

Uso combinado de BIM y GIS para la regeneración urbana: estudio de aplicación en el barrio de San Mamés (León, España).

Miguel Fernández-Maroto, Marta Alonso Rodríguez, Víctor Antonio Lafuente Sánchez, Daniel López Bragado, Enrique Rodrigo González

Universidad de Valladolid
 miguel.fernandez.maroto@uva.es, marta.alonso.rodriguez@uva.es, victorantonio.lafuente@uva.es, daniel.lopez.bragado@uva.es, enrique.rodrigo@uva.es

Palabras clave: Regeneración urbana / BIM / GIS / León (España)

RESUMEN:

La regeneración urbana se ha consolidado en los últimos años como una de las prioridades estratégicas tanto en la Unión Europea como en España, incidiéndose cada vez más en la rehabilitación energética del parque edificatorio como uno de sus componentes fundamentales, dada su contribución a la lucha contra el Cambio Climático. A este respecto, la Directiva (UE) 2018/844 ha establecido objetivos de descarbonización plasmados en España en la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación, actualizada por última vez en 2020.

Las Administraciones Públicas desempeñan un papel determinante en el impulso de las actuaciones de regeneración urbana, pero la siempre limitada disponibilidad de recursos, y su empleo eficaz y efectivo, exigen disponer de mecanismos avanzados de planificación y toma de decisiones. Por un lado, se requiere abordar escalas que trasciendan la acción individual, edificio a edificio. Por otro lado, es imprescindible poder valorar con antelación el grado de contribución de dichas actuaciones a los objetivos de sostenibilidad energética, así como su potencial impacto socioeconómico.

Esta cuestión de la sostenibilidad energética vinculada a la regeneración urbana, y más específicamente a escalas urbanas intermedias, está siendo explorada en investigaciones recientes tanto a nivel internacional como en España. En este contexto, el Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid realizó en 2018 la conceptualización de una herramienta denominada Neighbourhood Information Model-Modelo de Información Urbana de escala de Barrio (NIM-MIUB), concebida como un desarrollo de la Estrategia de Regeneración Urbana en Castilla y León dirigido a evaluar los resultados previsibles de actuaciones de regeneración urbana.

Por un lado, la herramienta asumió la escala de barrio como dimensión urbana idónea para orientar y evaluar las actuaciones de regeneración, permitiendo valorar de una forma más amplia sus efectos. Por otro lado, exploró las posibilidades de convergencia de dos recursos técnicos digitales: el Geographic Information System (GIS), muy usado en urbanismo desde hace ya tiempo, y el Building Information Modeling (BIM), cuyo uso se está extendiendo rápidamente en el ámbito de la edificación.

Esta comunicación presenta resultados preliminares de un proyecto de I+D, financiado por la Universidad de Valladolid y en desarrollo por un equipo de su Departamento de Urbanismo y Representación de la Arquitectura, orientado al desarrollo aplicado de la citada herramienta NIM-MIUB para la evaluación de actuaciones de regeneración urbana.

En el marco de este proyecto, se ha desarrollado un procedimiento metodológico para la elaboración de sendos proyectos GIS y BIM que permite, en primer lugar, detectar aquellos ámbitos urbanos que presentan mayores necesidades de regeneración urbana, estimadas a partir de una serie de indicadores de base estadística. Una vez realizado este diagnóstico a escala urbana, el procedimiento permite seleccionar un ámbito en el que evaluar posibles actuaciones de regeneración urbana, centrándose el análisis en la valoración del ahorro energético y el impacto socioeconómico.

La aplicación del procedimiento en un estudio piloto en la ciudad de León (España) y, seguidamente, en un ámbito de su barrio de San Mamés ha permitido constatar su utilidad para detectar ámbitos idóneos de intervención y para, una vez escogido uno, realizar una evaluación simplificada de potenciales actuaciones que permite concluir cuál o cuáles podrían ser las más ventajosas desde el punto de vista

del ahorro energético y el impacto socioeconómico.

Esta comunicación se enmarca en los trabajos del proyecto de investigación “Desarrollo aplicado de la herramienta NIM-MIUB para la evaluación de actuaciones de regeneración urbana a través de un estudio piloto en los barrios Entrevías (León)”, financiado por la Universidad de Valladolid (Ayudas para la realización de proyectos de investigación UVA 2021, código PROYEMER-2021-51). La asistencia del primer autor al congreso ha sido financiada por la Universidad de Valladolid, dentro del programa MOVILIDAD INVESTIGADORES E INVESTIGADORAS UVA-BANCO SANTANDER 2022.

1 INTRODUCCIÓN

Desde hace ya varios años, la Unión Europea (UE) está impulsando la regeneración urbana como un componente clave en el marco de sus objetivos generales de consecución de un desarrollo urbano sostenible. La Carta de Leipzig (2007) recomendó la adopción de un enfoque integrado a la hora de abordar el desarrollo urbano, así como la atención prioritaria a los barrios menos favorecidos, y ambos conceptos quedaron consolidados en la “regeneración urbana integrada” patrocinada en la Declaración de Toledo (2010). Más adelante, la Agenda Urbana para la UE contenida en el Pacto de Ámsterdam (2016) amplió el foco de la política urbana europea y estableció una serie de diversos temas prioritarios, y todo ello ha convergido más recientemente en el “desarrollo urbano integrado” defendido en la Nueva Carta de Leipzig (2020), en la que, en todo caso, se incluye de nuevo la priorización de la “renovación y regeneración urbana integral de las áreas urbanas”.

En el caso de España, estos planteamientos se han ido consolidando en el contexto de la reconversión del sector inmobiliario y de la construcción tras el estallido de la burbuja inmobiliaria. Primero, en la legislación estatal, a través de la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas, refundida en 2015 con la Ley 8/2007, de 28 de mayo, de suelo; seguidamente, en las diversas legislaciones urbanísticas autonómicas; y más recientemente, en la Agenda Urbana Española (2019), que, apostando igualmente por una visión holística de la política urbana, incluye específicamente el impulso de la regeneración urbana dentro de su segundo objetivo estratégico.

En toda esta reciente trayectoria, tanto a escala europea como española, hay que destacar que ha ido ganando protagonismo la cuestión de la “transición energética”, así incluida entre los temas prioritarios de la Agenda Urbana para la UE y que conecta directamente con la lucha contra el Cambio Climático. A este respecto, hay que mencionar también la Directiva 2010/31/UE, modificada por la Directiva (UE) 2018/844, que estableció objetivos concretos de descarbonización del parque edificado, plasmados en España en la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación, aprobada en 2014 y con dos actualizaciones posteriores, en 2017 y 2020.

En definitiva, resulta incuestionable que la regeneración es hoy prioritaria en el marco de las políticas urbanas europeas, en general, y españolas, en particular, y que, si bien se defiende su abordaje desde un enfoque integrado, resulta asimismo evidente la especial atención que se quiere prestar a su componente energético, en la medida en que la descarbonización del sector de la edificación es esencial para conseguir los objetivos planteados en la lucha contra el Cambio Climático.

En este contexto de impulso de la regeneración urbana y de atención específica a su vertiente energética, la Comunidad Autónoma de Castilla y León ha sido pionera en España, abordando tan pronto como en 2014 una profunda revisión de la legislación urbanística autonómica para institucionalizar este cambio de prioridades. Asimismo, el gobierno autonómico, la Junta de Castilla y León, se ha ido dotando en los últimos años de una serie de herramientas orientadas a la planificación y toma de decisiones a este respecto, elaboradas en el marco de sucesivos contratos de I+D entre su Consejería de Fomento y Medio Ambiente y el Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid, a través del grupo de investigación que dirige Juan Luis de las Rivas Sanz. En todos los casos, el objetivo general ha sido preparar documentos que orienten la acción de todos los actores implicados, con especial atención al propio gobierno autonómico, encargado de decidir la asignación de recursos públicos en este ámbito.

El primer documento elaborado fue el PRICYL o Plan de Rehabilitación Integral de Castilla y León (De las Rivas Sanz, 2011), actualizado tras la citada reforma de la legislación urbanística autonómica aprobada en 2014 en la denominada ERUCyL o Estrategia de Regeneración Urbana en Castilla y León (De las Rivas Sanz, 2015; Fernández-Maroto y Rodrigo González, 2018), que fue aprobada por Acuerdo

40/2016, de 23 de junio, de la Junta de Castilla y León. Más adelante, en 2020, también se elaboró un documento base de la Estrategia para la Transición Energética en las ciudades de Castilla y León (De las Rivas Sanz y Fernández Maroto, 2021), complementario de la anterior.

Asimismo, en 2018 se trabajó en el diseño preliminar de una herramienta de desarrollo I+D+i de la ERUCyL (De las Rivas Sanz, 2018) cuyo objetivo era facilitar la evaluación previa o simulación de actuaciones de regeneración urbana como mecanismo de apoyo a la toma de decisiones. Así, se conceptualizó el denominado “Modelo de Información Urbana de Barrio (MIUB)” o “Neighbourhood Information Model” (NIM) como modelo de agregación de datos a escala de barrio, así como un procedimiento de simulación, basado en escenarios, que renunció a desarrollos tecnológicos o informáticos ad hoc y apostó por el empleo de software de uso corriente del ámbito del Building Information Modelling (BIM) y los Geographic Information Systems (GIS).

Dicho trabajo está teniendo continuidad a través de un proyecto de investigación financiado por la Universidad de Valladolid y que está siendo desarrollado por investigadores de las áreas de la Urbanística y Ordenación del Territorio y la Expresión Gráfica Arquitectónica. Así, se ha pretendido avanzar desde esa conceptualización inicial hasta alcanzar un desarrollo aplicado de la herramienta para la evaluación de actuaciones de regeneración urbana, todo ello por medio de un estudio piloto realizado en los denominados barrios “Entrevías” de la ciudad de León (España), cuyos resultados preliminares se exponen a continuación.

Así, en primer lugar, se discutirá la metodología, en lo que cobra una especial relevancia el barrio como ámbito espacial de referencia. De hecho, el método se ha desarrollado precisamente en un contexto de renovado interés por esta figura urbanística. En segundo lugar, se presentarán los resultados de la aplicación de dicho método en el citado estudio de caso llevado a cabo en la ciudad de León y en un ámbito de su barrio de San Mamés. En concreto, se comentarán los proyectos GIS y BIM elaborados, incidiendo en su complementariedad dentro del método, así como la evaluación comparativa de escenarios de regeneración llevada a cabo a partir de dichos proyectos. Finalmente, se aportarán unas breves conclusiones que discutirán las limitaciones y oportunidades encontradas.

2 METODOLOGÍA

El método desarrollado en este proyecto se apoya en dos premisas fundamentales. La primera es el empleo de la escala del barrio, entendida como la referencia espacial más útil para la planificación de actuaciones de regeneración urbana. La segunda es la renuncia al desarrollo de programas informáticos ad hoc para emplear, por el contrario, software de uso habitual en el mundo tanto académico como, específicamente, profesional.

En el ya comentado contexto de impulso de la regeneración urbana, el concepto urbanístico de barrio resulta de gran utilidad para una planificación articulada, apoyada en un diagnóstico preciso de las necesidades al respecto y que, asimismo, evite una acumulación de acciones inconexas entre sí (Mehaffy, Porta, Rofe y Salingaros, 2010; De las Rivas Sanz, Fernández-Maroto, Rodrigo González y Martínez Sierra, 2017). De hecho, la ya citada Nueva Carta de Leipzig (2020) incluye al barrio, junto al municipio y las áreas funcionales, como uno de sus tres niveles espaciales de referencia, afirmando además que “los barrios deberían considerarse como posibles laboratorios de experimentación para la aplicación de enfoques innovadores en todos los ámbitos del desarrollo urbano”. Asimismo, la idea de “distrito de energía positiva” (positive energy district) está emergiendo como concepto clave en el contexto de la transición energética de las ciudades europeas, incidiendo en la generación distribuida de energía y en su capacidad de autoabastecimiento (JPI Urban Europe, 2020).

Respecto a la aplicación práctica del método, y conforme a la premisa antes indicada, se ha recurrido al empleo de software del ámbito del Building Information Modelling (BIM) y los Geographic Information Systems (GIS): en concreto, se ha empleado Revit (Autodesk) y ArcGIS Pro (Esri). Aunque la interoperabilidad potencial entre ambas herramientas informáticas se viene analizando desde hace tiempo, y pese al acuerdo alcanzado en 2017 entre Autodesk y Esri para avanzar en la integración de sus flujos de trabajo, lo cierto es que aún existen muchas limitaciones a este respecto (Zhu, Wright, Wang y Wang, 2018). Por ello, en este proyecto se ha pretendido más bien un uso coordinado de ambas herramientas, sacando partido de cada una de ellas en sendos momentos o fases diferentes del método definido.

Así, la primera fase se corresponde con el diagnóstico de necesidades de regeneración a escala urbana, es decir, con la detección de los ámbitos (barrios) de cada ciudad que, comparativamente, presentan una situación de mayor vulnerabilidad, medida a través de determinados indicadores. En este sentido, se sigue la estela de referencias consolidadas en el panorama español, como es el método aplicado en los catálogos de barrios vulnerables (Rodríguez-Suárez, Hernández-Aja, Gómez-Giménez, Matesanz-Parellada y Díez-Bermejo, 2021), y más específicamente de la ERUCyL y su Índice de Necesidades de Regeneración (INR), definido como una composición de cuatro factores medidos sobre la referencia espacial de las secciones censales: variación de la población, envejecimiento de la población, tasa de desempleo y antigüedad del parque edificatorio (De las Rivas Sanz, 2015, pp. 97-133). Asimismo, se añade en este caso un quinto factor, correspondiente al nivel de renta de los hogares. La asignación de un valor de 1 a 3 a cada factor en función de su posición relativa respecto a la media del conjunto (empleando la desviación estándar) permite definir un INR modificado que oscilará entre un valor de 5, correspondiente a las secciones censales en mejor situación relativa, y de 15, que corresponderá a las secciones censales que deberían ser objeto prioritario de eventuales actuaciones de regeneración. A partir de este diagnóstico, realizado por medio de un proyecto GIS, el resultado de esta primera fase será la delimitación del ámbito que será analizado en la segunda, y que corresponderá a un barrio o fragmento de barrio, es decir, a un ámbito espacialmente coherente (conforme a las características del parcelario y la edificación) que podrá coincidir con una sección censal (referencia del diagnóstico), o bien corresponder a un fragmento de una o de varias de ellas.

Partiendo de ese ámbito delimitado en la primera fase, la segunda fase comienza con un proyecto GIS alimentado de cartografía y datos catastrales, con el objetivo de definir las principales características de los edificios incluidos en él. Seguidamente, esa base cartográfica catastral con sus datos asociados se exporta y sirve de base para la creación de un proyecto BIM cuyo objetivo consiste en analizar el comportamiento energético de los edificios. Para ello, se elabora en primer lugar la masa conceptual de cada edificio del ámbito y de los colindantes (para posibilitar un estudio completo de sombras), y luego se completa la definición simplificada de los edificios del ámbito modelando sus muros, cubiertas y carpinterías de acuerdo con un catálogo simplificado, que incluye tres tipos de muro, un tipo de cubierta y tres tipos de ventanas, que se asignan a cada edificio a partir de una inspección visual, realizada in situ o mediante fuentes online. Se obtiene así una definición arquitectónica básica de la envolvente del edificio en su estado actual, que aborda únicamente aquellos elementos cuya mejora se va a analizar a continuación, lo que permite una simulación rápida y eficiente.

De este modo, la tercera y última fase del método tiene por objetivo realizar un análisis de posibles actuaciones de rehabilitación energética en el ámbito escogido mediante la simulación de escenarios. En primer lugar, y mediante el empleo del motor Energyplus, integrado en Revit, se evalúa la demanda energética de los edificios del ámbito tanto en su estado actual (escenario 0) como en diferentes estados rehabilitados (incorporación de aislamiento térmico en fachadas, en cubiertas y sustitución de ventanas), que definen otros tantos escenarios. Seguidamente, se evalúa también el impacto económico de cada una de esas alternativas, estimándose en cada caso el impacto directo, indirecto e inducido, por medio de la aplicación simplificada del modelo DENIO, empleado en el análisis de los impactos socioeconómicos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC).

De este modo, el análisis contrastado del ahorro energético y el impacto económico resultante de cada escenario permite escoger la alternativa más conveniente, atendiendo al peso diferencial que se otorgue a dichos componentes, que resultan fundamentales en cualquier actuación de regeneración urbana, como ya se ha comentado.

3 RESULTADOS: ESTUDIO DE CASO EN LEÓN (ESPAÑA)

Conforme al método reseñado en el apartado anterior, se exponen a continuación los resultados obtenidos de su aplicación en un pequeño ámbito del barrio de San Mamés de León (España).

3.1 Proyecto GIS: análisis estadístico de necesidades de regeneración en la ciudad de León

Como ya se ha señalado, el primer paso consistió en la elaboración de un proyecto GIS, empleando el software ArcGIS Pro de Esri, que reflejase un Índice de Necesidades de Regeneración modificado

de todas las secciones censales del municipio de León, partiendo, como ya se ha dicho, del método aplicado en la ERUCyL.

En concreto, respecto a los tres indicadores socioeconómicos considerados por la ERUCyL, que son la variación de la población, el envejecimiento y la tasa de desempleo, se han mantenido las mismas fuentes de datos y fechas de referencia, es decir, los Censos de Población de 2011 y 2001, tomando el periodo 2001-2011 para el primer indicador y el año 2011 para los otros dos. Ello se debe a que los últimos datos censales detallados disponibles siguen siendo los del Censo de 2011, ya que los resultados desagregados del Censo de 2021 no han sido aún publicados a fecha de elaboración de este texto. En lo relativo a la antigüedad del parque edificatorio residencial, que en el caso de la ERUCyL se trabajó a partir de datos catastrales, se ha obtenido en este caso a partir de la misma fuente que los tres factores anteriores, es decir, del Censo de Viviendas de 2011, considerando para ello las viviendas principales con fecha de construcción anterior a 1981.

Asimismo, ya se ha comentado que, junto a los cuatro indicadores recogidos en la ERUCyL, se ha añadido un quinto, referido concretamente a la renta media por hogar en 2019, una estadística recientemente elaborada por el Instituto Nacional de Estadística que resulta de gran interés en el ámbito de la vulnerabilidad urbana. Es necesario aclarar que estos datos se ofrecen desagregados para las secciones censales existentes en 2019, que no coinciden en todos los casos con las secciones censales de 2011, empleadas en los cuatro factores anteriores y que se han aplicado también en este, lo cual ha obligado a realizar algunos pequeños ajustes para que todas las secciones dispusiesen de datos.

Asignando a cada uno de estos cinco factores un valor de entre 1 y 3, conforme al método ya comentado, se obtiene así el pretendido Índice de Necesidades de Regeneración modificado de las secciones censales del municipio de León, que se refleja gráficamente en la Figura 1. Como se puede observar, existen varias secciones censales que presentan un índice de valor 12, 13 o incluso 14, y que serían por lo tanto las secciones censales en las que resultaría más conveniente impulsar acciones de regeneración urbana, por evidenciarse allí situaciones objetivas de vulnerabilidad. Se aprecia que esas secciones censales en peor situación aparecen en la primera corona de barrios en torno al centro histórico, tanto en su arco sur como hacia el noreste.

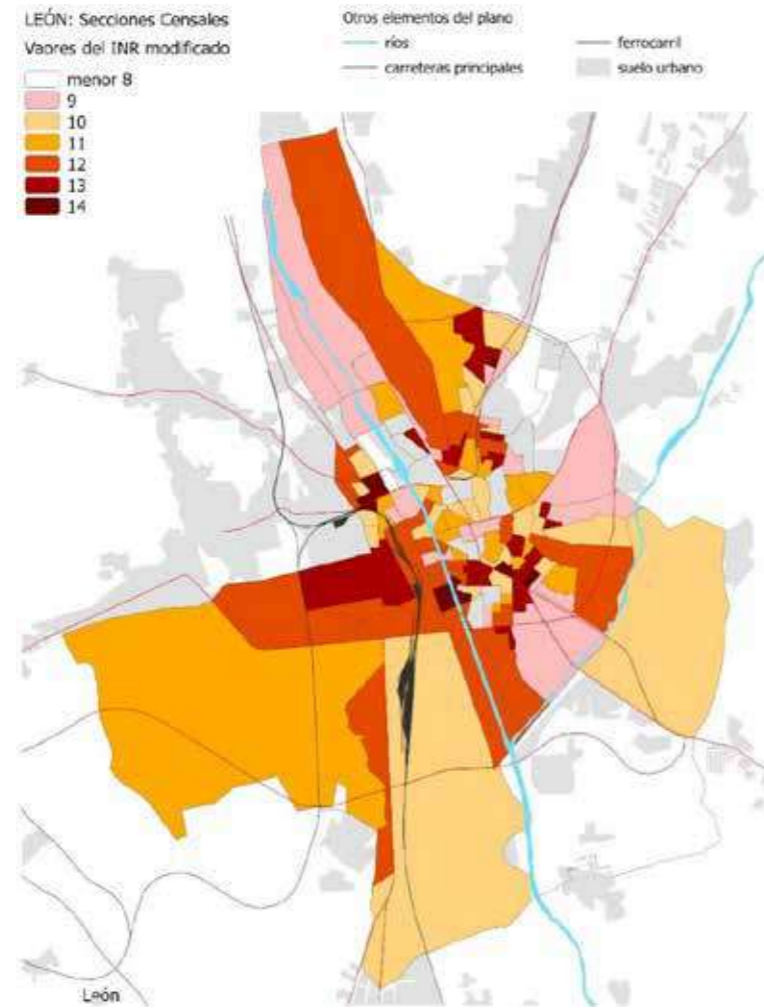


Figura 1. Representación del Índice de Necesidades de Regeneración modificado de todas las secciones censales de la ciudad de León.

Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de este diagnóstico a escala urbana, la Figura 2 muestra un detalle de la zona noreste de la ciudad, en los denominados barrios “Entrevías”. En ella se resalta un ámbito más pequeño, coincidente con una sección censal del barrio de San Mamés que presenta un Índice de Necesidades de Regeneración modificado de 13, es decir, muy elevado, lo que la sitúa como un ámbito idóneo para estudiar una posible actuación de regeneración urbana. En concreto, se han escogido en este caso dos manzanas de dicha sección censal delimitadas por las calles San Rafael y La Bañeza y las avenidas de San Mamés y de Nocedo, para, a modo de estudio piloto, evaluar posibles actuaciones de regeneración urbana en ellas, tal y como se refleja en la Figura 3.

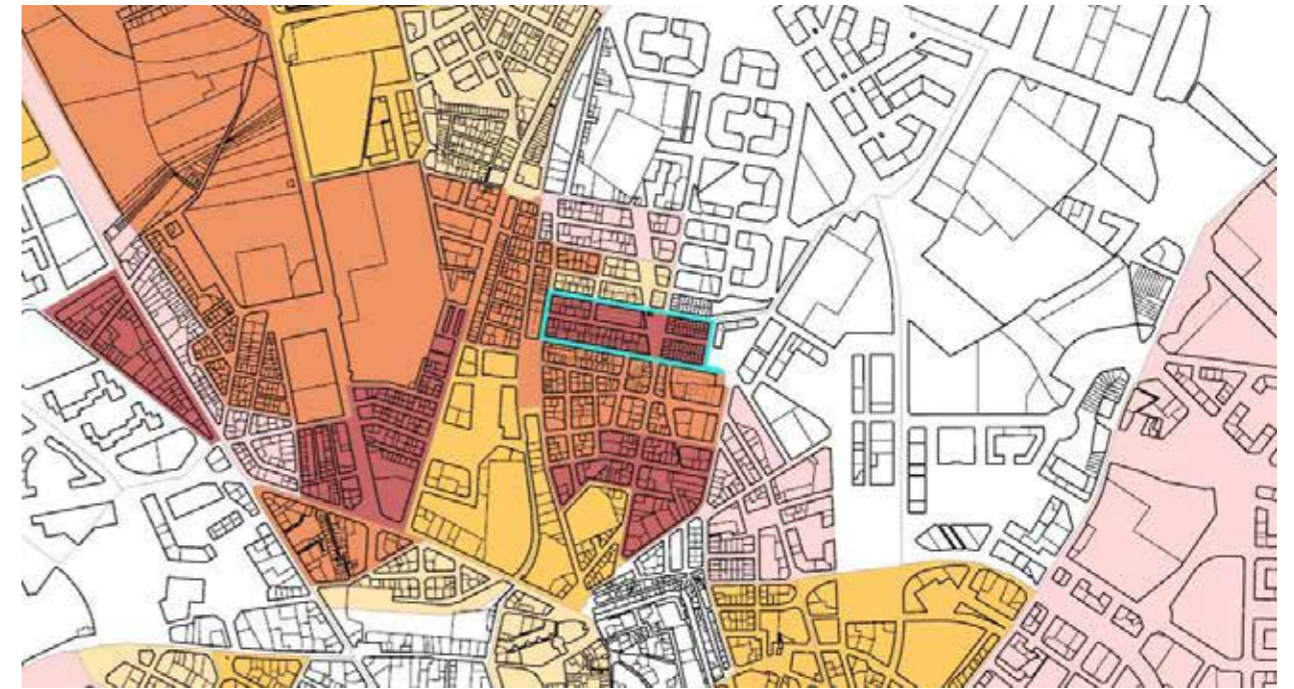


Figura 2. Detalle de los barrios “Entrevías” de la ciudad de León, con indicación del Índice de Necesidades de Regeneración modificado de sus secciones censales. Resaltada en azul, sección censal del barrio de San Mamés de la que se han escogido dos manzanas para evaluar posibles actuaciones de regeneración en ellas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Ámbito escogido para el estudio, compuesto por dos manzanas del barrio de San Mamés.

Fuente: Elaboración propia, a partir de cartografía catastral.

Una vez delimitado el ámbito de estudio, el siguiente paso dentro del método ya comentado consiste en la preparación de un segundo proyecto SIG que reúna las principales características de la edificación allí incluida, y que se realiza a partir de la cartografía y los datos obtenidos de la Sede Electrónica del Catastro. Cabe recordar que se trata de datos actualizados trianualmente (en febrero, junio y octubre) y que la información alfanumérica se estructura en distintos registros, referidos a parcela, construcción,

inmueble, etc. En este caso, se han agrupado los datos por parcela catastral, recogiendo para cada una de ellas el año de construcción del edificio (y en su caso, de reforma total), su superficie construida total, el número de viviendas y la superficie asignada a uso residencial. Respecto a esta última, se han distinguido, en su caso, las superficies asignadas por Catastro a las propias viviendas y las referidas a zonas comunes, almacenes, etc.

Los datos correspondientes a las 11 parcelas catastrales que forman las dos manzanas escogidas como ámbito de estudio se reflejan en la Figura 4. Como se puede observar, resulta un ámbito de unas 200 viviendas, con una superficie construida del orden del 20.000 m².

Parcela Año de construcción (y reforma) Superficie construida total (m²) Número de viviendas Superficie de uso residencial Superficie de viviendas Superficie de zonas comunes

Parcela	Año de construcción (y reforma)	Superficie construida total (m ²)	Número de viviendas	Superficie de uso residencial	Superficie de viviendas	Superficie de zonas comunes
9206901	1967	1.757	19	1.502	1.206	296
9206902	1966	979	10	824	824	0
9206903	1964	1.204	10	1.020	1.020	0
9206904	1966	1.462	15	1.353	1.242	111
9206905	1966	760	10	648	648	0
9206906	1966	1260	10	1.064	1.064	0
9206907	1960	1.087	10	894	894	0
9206908	1967 (2007)	615	5	510	345	165
9206909	1965	1.427	15	1.221	1.161	60
9306901	1963	6.960	80	5.680	5.680	0
9306902	1976	2.724	19	2.430	2.430	0
TOTALES		20.235	203	17.146	16.514	632

Figura 4. Tabla que recoge los datos característicos de las parcelas de las dos manzanas estudiadas. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos catastrales.

3.2 Proyecto BIM: simulación de actuaciones de rehabilitación energética en un ámbito del barrio de San Mamés

El segundo proyecto SIG sirve de puente y base para la creación de un proyecto BIM correspondiente al ámbito de estudio del barrio de San Mamés, empleando para ello el software Revit de Autodesk, que se ha seleccionado entre las distintas opciones actualmente existentes por su manejo fácil e intuitivo, tanto del modelizado arquitectónico como de su complemento de estudio energético, que utiliza el motor Energyplus para realizar las simulaciones. Así, el primer paso consiste en importar desde Revit la cartografía catastral previamente preparada y exportada desde ArcGIS Pro en formato DXF, procediéndose seguidamente a su georreferenciación, para resituar el plano en su posición y orientación real, con el fin de obtener unos datos energéticos lo más reales posibles.

A continuación, se procede al modelado tanto de los edificios incluidos en el ámbito de estudio como de los edificios colindantes. De estos últimos solamente se necesitan sus volumetrías, para poder luego analizar las sombras que proyectan (Figura 5), por lo que se han levantado mediante la realización de masas. Por el contrario, en el caso de los edificios del ámbito de estudio se realiza el modelado completo de la envolvente, a partir de la cartografía catastral y de las mediciones y observaciones realizadas in situ o mediante datos accesibles online, asignando unos tipos de cerramiento (muros, cubiertas y ventanas) escogidos en cada caso de un catálogo base previamente introducido en el proyecto (Figura 6).

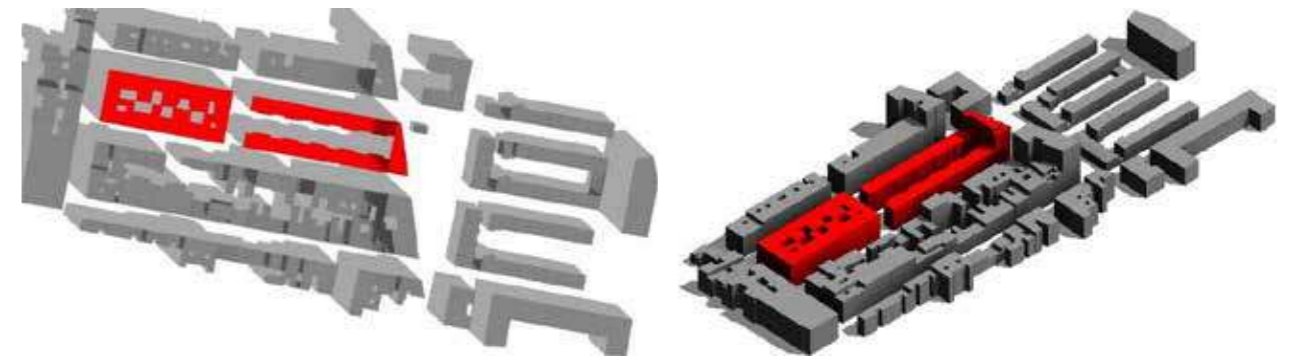


Figura 5. Estudio solar del ámbito, para la fecha de 6 de septiembre, a las 11:00. Fuente: Elaboración propia.

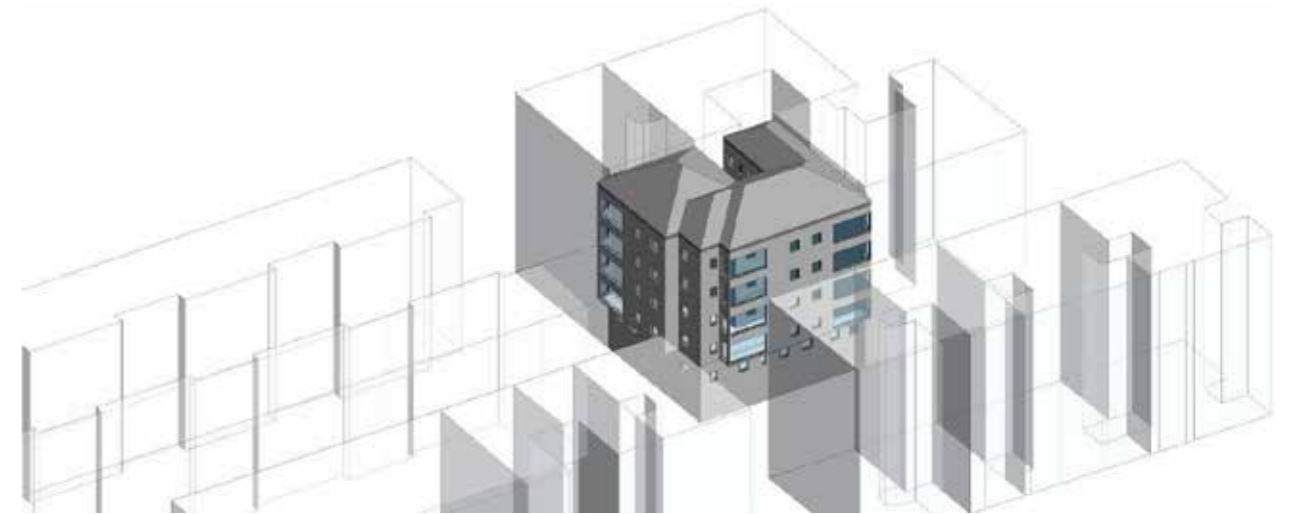


Figura 6. Modelo del edificio de la parcela 9206904, con los bloques colindantes como masas. Fuente: Elaboración propia.

Para simplificar las geometrías 3D se han unificado ciertos criterios, tales como uniformar las carpinterías de un mismo edificio a una misma tipología, considerando la que se encuentra en mayor medida en la misma. Asimismo, en aquellas edificaciones que presentan terrazas, en el caso de existir cerramientos en algunas de ellas, se ha optado por el criterio de considerar ese cerramiento en toda la edificación en caso de que los espacios de terraza cerrados superen el 60% del total. Respecto al catálogo de cerramientos, partiendo de una inspección de los distintos edificios del ámbito estudiado y con la ayuda orientativa del año de construcción, se han propuesto tres tipos de muros: M1 (el más antiguo, sin cámara ni aislamiento), M2 (con cámara, pero sin aislamiento) y M3 (con cámara y material aislante). En lo relativo a las cubiertas, solo se ha considerado un tipo, C1, que agrupa cualquier cubierta, inclinada o plana, considerando todas con aislamiento (normalmente de fibras minerales). Por último, a la vista de las distintas fachadas, se han distinguido tres tipos de ventanas: las de madera (V1), las correderas de aluminio (V2) y las practicables de aluminio-PVC con rotura de puente térmico (V3).

A partir del modelado del ámbito de estudio en su estado actual (escenario 0), se plantea la simulación de actuaciones de rehabilitación energética, que se centran en la sustitución o refuerzo de los cerramientos de los edificios. En concreto, en aquellos edificios con muros de tipo M1 o M2 se plantea la disposición de aislamiento exterior tipo SATE (resultando en muros denominados respectivamente M1R y M2R). Respecto a las cubiertas, la mejora consistiría en añadir una capa adicional de aislamiento (cubierta tipo C2), mientras que en los edificios con ventanas de tipo V1 o V2 se propone su sustitución por ventanas de tipo V3. Hay que aclarar que no se ha considerado la sustitución de calderas, cuya casuística es de lo más variada dentro de cada edificio. Por lo tanto, de cara a la simulación, se ha optado por considerar que todos los edificios disponen de calderas individuales de gas. De este modo, se realiza un nuevo modelo por cada uno de las propuestas de mejora, es decir, un modelo con mejora

de muros (escenario 1), un modelo con mejora de cubiertas (escenario 2) y un modelo con sustitución de ventanas (escenario 3). A continuación, se realiza un análisis energético de cada uno de los cuatro escenarios, obteniéndose un informe por escenario y edificio del ámbito.

El programa diferencia entre demanda energética de refrigeración y de calefacción, y dado que el ámbito de estudio se sitúa en León, una de las capitales más frías del país, las demandas más importantes se localizan vinculadas a la calefacción, aunque este procedimiento sería igualmente válido para ciudades más cálidas con demandas relevantes en refrigeración. La tabla obtenida en cada caso muestra las demandas energéticas anuales, diferenciando si son debidas a la envolvente, a ganancias internas (calor producido por los usuarios, por luces o por electrodomésticos) y sistemas (ventilación y calderas). Dado que, en este estudio, se están considerando únicamente mejoras en la envolvente, solamente se emplean los datos referidos a esta. Al ser demanda de calefacción, resultan datos negativos (los de refrigeración son positivos), puesto que indican la cantidad de energía que es necesario aportar para conseguir la temperatura de confort en el interior de las viviendas (Figura 7).

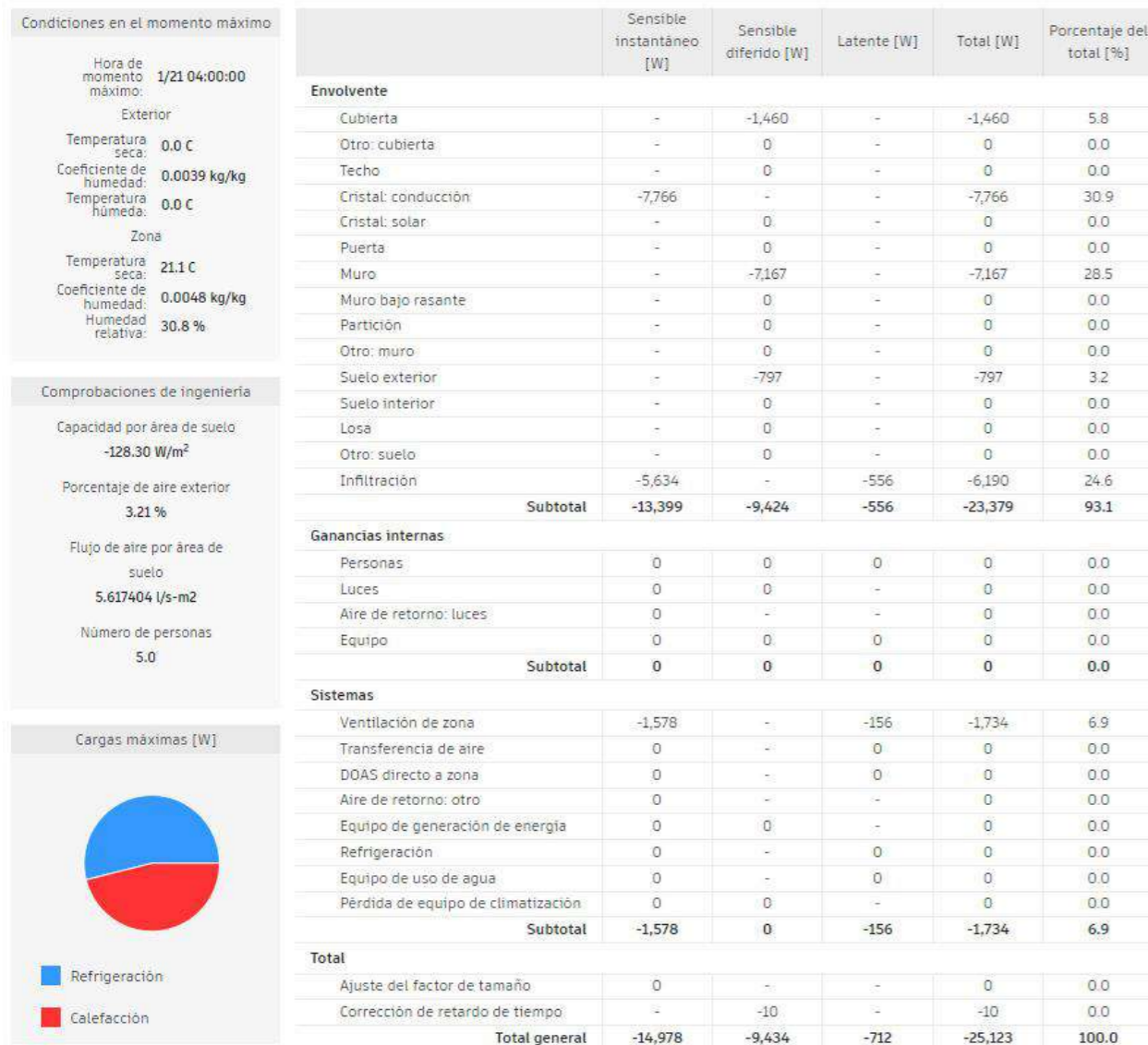


Figura 7. Ejemplo de informe de análisis de demanda energética para calefacción. Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados obtenidos para los 11 edificios incluidos dentro del ámbito de estudio (Figura 8), se concluye que las actuaciones que tienen mayor impacto en la reducción de la demanda son los muros reforzados con SATE, lo cual resulta lógico por cuanto constituyen la piel más extensa de

cada edificio. En segundo lugar se sitúa la sustitución de carpinterías por unas de mejor comportamiento térmico, lo que se explica por la gran cantidad de superficie acristalada en los edificios analizados, ya que la práctica totalidad de las terrazas se han cerrado. Por último, la actuación con menor impacto es el refuerzo del aislamiento de las cubiertas. En este caso se detecta además un comportamiento energético un tanto llamativo, por cuanto la reducción de la transmitancia no tiene correlato proporcional en la reducción de la demanda energética.

Parcela	Muros			Cubiertas			Ventanas		
	Inicial	Final	Diferencia	Inicial	Final	Diferencia	Inicial	Final	Diferencia
9206901	M2	M2R	-0,573	C1	C2	-0,315	V2	V3	-0,458
9206902	M2	M2R	-1,264	C1	C2	-0,117	V2	V3	-0,256
9206903	M2	M2R	-0,147	C1	C2	-0,002	V2	V3	-0,200
9206904	M2	M2R	-0,786	C1	C2	-0,126	V2	V3	-0,011
9206905	M2	M2R	-0,065	C1	C2	-0,028	V2	V3	-0,741
9206906	M2	M2R	-0,194	C1	C2	0,100	V2	V3	-0,013
9206907	M2	M2R	-0,357	C1	C2	-0,220	V2	V3	-0,200
9206908	M3	-	-	C1	C2	-0,135	V2	V3	-0,201
9206909	M2	M2R	-2,529	C1	C2	-0,230	V2	V3	-0,718
9306901	M2	M2R	-1,049	C1	C2	-0,204	V2	V3	-0,214
9306902	M2	M2R	-0,341	C1	C2	-0,101	V2	V3	-0,200
TOTALES:			-7,305			-1,378			-3,212

Figura 8. Tabla que resume las actuaciones de rehabilitación energética propuestas en los 11 edificios analizados, y la diferencia de demanda energética para calefacción (en kW) obtenida en cada caso. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Estimación del impacto económico de las actuaciones simuladas

Junto con el análisis de los escenarios posibles de ahorro en la demanda energética en los edificios del ámbito escogido, se ha realizado igualmente un análisis del impacto socioeconómico que tendrían las actuaciones de rehabilitación energética simuladas. Para ello, como ya se comentó, se ha utilizado, de forma simplificada, el modelo económico DENIO, que interrelaciona los 88 sectores recogidos en sus tablas input-output, los gastos de los hogares implicados (en atención a sus diferentes características) y las cuentas del sector público (incluyendo ingresos y gastos de las Administraciones Públicas, el déficit y la deuda pública). Asimismo, el modelo permite inferir los impactos económicos relativos al ahorro energético de las actuaciones planteadas, de acuerdo a la información facilitada por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

En un primer momento, se evalúa lo que en este tipo de análisis se denomina impacto directo, y que en este caso corresponde a las cantidades dinerarias que se emplearían en las distintas mejoras de la envolvente térmica de los edificios del ámbito estudiado. Los propietarios de los inmuebles referidos (beneficiarios de la intervención y de su posible revalorización) gastarían una cantidad medible en la operación, al margen de las subvenciones e incentivos, públicos o privados, que puedan intervenir en el proceso, por lo que al análisis consiste, básicamente, en un estudio de coste, es decir, en un estudio que determine lo que el propietario gasta, estrictamente, en las actuaciones planteadas, y que se estructura en los conceptos que se detallan en la Figura 9.

Parcela	Muros			Cubiertas			Ventanas		
	Inicial	Final	Diferencia	Inicial	Final	Diferencia	Inicial	Final	Diferencia
9206901	M2	M2R	-0,573	C1	C2	-0,315	V2	V3	-0,458
9206902	M2	M2R	-1,264	C1	C2	-0,117	V2	V3	-0,256
9206903	M2	M2R	-0,147	C1	C2	-0,002	V2	V3	-0,200
9206904	M2	M2R	-0,786	C1	C2	-0,126	V2	V3	-0,011
9206905	M2	M2R	-0,065	C1	C2	-0,028	V2	V3	-0,741
9206906	M2	M2R	-0,194	C1	C2	0,100	V2	V3	-0,013
9206907	M2	M2R	-0,357	C1	C2	-0,220	V2	V3	-0,200
9206908	M3	-	-	C1	C2	-0,135	V2	V3	-0,201
9206909	M2	M2R	-2,529	C1	C2	-0,230	V2	V3	-0,718
9306901	M2	M2R	-1,049	C1	C2	-0,204	V2	V3	-0,214
9306902	M2	M2R	-0,341	C1	C2	-0,101	V2	V3	-0,200
TOTALES:			-7,305			-1,378			-3,212

Figura 9. Descriptores de los costes directos de las actuaciones de rehabilitación energética consideradas.
Fuente: Elaboración propia.

Para poder implementar este estudio simplificado, dada la enorme casuística que puede existir en cuanto a los presupuestos de las diferentes actuaciones que puedan acometerse, se ha recurrido a unos módulos de costes unitarios por metro cuadrado, obtenidos a partir de una base de precios actualizada. De esta manera, es posible aproximar un posible presupuesto de cada intervención, teniendo en cuenta las características de los edificios del ámbito y las actuaciones planteadas. Estos módulos (relativos, de manera separada, al coste de las diferentes mejoras en la envolvente térmica) se pueden combinar para, en una segunda aproximación al impacto, extraer la solución más eficiente económicamente hablando. Los módulos considerados se indican en la Figura 10, mientras que en la Figura 11 se recoge el resultado de su aplicación a las superficies que, en cada actuación, corresponden a cada uno de los 11 edificios del ámbito analizado, y que proceden directamente del proyecto BIM.

Módulo	Coste unitario (€/m ²)
Mejora de los muros a M1R y M2R, a través de aislamiento SATE	59,51
Mejora en el aislamiento de las cubiertas existentes	38,04
Sustitución de ventanas V1 y V2 por V3	538,02

Figura 10. Módulo de coste (€/m²) para cada actuación de mejora energética considerada en el estudio.
Fuente: Elaboración propia. Parcela Mejora de los muros Mejora de las cubiertas Sustitución de las ventanas Sup. (m²) Mód. (€/m²) Coste total (€) Sup. (m²) Mód. (€/m²) Coste total (€) Sup. (m²) Mód. (€/m²) Coste total (€)

Parcela	Mejora de los muros			Mejora de las cubiertas			Sustitución de las ventanas		
	Sup. (m ²)	Mód. (€/m ²)	Coste total (€)	Sup. (m ²)	Mód. (€/m ²)	Coste total (€)	Sup. (m ²)	Mód. (€/m ²)	Coste total (€)
9206901	983,98	59,51	58.556,65	368,72	38,04	14.026,11	128,00	538,02	68.866,56
9206902	548,36	59,51	32.632,90	413,49	38,04	15.729,16	105,00	538,02	56.492,10
9206903	471,45	59,51	28.055,99	287,14	38,04	10.922,81	195,00	538,02	104.913,90
9206904	770,82	59,51	45.871,50	335,97	38,04	12.780,30	195,80	538,02	105.344,32
9206905	555,70	59,51	33.069,71	208,53	38,04	7.932,48	114,40	538,02	61.549,49
9206906	593,62	59,51	35.326,33	290,45	38,04	11.048,72	101,60	538,02	54.662,83
9206907	581,87	59,51	34.627,08	300,21	38,04	11.419,99	101,60	538,02	54.662,83
9206908	-	-	-	110,46	38,04	4.201,90	29,60	538,02	15.925,39
9206909	783,48	59,51	46.624,89	329,31	38,04	12.526,95	116,00	538,02	62.410,32
9306901	4.021,51	59,51	239.320,06	3.519,71	38,04	133.889,77	1.562,00	538,02	840.387,24
9306902	2.537,88	59,51	151.029,24	274,63	38,04	10.446,93	375,00	538,02	201.757,50
			244.925,10			705.114,35			1.626.972,48

Figura 11. Coste total de cada actuación de mejora energética considerada en el estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez estimado el impacto directo de las actuaciones simuladas, también sería posible analizar el impacto indirecto, es decir, los movimientos económicos que generan, de manera indirecta, las propias actuaciones de rehabilitación energética planteadas. El propio gasto realizado por los propietarios para acometer dichas actuaciones genera también que otros agentes colaboren en el gasto, en parte por subvenciones o incentivos. Asimismo, la inversión revierte sobre los propios propietarios, pues el valor de sus viviendas aumenta de manera tasable, y además se producen unos ahorros energéticos que, en la factura energética, también pueden ser cuantificables.

Para estimar dicho impacto indirecto, se realizaría una comparación entre el escenario 0 (escenario base o tendencial, sin actuaciones de rehabilitación) y los escenarios correspondientes a las actuaciones de rehabilitación energética consideradas, conforme a los descriptores indicados en la Figura 12. Todas las estimaciones en cuanto a los costes directos, así como los derivados de la revalorización del inmueble y los ahorros provenientes de la factura energética, se realizarían conforme a módulos que permitirían obtener una aproximación muy cercana a la realidad.

ADICIÓN	SUSTRACCIÓN	FUENTE
Actuaciones de rehabilitación energética simuladas		
Actuaciones sobre la envolvente térmica		Cálculo propio (Figura 11)
	Inversión pública estatal	Fuentes oficiales
	Fondos europeos	Fuentes oficiales
Ahorro energético (factura energética)		
Factura energética nueva		Propietarios
	Factura energética antigua	Estimación
Revalorización del inmueble		
Tasación nuevo valor		Estimación
	Tasación valor actual	Datos oficiales

Figura 12. Descriptores comparativos entre costes directos y subvenciones, incentivos y estimaciones en materia de ahorro energético.
Fuente: Elaboración propia.

Por último, la estimación del impacto económico de las actuaciones de rehabilitación incluiría también la cuantificación del impacto inducido, también denominado impacto multiplicador, que estudia la interrelación entre los diferentes sectores de la economía, y determina el efecto de retroalimentación que un shock inicial produce en la demanda final de un sector, como consecuencia de las relaciones económicas entre las diferentes actividades sectoriales. En última instancia, obtendríamos, por tanto, dicho efecto sobre el conjunto del sistema económico. Para ello, se emplean los multiplicadores input-output, basados en las tablas input-output desarrolladas por Leontief, que estudian las relaciones bilaterales entre todos los sectores de la economía, determinando los efectos de la variación de cada uno de esos sectores sobre los demás.

En nuestro caso, se aplica la noción del multiplicador input-output derivado de las tablas de Castilla y León de 2010, que son las últimas publicadas (Figura 13), distinguiendo además entre el efecto que se queda en la ciudad de León y la Comunidad Autónoma de Castilla y León, el efecto que se produce en el resto de España y el impacto económico total, incluyendo lo que sale al exterior, a partir de una serie de hipótesis planteadas.

Rama	Producto	Coefficiente multiplicador
22	Fabricación de productos de caucho y plásticos	2,897654
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	2,529771
25	Fabricación de productos metálicos	2,544591
33	Reparación e instalación de maquinaria y equipo	2,466725
35	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	2,205150
37-39	Actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	2,501105
41	Construcción de edificios	2,764004
42	Ingeniería civil	2,795773
43	Actividades de construcción especializada	2,506336
49	Transporte terrestre y por tubería	2,164166
50-51	Transporte marítimo y aéreo	2,703840
52	Almacenamiento y actividades anexas al transporte	2,168237
68	Actividades inmobiliarias	1,591447
71	Servicios técnicos de arquitectura e ingeniería; ensayos y análisis técnicos	1,909635
82	Actividades administrativas de oficina y otras actividades auxiliares a las empresas	1,690608

Figura 13. Coeficientes multiplicadores de las tablas TIO 2010 para Castilla y León, de las ramas CPA 2.1/CNAE 2009, que afectan a las actuaciones planteadas.

Fuente: Elaboración propia.

El uso como herramienta analítica de estas tablas input-output resulta útil e interesante, aunque debe señalarse la limitación derivada de la no existencia de tablas a nivel provincial o local, lo que obliga a utilizar las disponibles para el ámbito de la Comunidad Autónoma. Por lo tanto, ello implica asumir que la estructura sectorial de la economía de la ciudad de León resulta muy similar a la provincial y a la de Castilla y León en su conjunto. Teniendo esto presente, se han aplicado los coeficientes multiplicadores reflejados arriba para obtener el efecto económico inducido de una de las actuaciones planteadas, en concreto la sustitución de ventanas. Para ello, se ha analizado la repercusión de cada coeficiente sobre el módulo inicialmente estimado, que, recordamos, es de 538,02 €, obteniéndose la distribución y el coeficiente final que se reflejan en la Figura 14.

Así, se obtiene que la sustitución de las ventanas tendría un efecto multiplicador total (suma ponderada de los multiplicadores aportados por las tablas de Castilla y León de 2010) de 2,513226038. Es decir, que si el coste directo de la intervención era de 1.626.972,48 euros, la repercusión de la intervención sobre el conjunto de la economía será de 4.089.005,47 euros. De igual manera, este cálculo podría realizarse sobre cada uno de los costes directos e indirectos de la intervención, para hallar el efecto económico global, o efecto inducido, de todas las actuaciones simuladas.

Rama	Coefficiente multiplicador	Repercusión sobre el módulo (%)	Coefficiente final
22	2,897654	6,44	0,186563203
23	2,529771	5,86	0,148301136
25	2,544591	37,63	0,957544132
41	2,764004	2,03	0,056254124
43	2,506336	43,22	1,083181381
82	1,690608	4,82	0,081416403
Coefficiente final			2,51326038

Figura 14. Repercusión de cada coeficiente multiplicador sobre el módulo estimado para la sustitución de las ventanas de los edificios del ámbito, y multiplicador final.

Fuente: Elaboración propia.

4 CONCLUSIONES

El estudio realizado en el ámbito escogido del barrio de San Mamés de la ciudad de León (España) demuestra que es posible una utilización coordinada de software GIS y BIM de uso habitual (ArcGIS Pro y Revit) para la realización de evaluaciones simplificadas de posibles actuaciones de regeneración

urbana, atendiendo concretamente a las vertientes del ahorro energético y el impacto socioeconómico, cuya consideración es, por lo demás, actualmente insoslayable.

Evitando el recurso a flujos de trabajo complejos entre ambas herramientas, aún con muchas limitaciones, así como a software ad hoc, en el que la precisión lleva aparejada una mayor complejidad de uso, se ha obtenido, de forma sencilla y accesible a cualquier persona mínimamente familiarizada con el ámbito de los GIS y el BIM, un procedimiento que, por un lado, permite seleccionar aquellos ámbitos urbanos en los que más necesarias son las actuaciones de regeneración y, por otro lado, tras escoger un ámbito potencial, evaluar una serie de escenarios simulados con la finalidad de escoger aquella actuación que resulte más ventajosa desde el punto de vista energético y económico.

En el estudio realizado, se ha mostrado que un proyecto GIS creado sobre una base estadística sencilla permite una aproximación bastante precisa a los ámbitos de la ciudad de León con mayores necesidades de regeneración urbana, y que un proyecto BIM igualmente sencillo permite estimar los ahorros energéticos y costes asociados a determinados escenarios de actuación. Así, se concluye que, para las dos manzanas estudiadas, una actuación centrada en la incorporación de SATE en las fachadas de 10 de sus 11 edificios resulta en una reducción de la demanda energética mayor que la que se obtiene con las otras dos opciones simuladas, y con un coste económico directo igualmente ventajoso.

5 BIBLIOGRAFÍA

De las Rivas Sanz, J. L. (Dir.) (2011). PRICYL Plan de Rehabilitación Integral de Castilla y León. Valladolid: Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid. http://www.jcyl.es/junta/cf/20120209_PRICyL.pdf

De las Rivas Sanz, J. L. (Dir.) (2015). ERUCyL Estrategia de Regeneración Urbana de Castilla y León. Valladolid: Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid. <https://www.jcyl.es/junta/cma/ERUCyL.pdf>

De las Rivas Sanz, J. L. (Dir.) (2018). Diseño y propuesta de una herramienta de desarrollo I+D+i de la Estrategia de Regeneración Urbana de Castilla y León. Valladolid: Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid (inédito).

De las Rivas Sanz, J. L. y Fernández-Maroto, M. (2021). Estrategia para la Transición Energética en las Ciudades de Castilla y León. Documento base. Valladolid: Junta de Castilla y León e Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/46504>

De las Rivas Sanz, J. L., Fernández-Maroto, M., Rodrigo González, E., y Martínez Sierra, M. (2017). Recuperando el concepto urbanístico de barrio: unidades urbanas y regeneración urbana en Castilla y León. Ciudad y Territorio Estudios Territoriales, 49(191), 45-62. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/85828>

Fernández-Maroto, M., y Rodrigo González, E. (2018). La Estrategia de Regeneración Urbana en Castilla y León (ERUCyL). Ciudad y Territorio Estudios Territoriales, 50(196), 375-383. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76668>

JPI Urban Europe (2020). Europe towards Positive Energy Districts: a compilation of projects towards sustainable urbanization and the energy transition. https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/06/PED-Booklet-Update-Feb-2020_2.pdf

Mehaffy, M., Porta, S., Rofe, Y., y Salingaros, N. (2010). Urban nuclei and the geometry of streets; the 'emergent neighborhoods' model. Urban Design International, 15 (1), 22-46. <https://link.springer.com/article/10.1057/udi.2009.26>

Rodríguez-Suárez, I., Hernández-Aja, A., Gómez-Giménez, J. M., Matesanz-Parellada, A., y Díez-Bermejo, A. (2021). Los Catálogos de Barrios Vulnerables de España: análisis de la vulnerabilidad en las ciudades españolas entre 1991 y 2011. Ciudad y Territorio Estudios Territoriales, 53(monográfico), 179-200. doi:10.37230/CyTET.2021.M21.10

Zhu, J., Wright, G., Wang, J., y Wang, X. (2018). A Critical Review of the Integration of Geographic Information System and Building Information Modelling at the Data Level. International Journal of Geo-Information, 7(2). doi:10.3390/ijgi7020066