan en cuenta ciertas medidas para adaptar estos espacios históricos a las

necesidades de todos los ciudadanos, con el fin de promover un turismo más sostenible e inclusivo. Por ello, en el presente artículo se abordará un aspecto fundamental de la movilidad urbana: la movilidad vertical.

2. PROBLEMAS DE LOS CASCOS HISTÓRICOS

En la actualidad, los casos históricos presentan problemas donde se incluyen la estrechez de las calles, el estacionamiento en las aceras, el ruido, la contaminación, la señalización deficiente y un trazado irregular con una estructura cerrada y sinuosa de las calles. [3]

Además, los cascos históricos presentan desniveles topográficos que representan un obstáculo para los itinerarios peatonales y ciclistas, lo que afecta a toda la población, pero especialmente a las personas mayores y con discapacidad motriz, quienes experimentan mayores dificultades. Estos desniveles en barrios y diversas zonas de las ciudades actúa como una barrera física y psicológica que afecta negativamente a la calidad de los espacios urbanos y condiciona el uso que los ciudadanos hacen de ellos. A su vez, son un factor determinante en la elección del medio de transporte que utilizan para sus desplazamientos. [4]

Por lo tanto, los centros históricos presentan características negativas que, si no se abordan y estudian adecuadamente, pueden hacer que estos lugares se deterioren, sean abandonados y poco atractivos para diversos sectores de la población.

3. MOVILIDAD URBANA VERTICAL

La movilidad ha sido una de las grandes cuestiones en lo relativo a la ciudad, y actualmente continúa siendo un tema de especial atención. A medida que las ciudades crecen en altura y densidad, se hace cada vez más necesario explorar soluciones eficientes y sostenibles para el desplazamiento vertical de las personas. Una solución ampliamente utilizada para abordar este problema es la implementación de infraestructuras de movilidad urbana vertical (IMUV).

Ascensores, escaleras y rampas mecánicas, funiculares y teleféricos conforman un sistema de transporte automatizado que garantiza la accesibilidad de peatones de avanzada edad y personas en sillas de ruedas. Así, se facilita el acceso a destinos clave en un tiempo razonable, sin incidir en el impacto ambiental asociado al uso de vehículos privados motorizados.

Estos sistemas mecánicos de movilidad vertical atienden principalmente a criterios de accesibilidad, ya que las pendientes penalizan a ciertos grupos sociales, pero se han convertido en un elemento más de una red peatonal y ciclista, contribuyendo a que estas soluciones sean im-

plementadas en la mayoría de la ciudad. Además, se contrarresta el "efecto barrera" provocado por los cambios bruscos de nivel en el entorno urbano.

En este análisis, explicaremos cómo distintas ciudades han afrontado desafíos similares en términos de movilidad y accesibilidad en sus cascos históricos. Aunque comparten estas problemáticas comunes, cada ciudad ha desarrollado sus propias estrategias para abordar estos desafíos y promover una movilidad más efectiva en sus centros urbanos.

3.1. Cuenca

Cuenca es declarada en 1996 Patrimonio de la Humanidad, condición que, hoy en día, debe representar una ciudad adaptada y accesible para todas las personas. Además, cabe destacar que, durante mucho tiempo, se ha debatido sobre cómo mejorar el acceso al centro histórico de la ciudad, por lo que se han presentado numerosas propuestas al respecto.

La propuesta realizada por la asociación "Cuenca [in]accesible por naturaleza", (...), fue iniciada mediante un pormenorizado análisis de todas y cada una de las propuestas previas, el Plan Especial, la realidad física y socioeconómica del entorno, así como con el asesoramiento de técnicos especialistas en materia de accesibilidad urbana, de forma que se estableciesen las bases para una acertada toma de decisiones. [5]

Finalmente, según el artículo [6], en Cuenca se va a llevar a cabo un proyecto que incluye seis tramos de escaleras y seis ascensores, permitiendo así salvar un desnivel de 57 metros, mejorando significativamente la conexión entre el aparcamiento del Teatro Auditorio y el jardín Cecilio Albendea.



Figura 3. Desnivel del recorrido desde el jardín Cecilio Albendea al Teatro Auditorio de Cuenca. Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto representa un paso significativo en la mejora de la accesibilidad y la movilidad en la ciudad.

3.2. Toledo

El centro histórico dispone de tres vías de acceso y salida, dos situadas a ambos extremos del casco respectivamente

y una entrada principal que vertebra directamente con la ciudad moderna. Posee también unas escaleras mecánicas desde el Paseo de Recaredo que dan acceso al centro (...). [7]

Toledo ha llevado a cabo una serie de intervenciones en los últimos años para mejorar la accesibilidad y la movilidad en el centro histórico de la ciudad con la instalación de ascensores y rampas en diferentes zonas de la ciudad.



Figura 4. Escaleras mecánicas en Toledo. Fuente: Elaboración propia.

Un factor muy importante que ayudó a reducir la presencia del tráfico rodado en las calles del centro urbano fue la instalación de las escaleras mecánicas, que se colocó como una acertada infraestructura de accesibilidad y mejora de la movilidad urbana. [7]

3.3. San Sebastián

Gran parte de la población de la ciudad de San Sebastián vive en barrios altos, por lo que es fundamental proporcionar soluciones alternativas para superar los desniveles, especialmente en los desplazamientos ascendentes. Esto se vuelve crucial para fomentar que la mayoría de la población elija modos de movilidad activa.

Estas soluciones pueden incluir la implementación de infraestructuras de movilidad vertical, como escaleras mecánicas, ascensores o funiculares, que faciliten el acceso a las zonas más altas de la ciudad. Al ofrecer opciones accesibles y eficientes para superar las pendientes, se promueve un entorno propicio para el uso de medios de transporte no motorizados, como caminar o ir en bicicleta, mejorando así la calidad de vida de los residentes y fomentando un estilo de vida saludable y sostenible. [8]

Actualmente, la ciudad cuenta con 36 elementos de movilidad vertical, que incluyen rampas, escaleras mecánicas y ascensores. Estos elementos no solo mejoran la accesibilidad y la movilidad de los residentes, sino que también contribuyen a la inclusión social y al fomento de modos de transporte más sostenibles.



Figura 5. Ascensor inclinado del barrio de Amara Nuevo. Fuente: Ayuntamiento de San Sebastián.

3.4. Pamplona

La Figura 6 representa como los diferentes barrios de la ciudad de Pamplona presentan características topográficas distintas en relación con las pendientes elevadas. Algunos barrios, como Iturrama o San Juan, presentan pendientes elevadas en sus perímetros, mientras que en otros barrios como Milagrosa-Arrosadía o Azpilagaña, las pendientes también se encuentran en una parte significativa del interior de los mismos. Por lo tanto, la ubicación de las IMUV responde a la necesidad de superar estos desniveles, lo cual se refleja en una alta concentración de dichas infraestructuras en estos dos barrios. [9]

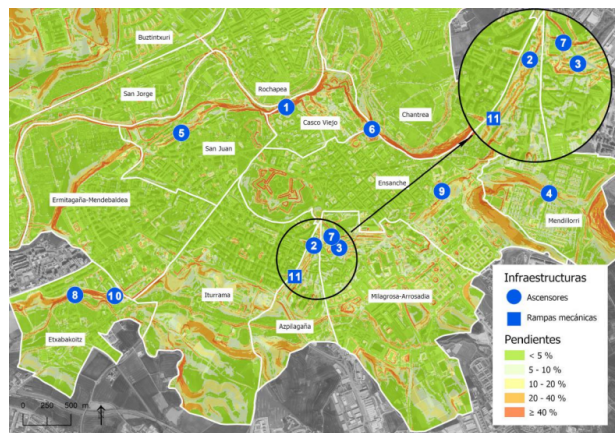


Figura 6. Características topográficas y localización de ascensores y rampas mecánicas. Fuente: [9].

Esta información es relevante para comprender la distribución de las IMUV en la ciudad y cómo estas se adaptan a las características topográficas de cada barrio.

4. CONCLUSIONES

La accesibilidad a los cascos históricos es esencial para garantizar que todas las personas puedan disfrutar de estos lugares de gran importancia cultural y patrimonial, además de las personas que viven en estas zonas urbanas.

La instalación de IMUV ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar la accesibilidad y la movilidad en

los cascos históricos. Estas infraestructuras, que incluyen escaleras mecánicas, rampas y ascensores, facilitan el desplazamiento de personas con movilidad reducida, discapacidad y personas de avanzada edad.

La disponibilidad de estas infraestructuras tiene un impacto positivo en la calidad de vida de los residentes y visitantes de una ciudad, ya que al reducir las barreras físicas y facilitar los desplazamientos, se promueve la participación social y la integración de diferentes grupos de personas en la vida urbana. Además, la instalación de IMUV fomenta la movilidad sostenible ya que, al facilitar el acceso a zonas con desniveles, se incentiva el uso de modos de transporte activos como caminar o ir en bicicleta, lo que reduce la dependencia de los vehículos privados y contribuye a la protección del medio ambiente y la mejora de la calidad del aire en las ciudades.

Sin embargo, es esencial considerar aspectos de diseño y planificación al implementar estas infraestructuras. Una planificación efectiva garantiza que estas infraestructuras maximicen sus beneficios y minimicen cualquier impacto negativo que puedan llegar a tener.

En conclusión, la accesibilidad en los cascos históricos es un tema muy importante y urgente que necesita una atención especial para poder seguir trabajando en su mejora, y es fundamental para garantizar que todas las personas puedan acceder a estos lugares históricos y disfrutar de ellos sin ningún tipo de barreras.

REFERENCIAS

- [1] Puebla, J. G. (1998). Transporte, movilidad y turismo en los centros históricos. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, (47), 241-248.
- [2] Población con discapacidad en España, en gráficos. Datos actualizados el 19 de abril de 2022. Fecha de consulta: 31/05/2023. <https://www.epdata.es/datos/poblacion-discapacidad-espana-graficos/631>
- [3] Camallonga, J. S. (2013). Centros históricos: Análisis y perspectivas desde la Geografía. *Geographos: Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 4(37), 115-137.
- [4] Eraso, M. C. T. (2015). Desarrollo, caracterización y análisis de las infraestructuras de movilidad urbana vertical en España. *Desarrollo, caracterización y análisis de las infraestructuras de movilidad urbana vertical en España*.
- [5] Asociación “Cuenca [in]accesible por naturaleza”. [IN]FINITAMENTE [IN]ACCESIBLE. Los Ojos del Júcar. Fecha de consulta: 31/05/2023. <https://losojosdeljucar.com/patrimonio/infinitamente-inaccesible/> (2022)
- [6] “Comienza la cuenta atrás para que Cuenca tenga sus remontes mecánicos, que contarán con seis escaleras y seis ascensores”. Viernes, 31 de marzo de 2023. Fecha de consulta: 31/05/2023. <https://www.lacerca.com/noticias/cuenca/cuenta-cuenca-remontes-mecanicos-contaran-seis-escaleras-ascensores-659452-1.html>
- [7] González Vargas, P. J. (2011). Accesibilidad y Movilidad en el Casco Histórico de Toledo: La movilidad de los estudiantes universitarios del casco antiguo y su impacto en el territorio.
- [8] Baro, I. (2021). Donostia/San Sebastián: la movilidad activa como vector de transformación urbana.
- [9] Montoro-Gurich, C., & Moreno-Tapia, C. (2021). El impacto de las infraestructuras de movilidad vertical en la calidad de vida de las personas mayores: Pamplona como estudio de caso.

RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA REALIDAD AUMENTADA EN LA INGENIERÍA CIVIL

Fernando García Fernández

Estudiante de 1º de Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Castilla-La Mancha.
Avenida Camilo José Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España.

RESUMEN

En este artículo se realiza un breve análisis de la aplicación de la realidad aumentada en el sector de la ingeniería y construcción. La realidad aumentada consiste en la visualización de elementos del mundo real complementados con información modelada digitalmente integrada en el entorno. En el ámbito de la ingeniería civil, la realidad aumentada (RA) se emplea en diversas tareas relacionadas con el diseño, planificación, coordinación, inspección y supervisión de proyectos y obras. Además, la realidad aumentada se integra con el modelo BIM (Building Information Modeling) para superar las limitaciones de este en el trabajo de campo a partir de la implementación de distintas tecnologías.

PALABRAS CLAVE: Realidad Aumentada (RA), BIM, Construcción, Ingeniería.

ABSTRACT

This article provides a brief analysis of the application of augmented reality in the engineering and construction sector. Augmented reality consists of the visualization of real-world elements complemented with digitally modelled information integrated into the environment. In the field of civil engineering, augmented reality (AR) is used in various tasks related to the design, planning, coordination, inspection, and supervision of projects and works. In addition, augmented reality is integrated with BIM (Building Information Modelling) to overcome the limitations of BIM in field work through the implementation of different technologies.

KEYWORDS: Augmented Reality (AR), BIM, Building Information Modeling, Construction, Engineering.

1. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada consiste en la visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real cuyos elementos se ven aumentados o complementados por información sensorial generada por ordenador, como sonido, vídeo, gráficos o datos GPS.

Por lo general este aumento de información se produce en tiempo real y en contexto con los elementos del entorno. Gracias a la ayuda de esta tecnología la información sobre el mundo real que rodea al usuario se vuelve interactiva y manipulable digitalmente.

1.1. Realidad aumentada en el sector de la ingeniería y construcción

La aplicación de técnicas de visualización como la RA para la planificación, el análisis y el diseño de proyectos de ingeniería y construcción es relativamente nueva, en comparación con la cantidad de investigación relacionada con la realidad aumentada en diversos campos. La aplicación de la realidad aumentada actualmente tiene aplicaciones en diversas tareas relacionadas con la ingeniería y construcción como el del diseño, excavación, posicionamiento, inspección, coordinación, supervisión, comentario y estrategia.

A lo largo de los años el campo de la ingeniería y la construcción se ha vuelto cada vez más complejo con la llegada de nuevas tecnologías y materiales. Los diseños y procesos constructivos ya no se limitan a estrategias convencionales, es por esto por lo que la realidad aumentada presenta una oportunidad de desarrollo en este sector en el futuro [1].

1.2. BIM y Realidad Aumentada.

El modelo BIM proporciona una visión precisa, accesible y práctica de un proyecto durante su ciclo de vida. Sin embargo, la contribución del modelo BIM al trabajo de campo es limitada, la mayor parte BIM existente se modela en dispositivos que no están acompañados de componentes sensoriales, lo que da lugar a una interacción nula con la situación física. Es así como la introducción de otra tecnología, la realidad aumentada, en el sistema BIM existente puede ayudar a superar esta barrera entre el modelo BIM y la situación física.

La RA genera un entorno en el que el objeto virtual o la información procedente de ordenadores se superpone a una escena del mundo real [2]. La arquitectura habitual que presentan las soluciones de RA basadas en BIM se compone de 3 o 4 capas descritas en la tabla 1, la información fue recogida en [8].

Tabla 3. Descripción de la habitual estructura de soluciones RA basadas en BIM.

Capas	Descripción
Modelo BIM	Creación de la geometría del modelo Enriquecimiento del modelo con información
Mejora del entorno visual	Optimización de modelos y mejora visual
Entorno RA	Proporciona un escenario inmersivo desde el dispositivo
Base de datos	Proporciona información no geométrica del modelo BIM al entorno RA.

1.3. Tecnologías empleadas para la integración de BIM con RA.

Las tecnologías existentes que permiten la interacción de la RA con el BIM proporcionan un entorno interactivo a partir de ordenadores, dispositivos móviles, equipos estacionarios de exploración del entorno, dispositivos HMD o gafas. La tecnología empleada depende de la carga de trabajo, la amplitud de movimiento deseada, la exactitud y precisión requeridos, y la probabilidad de oclusión del rastreador [3].

Unas de las herramientas más populares para obtener datos tridimensionales 3D y modelos digitales es la fotogrametría. A partir de fotografías o videos, capturados por cámara o video cámaras digitales y almacenados en soportes de almacenamiento, son procesados mediante software fotogramétrico para determinar relaciones espaciales u obtener mediciones de objetos. Esta tecnología proporciona información de posicionamiento simultánea en tiempo real sin necesidad de puntos de referencia como marcadores visuales para determinar la posición del usuario en el espacio [4].

Otra herramienta de recogida de datos automática en campo son los escáneres láser, esta herramienta proporciona una nube de puntos 3D que son posteriormente procesados. Aunque es una herramienta muy precisa, esta tecnología requiere tiempo y su adquisición es costosa. El principal inconveniente que presenta es el postprocesamiento que hay que realizar una vez adquiridos los datos escaneados [3,5].

El Sistema de Información Geográfica utiliza la posición y orientación del usuario mediante hardware u software. El seguimiento del avance de la obra por imágenes a partir de GPS depende de factores externos, como las condiciones climáticas y las barreras físicas [6,3]. Los principales inconvenientes que presenta los sistemas de navegación por satélite (GNSS) son la necesidad de líneas de visión despejadas y la precisión proporcionada no es suficiente en algunas ocasiones [3].

Otra herramienta son los marcadores de referencia los cuales se pueden implementar fácilmente en obras de construcción [3]. Los marcadores de referencia se emplean en entornos con características visuales deficientes

pues ofrecen un patrón altamente distinguible y reduce el tiempo de detección del dispositivo [7].

La figura 1 muestra las tecnologías aplicadas en las investigaciones realizadas entre 2008 y 2018. Los sistemas de información geográfica representan el mayor porcentaje de uso, con un 46% de las aplicaciones, seguido de los marcadores de referencia con un 40%, fotogrametría presenta un 10% y los escáneres laser un 4% [3].

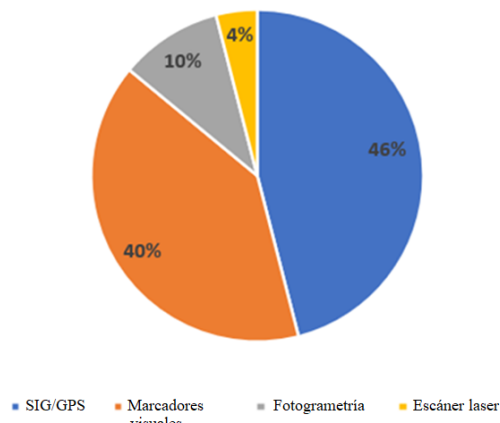


Figura 7. Tecnología RA aplicadas en investigación (2008- 2018).

2. CASO PRACTICO DE APLICACIÓN.

En este apartado se muestra un caso de estudio para la aplicación de realidad virtual en trabajos de sustitución y mantenimiento tuberías de calefacción urbana, este estudio fue realizado por la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Bolzano y su aplicación tuvo lugar en el centro histórico de la ciudad italiana. En este caso se puede ver la aplicación de distintas tecnologías que permiten la interacción de la RA con el BIM.

El principal problema que presenta los trabajos de sustitución y mantenimiento tuberías de calefacción urbana es el gran número de tuberías localizadas y los problemas logísticos inherentes a la interrupción de la movilidad de peatones y vehículos. En este caso tras la excavación inicial y la colocación de las nuevas tuberías, se llevó a cabo un escaneo láser del emplazamiento. Posteriormente, se elaboró un modelo BIM de las nuevas tuberías y se proyectó utilizando HoloLens, georreferenciado y a escala 1:1. A continuación se explica de forma resumida el enfoque en el que se puede utilizar la RA en este tipo de trabajos [9].

Puede presentar distintas aplicaciones en las diferentes secuencias de tareas de este tipo de obras. En la fase de excavación el modelo del oleoducto puede suponerse constante en el campo de visión mediante gafas de RA de tal forma que el trabajo de marcado no fuera necesario. El conductor de la excavadora o los empleados de la empresa de excavación pueden realizar su trabajo de excavación con gafas de realidad virtual que les indique cuando se acercan a las tuberías, reduciendo los posibles daños a la tubería y acelerando el trabajo. Después del trabajo de tendido, antes de cerrar la excavación, se digitaliza las líneas tendidas. Se toman fotos y vídeos de la

obra. Estos se convierten en una nube de puntos utilizando la aplicación Photogram. A continuación, esta nube de puntos se transforma en un modelo BIM paramétrico. Este modelo se carga en las gafas de realidad virtual o en otro dispositivo por adelantado o in situ por Internet. Por último, se marcan en el terreno las marcas y líneas. Con esto se completa la fase de localización y el proceso puede realizarse de nuevo [9].

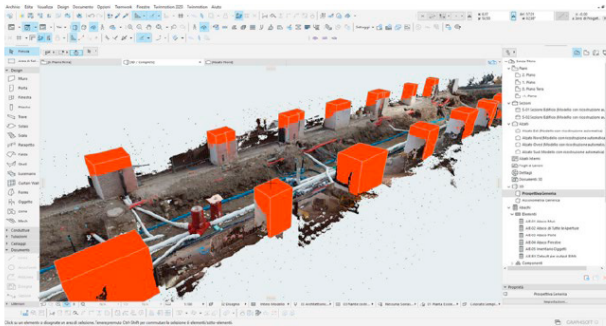


Figura 2. BIM del caso de estudio. Fuente: [9]

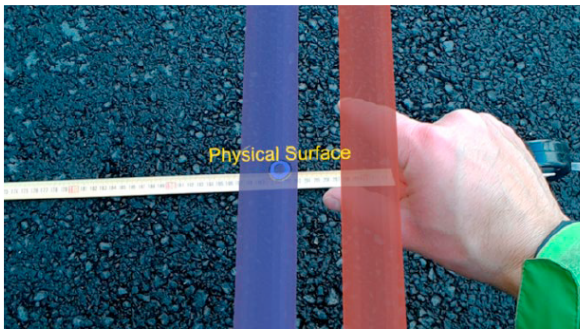


Figura 3. Visualización de tuberías. Fuente: [9]

En este estudio, tras el proceso de localización, las tuberías de calefacción urbana instaladas se podían visualizar en realidad aumentada utilizando las HoloLens de Microsoft. Se cargó un modelo BIM en el casco HoloLens gracias a la aplicación BIM Holoview. Para escalar el modelo correctamente se empleó distintos puntos de referencia medibles tanto en el modelo digital como en el emplazamiento físico. Para ello se fijaron in situ dos marcadores de respuesta rápida QR con lo que se podía determinar la posición exacta y localizar el modelo de forma realista. La interacción entre el modelo/holograma y el usuario se realizaba mediante comandos de voz y gestos [9].

En este estudio se marcó el posicionamiento de las tuberías de dos formas distintas. Por un lado, se marcó mediante un localizador eléctrico, el cual es un método convencional empleado para la localización de tuberías con fines de mantenimiento. Por otro lado, se marcó el posicionamiento basándose en el holograma del tubo desde la HoloLens. Después de esto se comprobó el tiempo tardado en el marcaje con ambos métodos y la precisión de cada uno. Los resultados demostraron que la identificación más precisa era mediante el uso de la tecnología RA

y además este registró un ahorro de tiempo del 62% respecto al método convencional.

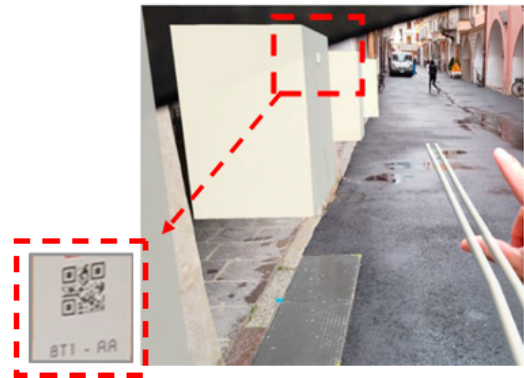


Figura 4. Operación de georreferenciación por marcador (qcode). Fuente: [9]

3. VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE LA REALIDAD AUMENTADA.

Analizando el caso de estudio anterior se puede identificar una serie de ventajas aplicables a todo tipo de proyectos. Se identifican los siguientes beneficios.

Reducción de errores: Al proporcionar un diseño virtual sobre el terreno, resulta más fácil controlar los distintos procesos y así lograr un mejor resultado.

Mejor marketing: Permite poder explicar el proyecto a personas sin formación técnica pudiendo proporcionar al cliente una representación virtual más detallada en comparación a otros métodos más habituales.

Supervisión del proyecto: El director del proyecto puede revisar los planos a escala real, identificando así pequeños errores o problemas.

Reducción del tiempo de trabajo: El hecho de reducir errores que se producen durante la ejecución de obras tales como errores de cálculo, mala lectura de planos... supone una reducción de trabajo ahorrando así el tiempo necesario para su corrección.

Reducción de costes: La reducción de posibles problemas durante la fase de ejecución del proyecto supone un ahorro en costes de material y manos de obra significativamente.

4. RETOS Y DIFICULTADES DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA.

A pesar de las ventajas de la RA su aplicación no esta exenta de dificultades. En general los problemas derivados del uso de RA en los proyectos podrían dividirse en 2 grupos.

Por un lado, se pueden identificar problemas en relación con cuestiones no tecnológicas. Dada su novedad es necesario impartir cierta formación para preparar al personal de utilizarla en entorno de proyecto reales. Además, según algunas investigaciones [10], se ha demostrado que puede distraer al personal, y también puede resultar confusa debido a la gran cantidad de información que presenta.

El segundo grupo está relacionado con la inmadurez de esta tecnología. Problemas como la falta de transición automática del modelo BIM a la RA, la visión restringida de los usuarios y las diferencias entre el nivel de desarrollo en el modelo BIM y la RA son propias de este grupo. Además, puede verse afectada por factores ambientales, como la luz solar.

5. EXPECTATIVAS FUTURAS

Numerosos factores son los que desafían actualmente a las aplicaciones de la RA en la fase de construcción de distintos proyectos. Como se señaló anteriormente, uno de estos factores es la inmadurez de esta tecnología y el lento ritmo de desarrollo de la RA en la fase de construcción. Por otro lado, la falta de familiarización de las personas y estas nuevas tecnologías es otro factor que dificulta el uso de la RA. Es por esto que los objetivos futuros en la investigación asociada a esta tecnología en la fase de construcción se centrarán en dos categorías: objetivos relacionados directamente con la tecnología y objetivos orientados al ser humano.

5.1. Objetivos relacionados a la tecnología.

Los objetivos para mejorar las condiciones de investigación relacionadas con la Realidad Aumentada y el camino de evolución de esta tecnología podrían ser las siguientes:

- Evaluación y desarrollo de la RA para visualizar el modelo con mayor nivel de desarrollo para una mejor representación en detalle del modelo y reducir errores asociados a su detección.
- Mejorar el uso de sistemas basados en la Nube para lograr un enfoque en tiempo real a la hora de transferir, procesar y aplicar cambios entre el modelo BIM y el modelo visualizado en el entorno RA.
- Mejorar los sistemas basados en RA para adaptar esta tecnología a proyectos con diferentes condiciones ambientales, ejecutivas y de supervisión.

•

5.2. Objetivos relacionados al factor humano.

Las cuestiones relacionadas con el factor humano y su relación con la RA requieren un análisis más exacto y su evolución es difícil de predecir. Sin embargo, algunos objetivos que se pueden tratar a futuro son:

- Formar suficientemente al usuario antes de utilizar esta tecnología para sacar el máximo provecho de la RA. Una forma de lograrlo es que la propia RA proporcione esta formación.
- Aumentar el uso de la RA en el ámbito académico para lograr una mayor familiaridad con esta tecnología.
- Informar a las partes interesadas sobre las características y capacidades de la RA para aumentar así su aceptación en la sociedad. Esta aceptación pública puede aumentar el uso de la RA en futuros proyectos.

6. CONCLUSIONES

La realidad aumentada presenta importantes ventajas si se aplica de forma práctica en la realidad. La RA puede ayudar a mejorar y hacer más eficiente los diseños, la detección de errores y la detección de los sucesivos cambios del proyecto, ayudando al ingeniero a controlar y supervisar fácilmente las distintas tareas. Actualmente la aplicación de este concepto en este campo se enfrenta a importantes retos, pero la continua investigación y análisis realizados ayudan al desarrollo de nuevas tecnologías dando lugar a herramientas cada vez más eficaces.

REFERENCIAS

- [1] Siddhant Agarwal. "Review on Application of Augmented Reality in Civil Engineering". International Conference on Inter Disciplinary Research in Engineering and Technology (2016): 68-71.
- [2] Chai, C., Mustafa, K., Kuppasamy, S., Yusof, A., Lim, C. S., & Wai, S. H. (2019). BIM integration in augmented reality model. *Civil Engineering*, 10(7).
- [3] Machado, R. L., & Vilela, C. (2020). Conceptual framework for integrating BIM and augmented reality in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(1), 83-94.
- [4] Dai, F. (2010). Applied photogrammetry for 3D modeling, quantity surveying, and augmented reality in construction.
- [5] Kwiatek, C., Sharif, M., Li, S., Haas, C., & Walbridge, S. (2019). Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction. *Automation in Construction*, 108, 102935.
- [6] Wang, J., Wang, X., Shou, W., & Xu., B. (2014a). Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation. *Construction Innovation*, 14(4), 453-476.
- [7] Kalaitzakis, M., Cain, B., Carroll, S., Ambrosi, A., Whitehead, C., & Vitzilaios, N. (2021). Fiducial markers for pose estimation: Overview, applications and experimental comparison of the artag, apriltag, aruco and stag markers. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 101, 1-26.
- [8] Sidani, A., Dinis, F. M., Sanhudo, L., Duarte, J., Santos Baptista, J., Pocas Martins, J., & Soeiro, A. (2021). Recent tools and techniques of BIM-based virtual reality: A systematic review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(2), 449-462.
- [9] Revolti, A., Dallasega, P., Schulze, F., & Walder, A. (2023). Augmented Reality to support the maintenance of urban-line infrastructures: A case study. *Procedia Computer Science*, 217, 746-755.
- [10] Kolaei, A. Z., Hedayati, E., Khanzadi, M., & Amiri, G. G. (2022). Challenges and opportunities of augmented reality during the construction phase. *Automation in Construction*, 143, 104586.

SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE ORIENTADOS AL APARCAMIENTO EN LA CIUDAD

María Luisa Peces Bravo

Innovación e Investigación en Ingeniería Civil. Universidad de Castilla La Mancha.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Av. Camilo José Cela, 13005 Ciudad Real.
Correo-e: mluisa.peces@alu.uclm.es

RESUMEN

El presente trabajo es una recopilación de información sobre los distintos tipos de sistemas inteligentes de transporte orientados al aparcamiento en la ciudad. Define varios tipos de sistemas como son los sistemas de información y orientación para aparcamiento, y los sistemas de reserva de aparcamientos, además de explicar el funcionamiento de estos. El trabajo contiene un ejemplo real en el municipio de Madrid sobre el uso de los sistemas inteligentes de transporte y la conclusión respecto a los sistemas inteligentes de transporte en el aparcamiento y su situación actual.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de aparcamiento inteligente, plaza de aparcamiento.

ABSTRACT

This paper is a compilation of information on different types of intelligent transport systems for parking in the city. It defines several types of systems such as parking information and guidance systems and parking reservation systems and explains how they work.

The paper contains a real example in the municipality of Madrid on the use of intelligent transport systems and the conclusion regarding intelligent transport systems in parking and their current situation.

KEYWORDS: Intelligent parking systems, parking space.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el transporte se ha convertido en una cuestión cada vez más relevante en términos económicos, medioambientales y políticos.

Con el aumento de la población en las áreas urbanas y el crecimiento del parque de vehículos, la movilidad urbana se ha vuelto más densa y se han presentado diversos problemas de transporte.

La necesidad urgente de descongestionar el tráfico es una preocupación compartida tanto por los gobiernos como por los ciudadanos.

A continuación, se muestra la evolución de parque de turismos del municipio de Madrid, Tabla 1, datos obtenidos del portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid.

	TURISMOS					
	Sin distintivo ambiental	Etiqueta B	Etiqueta C	Eco	0 emisiones	TOTAL
2020	59.832	13.159	14.960	5.339	1.813	95.103
2021	55.596	13.745	17.156	7.093	2.825	96.415
2022	55.582	15.012	20.029	9.006	4.183	103.812

Tabla 1. Crecimiento del número de turismos en el municipio de Madrid junto con su distintivo medioambiental. Fuente: Elaboración propia.

La búsqueda de estacionamiento se ha identificado como una de las principales causas de congestión, lo cual está respaldado por numerosos estudios.

En las grandes zonas urbanas, los vehículos que buscan aparcamiento contribuyen hasta en un 30% al tráfico urbano. Se estima que un vehículo pierde entre 8 y 20 minutos diariamente buscando aparcamiento. [1]

En Inglaterra, según la Encuesta Nacional de Viajes británica, los habitantes de zonas residenciales conducen al

año una media de 361 horas, lo que supone un resto de 8404 horas al año en las que el vehículo debe estar aparcado. [2]

Esta situación no solo significa una pérdida de tiempo, dinero y esfuerzo para los conductores que buscan estacionamiento, sino que también se traduce en una pérdida adicional de tiempo, dinero, esfuerzo para otros conductores debido a la congestión del tráfico.

En las zonas céntricas de las ciudades y sus alrededores buscan disminuir el tiempo que los conductores invierten buscando un lugar para aparcar y disuadirlos de entrar a una zona donde no hay espacios disponibles. Esto contribuirá a reducir el tráfico en el centro de la ciudad.

2. SISTEMAS DE APARCAMIENTO INTELIGENTE

Según un informe del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana de España, en 2020, el 69% de los conductores españoles consideraron importante la existencia de un sistema de información en tiempo real sobre la disponibilidad de plazas de aparcamiento en las ciudades.

Los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) son aplicaciones avanzadas aplicadas al transporte y a las infraestructuras para intercambiar información con el fin de mejorar la productividad, la seguridad y el rendimiento medioambiental.

Los ITS varían en cuanto a las tecnologías aplicadas, desde sistemas básicos de gestión; sistemas de navegación, sistemas de control del tráfico, radares de velocidad, señales de mensaje variable; hasta aplicaciones más avanzadas que fusionan información en directo y retroalimentación de otras fuentes, como los sistemas de información y guiado de aparcamientos (PGI) y los sistemas de reserva de aparcamientos (PRS). [1]

2.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ORIENTACIÓN PARA APARCAMIENTOS

Los Sistemas de Información y Orientación para Aparcamientos (PGI) son una de las soluciones más comunes dentro de los ITS que se utilizan en la gestión del tráfico urbano. Son tecnologías que ayudan a los conductores a los conductores a encontrar plazas de aparcamiento de forma más eficiente y a maximizar la capacidad de estacionamiento en áreas con alta densidad de vehículos.

Estos PGI se basan en cuatro componentes principales: mecanismo de supervisión del aparcamiento, difusión de información sobre las plazas de aparcamiento, red de telecomunicaciones y un centro de control.

Los PGI convencionales suelen usar barreras y máquinas de códigos de barras para contar los vehículos que entran y salen de la zona de aparcamiento, pero ni el conductor ni el gestor del aparcamiento conocen el estado de ocupación de cada plaza. Por otro lado, algunos PGI utilizan

sensores o cámaras situadas en las inmediaciones de la zona de aparcamiento para detectar y vigilar vehículos. Los sensores para la vigilancia de las plazas de aparcamiento pueden clasificarse en ‘On-Roadway’ o ‘Off-Roadway’.

On-Roadway: Los sensores se conectan a la superficie de la calzada o se incrustan en ella.

- **Tubo neumático:** Se trata de un tubo elástico vaciado que se extiende sobre el segmento de la calzada en el que se efectúan los controles de los vehículos. Un extremo del tubo está asociado a un sensor de presión y el otro extremo del tubo está obstruido para impedir la fuga de aire cuando cruza un vehículo. En ese momento, el vehículo comprime el tubo y aumenta la tensión del aire en su interior. La presión aplicada cierra un interruptor eléctrico que activa un transmisor que envía los datos a un PC. La función del PC es el procesamiento de las variedades de peso a medida que cuentan los vehículos.
- **Detector de bucle:** Se trata de un bucle inductivo de alambre en forma circular o rectangular a través del cual se transmite corriente eléctrica y se genera un campo electromagnético con una inductancia cuantificable. Cuando un automóvil sobrepasa el bucle, el campo se interrumpe y la inductancia se reduce. Este proceso es detectado por una unidad de control que envía una señal a un módulo informático de procesamiento, ya sea por cable o inalámbrico, que a su vez registra las variaciones de inductancia como el recuento de vehículos.
- **Sensor magnético:** Consiste en una bobina sensora dentro de pequeños cilindros que funciona de forma similar a los bucles inductivos. En presencia de un coche, la densidad de flujo del sensor aumenta debido a la existencia de materiales ferrosos del coche. En otras palabras, los sensores magnéticos o magnetómetros detectan la anomalía magnética en el campo magnético terrestre que resulta de la presencia de un coche. Existen dos tipos de magnetómetros, el magnetómetro de un eje (SAM) y el magnetómetro de doble eje (DAM). El primero es de menor tamaño, por lo que puede instalarse en el suelo con una interrupción mínima del tráfico. Sin embargo, el DAM tiene una precisión de detección mucho mayor que el SAM, ya que utiliza tanto el eje horizontal como el vertical para detectar la presencia de un coche. Esto elimina la posibilidad de contar un vehículo dos veces.
- **Sensor acústico:** Se basa en la energía sonora producida por la interacción entre la calzada y los neumáticos del vehículo. Un ordenador de procesamiento analiza la variación en los niveles de ruido reconocidos por los micrófonos y luego se creará una señal para avisar sobre la presencia del coche.

- **Sensor piezoeléctrico:** Aprovecha la vibración de la sustancia o la tensión mecánica para generar energía a partir de la energía cinética. El sensor depende totalmente de cómo se corte el material piezoeléctrico y del propio material. El material puede ser cerámica o cristales.
- **RFID:** Se compone de un transceptor, un transpondedor y una antena. El transceptor o lo que es lo mismo, el lector RFID, interroga al transpondedor/etiqueta RFID para leer su ID único a través de la antena del lector RFID. Para detectar el estado de ocupación de una plaza de aparcamiento, se colocan antenas lectoras RFID en la zona de aparcamiento y la etiqueta RFID en el interior del vehículo. Una vez que el lector RFID lee la etiqueta del vehículo, el estado de la plaza de aparcamiento cambia a ocupado.

Off-Roadway: Los sensores se colocan encima de la calzada.

- **Sensor ultrasónico:** Transmite una onda sonora en el rango de frecuencias de 25-50 kHz y detecta la onda reflejada de un objeto, un vehículo en nuestro caso. Por su sencillez y buena precisión de medición, se ha utilizado en muchos sistemas de aparcamiento de coches para identificar la ocupación de las plazas.
- **Sensor de infrarrojos:** Puede ser activo o pasivo. El sensor de infrarrojos activo funciona emitiendo un haz estrecho de ondas IR a una frecuencia de impulsos definida hacia la superficie de la calzada. El coche se detecta cuando algunas de esas ondas se reflejan en el sensor y se procesan para reconocer los cambios en las características del haz de infrarrojos. El sensor IR pasivo, por su parte, no emite energía, sino que detecta la cantidad de energía emitida durante la presencia de un coche.
- **CCTV:** Se trata de una tecnología de detección basada en imágenes que utiliza imágenes de CCTV y aplica técnicas de procesamiento de imágenes al flujo de imágenes para identificar el estado de ocupación de la plaza de aparcamiento. En un sistema típico, el flujo de imágenes digitales de una cámara se recibe en un ordenador. A continuación, las imágenes se digitalizan y se transfieren mediante una secuencia de algoritmos informáticos que reconocen los cambios en el fondo de la imagen pixel a pixel. El uso de CCTV podría ser una buena opción para aparcamientos al aire libre; porque pocas cámaras pueden cubrir todo un aparcamiento. [1]

2.2. SISTEMAS DE RESERVA DE APARCAMIENTOS

Aunque los PGI proporcionan a los conductores información sobre las plazas de aparcamiento libres y también pueden orientarles sobre la ruta, esto sigue sin resolver los problemas de aparcamiento. Esto se debe al fenómeno

de "varios coches persiguiendo la misma plaza", de hecho, esto ocurre en el tráfico muy denso, y las consecuencias no se limitan a un aumento de la congestión del tráfico, el gasto de combustible, los daños medioambientales y la frustración de los conductores.

El desarrollo de Sistemas de Reserva de Aparcamiento (PRS) es un nuevo concepto en el área de los ITS.

Los PRS utilizan tecnología para reservar un espacio de estacionamiento antes de la llegada, asegurando que se mantenga el espacio deseado para el vehículo y brindando al sistema la capacidad de indicar a los otros conductores aquellos lugares que ya estaban reservados y no están disponibles.

Los PRS requieren la instalación de centros de datos o servidores, donde se procesan todas las operaciones de reserva y consulta de plazas disponibles y se establece un sistema de comunicación entre los usuarios y estos servidores. Los usuarios pueden reservar un espacio de estacionamiento y recibir una respuesta de PRS a través de varios medios de comunicación, como teléfonos móviles o una página web.

Además, estos sistemas pueden proporcionar monitoreo en tiempo real de la disponibilidad actual de estacionamiento y pronósticos de demanda basados en datos históricos.

Los tipos de reservas pueden ser diferentes en cada sistema. Existe la reserva normal (mencionada anteriormente) y otras que, por ejemplo, combinan reservas en tiempo real donde un conductor puede reservar un lugar mientras conduce (por ejemplo, con unos minutos de anticipación), o reserva en cualquier momento del futuro (por ejemplo, varios días antes). Otra alternativa son las reservas automáticas, donde el usuario no tiene que hacer la reserva, sino que se le asigna un lugar de estacionamiento en función de la ubicación del destino final y la disponibilidad de estacionamientos.

Este tipo de PRS puede ser implementado con diferentes grados de dificultad, dependiendo del tipo de zona de estacionamiento donde se esté aplicando (por ejemplo, estacionamiento privado cubierto, estacionamiento público en la calle, etc.). Consideramos que, en estacionamientos privados cubiertos, las reservas pueden ser implementadas más fácilmente porque existe la capacidad de garantizar la disponibilidad del espacio reservado solicitando verificación del vehículo o del conductor que hizo la reserva. En contraste, en el estacionamiento público en la calle, acciones como la verificación del usuario (conductor o vehículo) para asegurar la reserva son más difíciles de llevar a cabo y más costosas de implementar.[3]

3. EJEMPLO EN ESPAÑA

La ciudad de Madrid ha incorporado una app móvil, que ofrece el número de plazas libres en los aparcamientos de Madrid en tiempo real. La app ofrece información muy completa sobre los aparcamientos de rotación adheridos al sistema, tales como su ubicación, plazas disponibles,

tarifas y formas de pago, servicios adicionales del parking, altura máxima y si dispone de punto de recarga para vehículos eléctricos, entre otros datos.

De manera sencilla y mediante geoposicionamiento, la aplicación proporciona la ubicación del aparcamiento público más cercano, la ruta para llegar hasta allí y la situación de los accesos, tanto para vehículos como para peatones.

A continuación, vemos la distribución de parkings públicos, Figura 1, de la ciudad de Madrid. Los datos se obtienen del inventario de aparcamientos municipales de la web del ayuntamiento de Madrid.

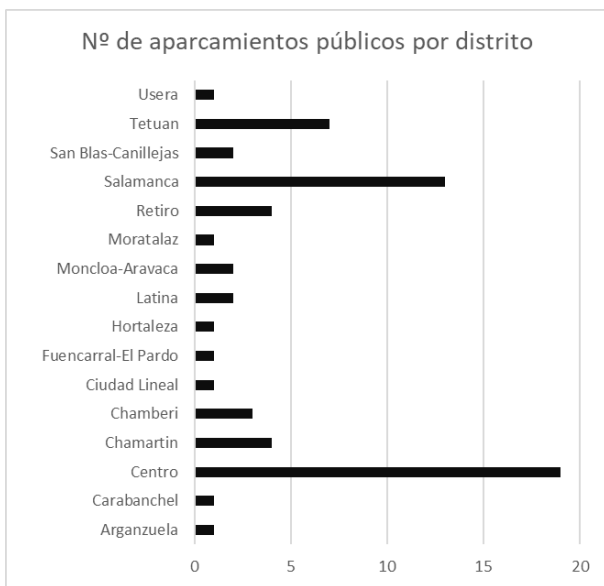


Figura 1. Distribución de cantidad de Parking públicos en la ciudad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La incorporación de Sistemas de aparcamiento inteligentes puede proporcionar varios beneficios tales como el ahorro de tiempo, ayudan a los conductores a encontrar un lugar de estacionamiento más rápidamente y por tanto reduce el estrés.

Aumenta la seguridad, hay una reducción en el tiempo que pasan los conductores circulando por la ciudad mientras buscan aparcamiento, se reduce la posibilidad de accidente de tráfico, así como la congestión de tráfico.

Pero a pesar del gran número de sistemas de PGI actualmente en funcionamiento, los niveles de utilización de los sistemas por parte de los conductores son mucho más bajos de lo esperado. La mayor parte de los estudios sobre los sistemas de PGI se han centrado en el conocimiento y el uso de estos sistemas por parte de los conductores, pero no han logrado incluir el uso de estos en su vida cotidiana.

REFERENCIAS

- [1] Amir O. Kotb, Yao-chun Shen, and Yi Huang. Smart parking guidance, monitoring and reservations. (2017).
- [2] Julie Sullivan, Kathryn Kershaw – John Cummings. National Travel Survey: England (2015)
- [3] Mathias Gabriel Diaz Ogás, Ramón Fabregat and Silvana Aciar. Survey of Smart Parking Systems (2020)

Innovación

en Ingeniería de Caminos, C. y P.

Revista de los alumnos de Máster, ETSI Caminos, C. y P. — UCLM

Volumen 2, 2023