

Caracterización de fachadas: clasificación de las tipologías constructivas más habituales en España

Characterisation of Façades: Classification of the Constructive Typologies most frequently used in Spain

Cristina Jiménez-Pulido (*), Ana Jiménez-Rivero (*), Justo García-Navarro (*)

RESUMEN

La falta de información específica relativa al patrimonio edificado es uno de los factores que dificultan su gestión sostenible. Con el fin de promover una adecuada conservación y renovación de los edificios existentes, nuestro trabajo aborda el reto de mejorar el conocimiento sobre edificios existentes, poniendo el foco en sus fachadas. Este artículo presenta el desarrollo de una colección de fichas, con datos clave sobre los sistemas constructivos, para caracterizar las tipologías constructivas más habituales en fachadas del patrimonio edificado español. La colección de fichas recopila, de manera sistemática, información técnica sobre dichos sistemas, con datos relativos a sus prestaciones, propensión a lesiones y capacidad de mejora. Planteadas para poder adaptarse a formatos digitales a fin contribuir a implementar bases de datos holísticas e interoperables en BIM, las fichas de clasificación se diseñaron para ser manejables y adaptables, contemplando su aplicación en trabajos de inspección y diagnóstico de edificios existentes.

Palabras clave: lesiones; inspección y diagnóstico; gestión sostenible; bases de datos; mantenimiento; rehabilitación; registro digital del edificio.

ABSTRACT

The lack of information concerning the building stock is one of the factors hindering its sustainable management. With the aim of promoting a proper preservation and renovation of existing buildings, our work addresses the challenge of improving the knowledge on these buildings, by focusing on their façades. This article presents the development of a collection of sheets, with key data related to the construction systems of façades, to characterize the most common constructive typologies found in the Spanish building stock. The collection of sheets gathers technical information about those systems in a systematic way, with data related to their features, most common lesions, and improvement capacity. Designed for their further adaptation into a digital format that contributes to developing holistic and interoperable databases using BIM, the classification sheets are manageable, and adaptable, properties that make it applicable to facilitate the inspection and diagnosis of existing buildings.

Keywords: lesions; inspection and diagnosis; sustainable management; building database; maintenance; refurbishment; digital building logbook.

(*) Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: c.jpulido@alumnos.upm.es (C. Jiménez-Pulido)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8892-1522> (C. Jiménez-Pulido); <https://orcid.org/0000-0003-4013-2334> (A. Jiménez-Rivero); <https://orcid.org/0000-0002-5268-1587> (J. García-Navarro)

Cómo citar este artículo/Citation: Jiménez-Pulido, Cristina; Jiménez-Rivero, Ana; García-Navarro, Justo (2022). Caracterización de fachadas: clasificación de las tipologías constructivas más habituales en España. *Informes de la Construcción*, 74(568): e471. <https://doi.org/10.3989/ic.88694>

Copyright: © 2022 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 04/05/2021
Aceptado/Accepted: 09/04/2022
Publicado on-line/Published on-line: 12/12/2022

1. INTRODUCCIÓN

El parque edificado es responsable de buena parte del consumo de energía imputable al sector de la construcción (1), siendo también en la fase de uso de los edificios donde se concentran los impactos medioambientales más importantes (2). La gestión sostenible de ese parque edificado, considerando aspectos medioambientales, sociales y económicos, resulta clave para el cumplimiento de los compromisos globales asumidos (3). Jensen et al. (4) agrupaban las barreras que dificultan esa adecuada gestión en dos categorías principales: económicas y de información. Unos datos fiables y una información de calidad son esenciales en la toma de decisiones de diseño, tanto para construir edificios como también para su conservación y renovación (5).

La estimación general de vida útil en edificios supera los 60 años, pero varía en sus distintos elementos constructivos. Estos elementos son cada una de las partes que les proporcionan estabilidad y prestaciones técnicas y que son identificables por características y detalles constructivos específicos (6). Los edificios se construyen para perdurar, pero su vida útil acaba dependiendo de dos aspectos principales: (1º) un buen diseño técnico y una correcta ejecución de las soluciones constructivas, y (2º) un uso y mantenimiento adecuados (7). Durante la fase de uso, los elementos constructivos pueden sufrir daños de distinta naturaleza, capaces de reducir la vida útil de los edificios. La envolvente exterior, que funciona como una 'piel' que protege al edificio y juega un papel fundamental en su comportamiento general (incluido el energético), es uno de los elementos más susceptibles a lesiones, siendo habitual observar señales de deterioro a los 20 o 30 años de su construcción (8). Así, los trabajos de mantenimiento dirigidos a mantener la funcionalidad de esa envolvente y reducir la vulnerabilidad de los materiales y componentes más expuestos (9) son fundamentales para mantener los edificios operativos y en buen estado. También son claves las intervenciones sobre las envolventes de los edificios por su capacidad para lograr importantes reducciones de demanda energética y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (2).

La fachada de los edificios, parte de su envolvente exterior, es especialmente vulnerable por su elevado riesgo de lesiones, siendo habitual la aparición de humedades, fisuras, grietas o incluso desprendimientos (10). Las fachadas, por tanto, juegan un papel fundamental en la conservación y renovación de los edificios existentes, debido también a su extensión (superficie), a la complejidad de su diseño o a la dificultad para acceder a todas sus partes y garantizar un buen mantenimiento. Las propiedades termo-físicas de las fachadas y su estado de conservación determinan, además, las condiciones de los espacios interiores de los edificios (11). Por todo ello, las inspecciones periódicas de las fachadas son fundamentales para una gestión adecuada del parque edificado y para planificar, si procede, la realización de las intervenciones oportunas, capaces de mejorar el comportamiento técnico global de edificios existentes y de reducir sus impactos medioambientales (12). Sin embargo, la disponibilidad de información específica sobre las fachadas existentes es bastante

escasa, dificultando el diseño adecuado de las operaciones de mantenimiento y de las soluciones de intervención.

Estándares europeos o normas como la ISO 15686-1 (13) señalan que una estimación fiable de la vida útil de los edificios o de sus elementos depende directamente de la calidad y adecuación de la información disponible. La falta de dicha información repercute tanto en la calidad de los trabajos realizados sobre edificios existentes como en su eficacia y coste, obstaculizando las inversiones y la innovación en el sector de la construcción (14). Una recopilación de datos sistemática, bien organizada y siguiendo un esquema estandarizado, contribuiría a subsanar los actuales déficits de información (15). Se ha creado a nivel europeo una nueva herramienta consistente en un 'registro digital del edificio' (en adelante DBL, del inglés *Digital Building Logbook*) para recoger datos relevantes de éste de una manera integrada. El DBL plantea el desarrollo de una plantilla común que evite la fragmentación y desinformación del sector (15), para aportar información precisa y accesible a todos los actores involucrados en el uso y gestión de los edificios.

Nuevos instrumentos y herramientas como el DBL son parte de una decidida apuesta de la Unión Europea (UE) por unos trabajos de renovación adecuados para mejorar el comportamiento energético y reducir las emisiones de GEI del parque edificado, que han de partir del conocimiento del estado y funcionamiento de los edificios existentes. Los trabajos de renovación deben cumplir, además, con unos estándares técnicos actuales que han evolucionado para mejorar la calidad y el comportamiento de los edificios (*e.g.* su eficiencia energética). El Código Técnico de la Edificación (CTE) (16) determina en España los estándares a cumplir, recogiendo también el marco legal europeo (*e.g.* Directivas o Reglamentos de la UE de obligado cumplimiento). Pero el estado de conservación particular de cada edificio o sus características originales dificultan la aplicación de estándares técnicos concebidos inicialmente para trabajos de nueva construcción y no de renovación (17). También factores relativos a las condiciones de contorno del edificio o aspectos técnico-operativos y económicos influyen en el resultado (*e.g.* en el rendimiento energético) logrado tras las intervenciones. Todos estos aspectos se han de considerar, recopilando la información necesaria para planear el diseño y el alcance de las renovaciones.

En el caso particular del parque edificado español echamos en falta información específica sobre sus fachadas, con datos técnicos detallados y contextualizados, para mejorar los trabajos de mantenimiento y renovación. En España no existe un registro donde consultar información relevante para la adecuada gestión del patrimonio edificado, como las características constructivas de las fachadas existentes, su estado de conservación o su comportamiento energético. El objetivo de este trabajo es desarrollar una colección de fichas con información específica sobre los sistemas constructivos más utilizados en las fachadas del parque edificado español, que pueda contribuir a la implementación de una base de datos operativa, integradora y abierta como herramienta para realizar una gestión sostenible de los edificios existentes. Las

fichas han sido diseñadas para sistematizar la recopilación de información asociada a cada sistema, recogiendo sus principales características, propensión a lesiones y capacidad de mejora, y para facilitar su operatividad. Para ello, hemos recopilado, codificado y caracterizado la información relativa a los sistemas constructivos identificados como los más usados en las fachadas existentes en España, considerando su vulnerabilidad y requerimientos funcionales (9). La colección de fichas y la información complementaria generada (Anexos) constituyen un repositorio de información, relacionado de forma directa con una colección de fichas realizadas en paralelo con información exhaustiva sobre las lesiones más habituales que presentan las fachadas, favoreciendo sinergias entre los datos de ambos repositorios. Consideramos que este enfoque holístico aumenta la potencial contribución de la información generada para mejorar el conocimiento general del patrimonio edificado, constituyendo un valor diferencial de este repositorio respecto a trabajos anteriores.

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto “Robótica autónoma para inspección y evaluación de edificios existentes con integración BIM” (18) (en adelante, ROBIM), presentado en la siguiente sección que sirve también para contextualizar el trabajo realizado con relación a otros anteriores. En la sección 3 se detalla la metodología utilizada para el diseño y desarrollo de las fichas. El resultado del trabajo de codificación de las fachadas y el modelo de fichas diseñado se presentan en la sección 4. La sección 5 discute la contribución de la documentación generada, sus posibles aplicaciones y limitaciones. Por último, la sección 6 presenta las conclusiones y plantea futuras líneas de investigación.

2. ANTECEDENTES Y MARCO DE TRABAJO

2.1. El proyecto ROBIM

El proyecto de investigación industrial y de desarrollo experimental ROBIM en el que se enmarca este trabajo, financiado en convocatoria CIEN¹, ha sido llevado a cabo entre 2017-2020. ROBIM abordaba el desarrollo de una tecnología automatizada para la inspección y diagnóstico de fachadas, parte de la envolvente difícilmente accesible con medios tradicionales. El sistema de inspección desarrollado se basa en dos tecnologías claves: el uso de un sistema robótico autónomo, para automatizar el proceso de recopilación de datos, y el uso de la metodología de trabajo colaborativa BIM (del inglés *Building Information Modeling*), para generar un modelo digital de cada fachada objeto de inspección que integre la información recopilada. La utilización de estas tecnologías en el ámbito de la construcción está alineada con iniciativas de la UE para promover su adopción por parte del sector y aprovechar su enorme potencial (19). En particular, BIM podría mejorar las operaciones de mantenimiento de edificios (20) y, para ello, ROBIM ha abordado el desarrollo de bases de

datos interoperables que permitan aprovechar la capacidad de BIM para integrar datos de distinta naturaleza, contribuyendo además al conocimiento del parque edificado.

El trabajo que aquí se presenta resulta de la cooperación entre investigadores y profesionales expertos participantes en ROBIM, lo que ha permitido establecer un lenguaje común para codificar y elaborar tanto las fichas de sistemas constructivos aquí presentadas como otras de lesiones habituales desarrolladas en paralelo. Compartiendo la visión de Ornelas et al. (17) respecto a que sólo con un enfoque integrado se pueden plantear intervenciones adecuadas en edificios existentes, consideramos que esta colección de fichas aporta información con un valor añadido por formar parte de un trabajo más amplio.

2.2. Las tipologías constructivas de fachada

La fachada de los edificios, como todo elemento constructivo, cuenta con prestaciones técnicas específicas e incorpora un importante conjunto de exigencias funcionales que determinan su “Función Constructiva” (7). Cada posible variante de fachada constituye una tipología constructiva, caracterizada por soluciones técnicas específicas (6) y con unas determinadas prestaciones asociadas. Constructivamente, los paramentos ciegos de las fachadas están constituidos por materiales diversos, dispuestos generalmente en varias hojas, con una hoja principal -hoja soporte- de mayor espesor. Esta hoja puede quedar vista hacia el exterior o incorporar diversos revestimientos, proporcionando a las fachadas determinadas propiedades estéticas y resistentes. Las fachadas pueden clasificarse según su capacidad portante, distinguiendo entre las que funcionan exclusivamente como cerramiento y aquellas con función estructural. La función estructural de algunas fachadas, propia de las tipologías constructivas más tradicionales, debe tenerse en cuenta al realizar operaciones de mantenimiento y de plantear intervenciones en ellas.

En el parque edificado a nivel nacional hay una amplia variedad de tipologías constructivas de fachada, con una gran dispersión de soluciones técnicas y diferentes prestaciones asociadas. La presencia de nuevos materiales y tecnologías empleados en el diseño y ejecución de fachadas (también en la renovación de las existentes), multiplica las variantes que podemos encontrar. Conocer las características constructivas del edificio, sus prestaciones técnicas y exigencias funcionales resulta esencial al llevar a cabo operaciones de mantenimiento (17) siendo, en consecuencia, también fundamental en trabajos de renovación. En fachadas existentes, ese conocimiento previo debe incluir la detección de posibles lesiones, empleando para ello las herramientas de inspección necesarias para realizar un diagnóstico correcto. Todo ello hace que los trabajos sobre las fachadas existentes sean complejos y demanden profesionales especializados, con los medios técnicos adecuados y conocimientos específicos.

Autores como Ornelas et al. (21) han señalado la necesidad de crear inventarios y catálogos detallados con datos generales de los edificios existentes, para su efectiva gestión. Carecemos

1 El Programa Estratégico de Consorcios de Investigación Empresarial Nacional (CIEN) está impulsado por el CDTI, dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, para apoyar grandes proyectos desarrollados por agrupaciones empresariales.

actualmente de repositorios de información específicos que integren datos sobre los diversos elementos de los edificios, con detalles de sus características constructivas o del grado de cumplimiento de los estándares técnicos actuales, pero también de su estado de conservación e historial de lesiones. Pese a haber habido intentos, aún no hay ningún repositorio de información operativo que sea habitualmente utilizado por profesionales del sector y autoridades encargadas de gestionar el patrimonio edificado. Sí existen bases de datos con información general relativa a los edificios existentes (22) que manejan distintos datos estadísticos y operan a varios niveles (*e.g.* el observatorio europeo *EU Building Stock Observatory* (23), a nivel europeo, y el Instituto Nacional de Estadística (24), a nivel nacional). La UE está apremiando a los países miembros a realizar un censo completo del patrimonio edificado, incluyendo datos de su comportamiento energético (25). Consideramos, por tanto, que es inaplazable realizar este trabajo de documentación dirigido a facilitar análisis específicos de las características y el estado de las fachadas existentes, para determinar también sus riesgos (12), abordando el desarrollo de una colección de fichas que puede contribuir a generar esas bases de datos técnicos.

Existen trabajos previos que abordan el estudio del parque edificado mediante la recopilación de datos para realizar clasificaciones tipológicas. Por ejemplo, el “Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación” que realizó el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) (6), dirigido a la mejora energética de edificios residenciales (especialmente a los construidos entre 1950 y 1980), incluye una exhaustiva recopilación de información como base para proponer actuaciones de mejora adecuadas. Este documento del IVE constituye una fuente de información importante a nivel teórico y práctico, con una detallada guía de propuestas para realizar rehabilitaciones energéticas de esos edificios residenciales que incluyen medidas pasivas aplicables sobre sus fachadas. En el marco del proyecto europeo TABULA se realizó también un repositorio de información (26), codificando distintas tipologías edificatorias presentes en 13 países europeos. TABULA estudió y clasificó tipologías también de edificios residenciales, teniendo en cuenta, entre otros aspectos, el comportamiento energético del edificio (22). En el proyecto español SHERIFF se trabajó específicamente en la clasificación de fachadas, pero nuevamente enfocándose en edificios residenciales con necesidad de renovación (27), en este caso limitado a determinadas áreas de Madrid.

En las fichas de clasificación de fachadas aquí presentada se codifican específicamente los sistemas constructivos que definen distintas tipologías, identificando patrones comunes y aspectos característicos de éstas. Como diferencias fundamentales entre estas fichas y trabajos anteriores podemos destacar que:

- Contemplan un amplio abanico de tipologías constructivas al incluir fachadas de edificios de distintos usos;
- Plantean una codificación simplificada, flexible e intuitiva, y ofrecen información genérica de los paramentos de fachadas

existentes que permite identificar patrones de comportamiento asociados a cada tipología;

- Establecen una conexión directa con el CTE, para que la colección de fichas pueda servir como un instrumento de apoyo y no como una herramienta autónoma;
- Vinculan las tipologías constructivas de las fachadas con sus daños más frecuentes (lesiones habituales), en línea con lo que señalaban Ortega et al. (10).

En definitiva, las fichas realizadas recogen información dirigida a mejorar la gestión de las fachadas existentes, facilitando la elaboración de diagnósticos para su adecuado mantenimiento.

3. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LAS FICHAS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

La metodología para desarrollar las fichas de clasificación de sistemas constructivos empleados en fachadas existentes en España se planteó abordando tres aspectos conceptuales principales: (i) La interoperabilidad de las fichas, estableciendo un vínculo tanto con la normativa técnica vigente como con información externa sobre las posibles lesiones que pueden sufrir las fachadas; (ii) Su contenido, identificando las tipologías de fachada con mayor presencia en el parque edificado, codificándolas y seleccionando los datos asociados más relevantes; (iii) Su formato, persiguiendo que sean operativas y fáciles de manejar para garantizar su aplicación práctica.

3.1. Vinculación con el Código Técnico de la Edificación

La colección de fichas se concibe como un repositorio de información vinculado a la normativa vigente en España, para facilitar a los técnicos la aplicación en fachadas existentes de los requerimientos técnicos establecidos. Así, el CTE se ha utilizado como base fundamental de información para desarrollar las fichas, que emplean la terminología del CTE e incluyen información complementaria considerada de interés para los técnicos. Dentro de los múltiples documentos que integran el CTE podemos encontrar el Catálogo de Elementos Constructivos² (26) (en adelante, CEC-CTE), un documento-guía, sin carácter reglamentario, para la aplicación del CTE y que dedica una parte (sección 4.2) a las fachadas. El CEC-CTE recoge “información de las características de los materiales, de las prestaciones higrotérmicas y acústicas de los elementos constructivos genéricos”. El CEC-CTE ha sido una herramienta de apoyo clave en el planteamiento y elaboración de este trabajo, utilizándolo como base para identificar y codificar los sistemas constructivos recogidos en las fichas.

2 El CEC-CTE es un catálogo redactado en 2010 por el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la construcción, con una versión digital desarrollada por el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC) para el Ministerio de Fomento (28).

3.2. Información que aportan las fichas

La colección incluye una ficha específica para cada sistema constructivo identificado, llevando asignado un código alfanumérico y una breve descripción de su configuración. El código sigue el esquema Fn₁.A.n₂ y permite tanto clasificar los sistemas constructivos como relacionar las fichas con el CEC-CTE. Cada uno de los caracteres del código aporta la siguiente información:

- Fn₁: Corresponde al código utilizado en el CEC-CTE para identificar los sistemas constructivos empleados en fachada. El uso de esta misma nomenclatura en las fichas elaboradas permite vincular ambos documentos (ver Tabla 1).
- A: Aporta información sobre el material utilizado en la hoja soporte del sistema constructivo. Este código alfabético establece una relación indirecta con el CEC-CTE, garantizan-

do la correspondencia entre ambos (los materiales que el CEC-CTE identifica con una combinación de letras utilizan aquí un único carácter, de la A a la L).

- n₂: Aporta información sobre el revestimiento de la fachada, identificando cuatro tipos como los más habituales (codificados del 0 al 3). Aporta información adicional a la incluida en el CEC-CTE, aunque relacionada con los datos del CTE sobre formatos y sistemas de colocación de revestimientos de fachada.

La colección incluye algunas variaciones respecto al CEC-CTE, planteadas considerando la funcionalidad de las fichas como herramienta de apoyo a la inspección de las fachadas (ver Sección 2). Así, los sistemas del CEC-CTE “F14-Fachadas de paneles industrializados de GRC”, “F15-Fachada de entramado estructural de madera” y “F16- Muro cortina” no han sido incluidos en esta colección. Mientras que el sistema F14, poco utilizado en el parque edificado de cierta antigüe-

Tabla 1. Codificación de las fichas: Información aportada por el código Fn1.A.n2.

Carácter Fn1 Información del 'Sistema constructivo'			Carácter A Información de la 'Hoja soporte'			Carácter n2 Información del 'Revestimiento'		
Sub-cód.	CEC-CTE	Descripción del sistema S/C: sin cámara; n.v.: no ventilada	Sub-cód.	CEC-CTE	Material	Sub-cód.	CEC-CTE	Tipo
F1	F1	Fábrica vista, S/C o con cámara de aire n.v., aislamiento por el interior	A	LC	Ladrillo cerámico	0	-	Sin revestimiento
F2	F2	Fábrica vista, con cámara de aire v., aislamiento por el interior	B	BH	Bloque de hormigón o bloque de picón	1	-	Revoco
F3	F3	Fábrica con revestimiento continuo, S/C o con cámara de aire n.v., aislamiento por el interior	C	LHO	Ladrillo de hormigón	2	-	Elementos adheridos
F4	F4	Fábrica con revestimiento continuo, S/C y aislamiento por el exterior *	D	BC	Bloque cerámico aligerado	3	-	Elementos fijados mecánicamente
F5	F5	Fábrica con revestimiento continuo, con cámara de aire v., aislamiento por el interior	E	PH-M	Panel industrializado de H macizo			
F6	F6	Fábrica con revestimiento discontinuo, S/C o con cámara de aire n.v., aislamiento por el interior	F	PH-A	Panel industrializado de H aligerado EPS			
F7	F7	Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire v., aislamiento por el interior	G	H-M	Hormigón in situ macizo			
F8	F8	Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire v., aislamiento por el exterior	H	H-AL	Hormigón in situ aligerado EPS o XPS			
F9	F9	Fachada de fábrica con revestimiento continuo	I	SL	Subestructura ligera			
F10	F10	Revestimiento ligero y cámara de aire v.	J	PS	Panel tipo sándwich			
F11	F11	Panel sándwich con alma aislante, n.v.	K	-	Adobe			
F12	F12	Paneles prefabricados de hormigón, n.v.	L	-	Piedra			
F13	F13	Muro de hormigón visto armado in situ, n.v.						
F20	-	Fábrica con revoco exterior, S/C y sin aislamiento						
F21	-	Fábrica vista (distintos materiales), S/C o con cámara n.v. y sin aislamiento						

(*) NOTA: El CEC-CTE, que indica en la descripción “sin cámara o con cámara de aire no ventilada (n.v.)”, no incluye ningún sistema F4 con cámara de aire.

dad, se ha integrado en fichas correspondientes a sistemas industrializados (F10.I.3 o F11.J.O, según su configuración), los sistemas F15 y F16 no se incluyen en la colección de fichas debido, respectivamente, a su escasa presencia en edificios existentes y a la singularidad de las lesiones que presentan. Las fichas incorporan sistemas constructivos (siete, en total) –clasificados bajo los códigos F20 y F21– que a pesar de ser muy habituales en edificios existentes de cierta antigüedad no están recogidos en el CEC-CTE por no cumplir las exigencias técnicas actuales. La antigüedad y carencias técnicas de estos sistemas convierten a las fachadas donde los encontramos en especialmente vulnerables, con presencia habitual de lesiones más o menos graves, y en ineficientes desde el punto de vista energético, siendo su renovación una prioridad.

La información sobre cada sistema constructivo recogida en las fichas es de doble naturaleza:

- Información técnica general (IF1), para identificar el sistema constructivo empleado y realizar una aproximación a sus características generales, problemáticas más comunes, etc.
- Información técnica específica (IF2), para conocer las prestaciones técnicas asociadas a cada tipología constructiva, sus características físicas, etc.

Para recopilar toda la información (IF1 y IF2) se han utilizado otras fuentes documentales y bases de datos reconocidas además del CEC-CTE. El instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña – ITeC, institución de referencia en el sector de la construcción por su labor de difusión de información tecnológica, ha sido una fuente fundamental para este trabajo. Podemos destacar el uso de su ‘Banco de Precios’ (incluido en la plataforma BEDEC, que integra bases de datos con información sobre productos de la construcción) para elaborar la información relativa a algunas prestaciones (e.g. coste) que incluyen las fichas. La otra fuente de información clave ha sido el programa informático CE3X (y la versión de 2015 de su manual de usuario), desarrollado para la obtención de la calificación energética de edificios existente (29). Además, para la recopilación de características específicas de materiales y de información sobre sus prestaciones técnicas (información tipo IF2), se han consultado estándares y fichas técnicas de los propios productos. Otros datos técnicos e información adicional incluida en las fichas proceden de la literatura científica y de la propia experiencia profesional de los autores y participantes en ROBIM. El conocimiento adquirido mediante la práctica profesional ha sido esencial para generar la información más cualitativa (e.g. generalidades), que, si bien cuenta con mayor grado de subjetividad, resulta de gran valor a la hora de aplicar las fichas a la práctica y de aportar conocimiento sobre fachadas existentes.

3.3. Diseño y estructura de las fichas

El modo de sistematizar y presentar la información sobre cada sistema constructivo se consideró una cuestión fundamental desde el inicio del trabajo. El diseño definitivo responde al tipo de información recopilada (IF1 y IF2), adaptándose

a la distinta naturaleza de los datos incluidos. Tiene también presente las necesidades de los técnicos, persiguiendo la usabilidad y facilidad de lectura de las fichas. Así, cada ficha se compone de tres partes (sub-fichas), que combinan datos de tipo IF1 y IF2, recopilados en una serie de bloques que articulan cada sub-ficha. El conjunto de las tres sub-fichas permite identificar las fachadas construidas con el sistema constructivo descrito, conocer las características generales, particularidades y problemas asociados a cada tipología constructiva, incorporando también información sobre sus posibilidades de mejora. El resultado obtenido es una completa colección de fichas de sistemas constructivos y tres anexos con información adicional, como detalla la siguiente sección.

4. FICHAS DE CLASIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE FACHADA

La colección desarrollada³ contiene 47 fichas, correspondientes a los 47 sistemas constructivos más frecuentemente empleados en las fachadas del parque edificado español; tres Anexos (I, II y III) aportan información complementaria. La colección de fichas incorpora una primera ‘ficha Máster’, que sirve como índice y guía, aportando información sobre la nomenclatura y codificación utilizada para identificar cada sistema constructivo (ver Figura 1). Los Anexos aportan información sobre: (I) Lesiones que pueden presentar las tipologías, estableciendo una relación con la colección de fichas de lesiones desarrolladas en ROBIM (ver Sección 2.1); (II) Datos cuantitativos sobre prestaciones incluidas en cada ficha; (III) Características físicas de distintos revestimientos exteriores que podemos encontrar en las tipologías de fachada descritas.

Nº ficha	CÓDIGO F _n (- CEC-CTE)	IDENTIFICACIÓN (breve descripción del sistema constructivo)	CÓDIGO A (Hoja soporte)	CÓDIGO n ₂ (Revestimiento)	CÓDIGO FINAL (Ficha)	CÓDIGO DE FACHADAS EN CEC-CTE	DESCRIPCIÓN DE FACHADAS EN CEC-CTE
1	F 1	FABRICA VISTA DE LADRILLO CERÁMICO, sin cámara o con cámara no ventilada, y aislamiento interior	A	0	F1.A.0	F1.1, F1.2, F1.3, F1.4, F1.5, F1.6, F1.9, F1.10, F1.11, F1.12, F1.13	FÁBRICA VISTA, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior
2		FABRICA VISTA DE BLOQUE DE HORMIGÓN, sin cámara o con cámara no ventilada, y aislamiento interior	B	0	F1.B.0	F1.14, F1.15, F1.16, F1.17	
3		FABRICA VISTA DE LADRILLO DE HORMIGÓN, sin cámara o con cámara no ventilada, y aislamiento interior	C	0	F1.C.0		

Información que vincula cada ficha con el CEC-CTE

Figura 1. Información incluida en el documento ‘Máster’ (ejemplo: fichas F1).

4.1. Modelo de ficha: formato e información incluida

4.1.1. Sub-ficha 1 (SF1)

La primera parte de cada ficha permite identificar el sistema constructivo, ofreciendo una idea general de su comportamiento y vulnerabilidades mediante información articulada en los siguientes cinco bloques independientes (ver Figura 2): (SF1.1) Encabezado, con el nombre y código del sistema constructivo; (SF1.2) Esquema del núcleo del sistema cons-

3 Disponible para su consulta en el repositorio web HARVARD Dataverse-se. Enlace: <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/NIFT46>

tractivo y Prestaciones; (SF1.3) Imágenes de edificios⁴ construidos con sistema descrito; (SF1.4) Generalidades, es decir, rasgos comunes entre las fachadas de la tipología descrita que puedan constituir un rasgo diferenciador (e.g. Uso de los edificios, referencias geográficas, etc.); (SF1.5) Lesiones habituales, con mayor incidencia, asociadas a la tipología. Este último bloque establece una relación con las fichas de lesiones desarrolladas en paralelo a las de sistemas constructivos (ver Sección 2.1) para acceder a información detallada sobre ellas. Respecto a las cinco prestaciones incluidas en el bloque SF1.2, éstas muestran información sobre el ‘Coste’ de la solución constructiva, el nivel de ‘Mantenimiento’ requerido, la ‘Resistencia térmica’ del cerramiento, su ‘Capacidad de mejora’ realizando una intervención integral y el ‘Potencial de sustitución’ mediante intervenciones puntuales sobre partes de la fachada que presenten daños.

gía descrita y el SF2.3 incluye información complementaria, para un mayor conocimiento de sus aspectos constructivos (e.g. particularidades constructivas, irregularidades, etc.).

4.1.3. Sub-ficha 3 (SF3)

Esta tercera parte de la ficha aporta detalles sobre las características físicas de las fachadas que responden a la tipología descrita y otros datos relevantes que conviene tener en cuenta de cara a su mantenimiento. La información se presenta en los siguientes cuatro bloques independientes (ver Figura 4): (SF3.1) Características físicas; (SF3.2) Otras características; (SF3.3) Geometría y condiciones de contorno; (SF3.4) Retos y limitaciones. El bloque SF3.1 presenta datos sobre el comportamiento físico de las fachadas, incluyendo los parámetros seleccionados para caracterizar físicamente los sistemas constructivos. El SF3.2 aporta información relevante para la intervención sobre las fachadas, indicando tanto posibilidades de mejora y/o sustitución como información complementaria de interés para trabajos de inspección y diagnóstico. El SF3.3 identifica patrones comunes relativos a la geometría y condiciones de contorno de fachadas de la tipología descrita. El último bloque, SF3.4, señala posibles retos asociados al sistema constructivo, relevantes al realizar una inspección o al intervenir en esa tipología de fachada.

Formato de la SF1 (Sub-ficha 1) que incluye:

- NOMBRE:** F_{n1}-A_{n1}-n₂ (SF1.1)
- NÚCLEO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO** y **PRESTACIONES** (SF1.2):

Tipo de cámara:	<input type="checkbox"/> No tiene	COSTE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> No ventilada (convencional)	MANTENIMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Ventilada	TÉRMICA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aislamiento:	<input type="checkbox"/> No tiene	CAPACIDAD DE MEJORA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Al exterior de la hoja soporte	CAPACIDAD DE SUSTITUCIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Al interior de la hoja soporte					
- EJEMPLOS DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS:** (SF1.3)
- GENERALIDADES** (SF1.4)
- LESIONES TÍPICAS ASOCIADAS AL SISTEMA CONSTRUCTIVO:** (SF1.5)

Figura 2. Formato de la SF1.

4.1.2. Sub-ficha 2 (SF2)

La segunda parte de las fichas permite conocer la configuración y principales aspectos constructivos de la tipología descrita, articulando la información en los siguientes tres bloques complementarios (ver Figura 3): (SF2.1) Detalle tipo; (SF2.2) Configuración del sistema constructivo; (SF2.3) Descripción del sistema constructivo. El SF2.1 incorpora una sección esquemática del paramento, el SF2.2 está diseñado para describir las configuraciones más habituales que podemos encontrar en los sistemas constructivos propios de la tipolo-

Formato de la SF2 (Sub-ficha 2) que incluye:

- DETALLES TIPO:** (SF2.1)
 - Figura 2. F_{n1}-A_{n1}-n₂ sin cámara de aire
 - Figura 3. F_{n1}-A_{n1}-n₂ con cámara de aire no ventilada
- CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO:** (SF2.2)

Exterior ↑	Material / Elemento	Continuidad	Descripción	E: espesor (mm)
				Mínimo Máximo
RE Revestimiento exterior	<input type="checkbox"/> Soporte visto	<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D		
	<input type="checkbox"/> Material amorfo			
	<input type="checkbox"/> Elemento adherido			
	<input type="checkbox"/> Elemento adosado			
	(Fijación mecánica) NOTA ¹ : [C] Fachada de Superficie CONTINUA [D] Fachada de Superficie DISCONTINUA			
HP Hoja principal	<input type="checkbox"/> Revestimiento intermedio			
C+AT Núcleo	<input type="checkbox"/> Cámara de aire			
	<input type="checkbox"/> Aislamiento térmico			
HI ² Hoja interior	<input type="checkbox"/> Trasdado tradicional Fábrica de ladrillo hueco [E=70 mm]	<input type="checkbox"/> Trasdado junta seca Placa de yeso laminado [E<15 mm]	<input type="checkbox"/> Otros E.g. Fábrica de bloque	
RI ² Revestimiento interior	<input type="checkbox"/> Enfoscado Guarnecido Cemento o Pasta de yeso [E=15 mm]	<input type="checkbox"/> Alicatado E.g. Baldosa de Gres [E=10 mm]	<input type="checkbox"/> Otros E.g. Estuco	
Interior ↓	NOTA ² : La Hoja interior [HI] y el Revestimiento interior [RI] no se consideran una característica propia de cada uno de los sistemas constructivos; pueden darse distintas combinaciones de elementos y materiales, independientemente del			
- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO:** (SF2.3)

Figura 3. Formato de la SF2.

4.2. Propiedades de la colección de fichas e información adicional

La colección de fichas desarrollada constituye un repositorio de información sobre fachadas existentes que puede integrarse en bases de datos interoperables con información complementaria, habiendo sido concebidas para ser adaptadas a

4 La mayor parte de las imágenes incluidas, de edificios construidos o en fase de obra, proceden del archivo de TPF Getinsa Euroestudios S.L. En caso de no disponer de ejemplos, las fichas incluyen imágenes publicadas on-line, sin propiedad intelectual.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
Material / Elemento	ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	C_p (J/kg K)	μ (Factor, Ø)	R_c (N/mm ²)	U (W/m ² K)
Ext. ↑ RE 0 Soporte visto	X	X	X	X	X	X
HP A FÁBRICA DE LADRILLO CERÁMICO [L-C]	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X
HP B Enfoscado de mortero	X	X	X	X	X	X
C + AT C Cámara de aire	—	—	—	X	—	X
	X	X	—	X	X	X
AT B Aislamiento térmico	X	X	—	X	X	X
HI Fábrika de ladrillo hueco [LH]	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X
RI Placa de yeso laminado [Y]	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X
RI Enlucido yeso + pintura	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X
RI Alicatado	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X
Int. ↓ T TOTAL Sistema (mm) ...						X

MAGNITUDES → ρ : Densidad | λ : Conductividad térmica | C_p : Calor específico | μ : Resistencia al vapor de agua | R_c : Resistencia a compresión | U: Transmitancia térmica

SF3.1

SF3.2

SF3.3

SF3.4

Figura 4. Formato de la SF3.

formatos digitales (en BIM, por ejemplo), con las siguientes propiedades:

- Manejables y prácticas: El diseño de las fichas y su organización persigue que las distintas capas de información sean fáciles de entender. Además, la estructura de las fichas permite comparar de manera sencilla las características y prestaciones de las distintas tipologías constructivas de fachadas.
- Contextualizadas: La información está adaptada a la realidad del patrimonio edificado español. Para ello, la selección de tipologías se ha apoyado en estudios previos sobre características y evolución de las fachadas. La selección de datos de las fichas se basa en la normativa técnica vigente, aportando éstas una información que ayuda a su aplicación.
- Holísticas: Las fichas incorporan información adicional que puede ser relevante para analizar la relación entre la fachada y el resto del edificio, o de éste con su entorno. Además de las características técnicas de cada sistema constructivo, clave para intervenir en las fachadas, las fichas aportan información para un estudio global del parque edificado. Al relacionar las tipologías constructivas de fachada con sus lesiones más habituales, las fichas facilitan su detección y su diagnóstico.
- Adaptables: La colección se plantea como un ‘documento vivo’, con información abierta, para favorecer la incorporación de datos adicionales sobre los sistemas incluidos o su ampliación con nuevos sistemas constructivos.

La información recogida en las fichas se completa con la incluida en los tres Anexos señalados. El Anexo I incluye información adicional sobre las lesiones más relevantes asociadas a cada sistema constructivo (indicadas en el bloque SF1.4). Una matriz pone en relación los sistemas constructivos descritos en las fichas (filas) con las lesiones que pueden presentar (columnas), indicando su frecuencia de aparición y gravedad. El Anexo II presenta información adicional sobre las prestaciones incluidas en el bloque SF1.2 de cada ficha y el procedimiento para su cuantificación. El Anexo III amplía la información de las características físicas y térmicas de los cerramientos, incluyendo datos específicos de los revestimientos exteriores más habituales empleados en fachadas de edificios existentes. Se incluyen distintas soluciones de ‘Fábrica vista’ (código 0); de ‘Revestimiento continuo’ (código 1), como distintos revocos y pinturas; y de ‘Revestimiento por elementos’, colocados adheridos al soporte (código 2) o anclados mediante elementos auxiliares (código 3). De los materiales considerados más habituales se incluye información de los siguientes parámetros físicos: Espesor (mm), Rugosidad (escala propia) y Resistencia a compresión (N/mm²).

5. DISCUSIÓN

5.1. Conocimiento sobre el parque edificado

Recopilar datos sobre edificios existentes que aporten información de aspectos técnicos determinantes en su comportamiento sigue siendo un reto. Para obtener información precisa sobre las características y lesiones de edificios existentes se han empleado tradicionalmente técnicas destructivas que requieren de la demolición o sustitución de partes de éstos para conocer sus principios estructurales, puentes térmicos, estado de conservación de sus elementos o patologías de sus fachadas (4). Junto a la propia complejidad de los edificios, la diversidad y fragmentación que caracteriza a la industria de la construcción (30), ha dificultado la generación sistemática de información sobre el patrimonio edificado. El desarrollo de bases de datos colaborativas, como la aquí planteada, permitiría establecer relaciones entre elementos constructivos del edificio, parámetros técnicos y sus prestaciones. Este trabajo se ha abordado adoptando un modelo de generación conocimiento DIKW (del inglés *data-information-knowledge-wisdom*), que plantea una relación secuencial entre datos, información, conocimiento y saber (22).

Evaluar el comportamiento de un edificio existente, valorar sus prestaciones y cómo repercuten esos aspectos en su calidad constructiva no es una tarea sencilla ni hay consenso entre los expertos respecto a cómo realizarlo (31). Ferraz et al. (32) proponían desarrollar un sistema de inspección informatizado para mejorar los diagnósticos y poder adoptar decisiones informadas al intervenir en edificios. Ortega et al. (10) apuntaban la necesidad de desarrollar guías de apoyo para mejorar el mantenimiento de edificios y prevenir lesiones, prolongando su durabilidad. También Bortolini & Forcada (33) han señalado la importancia de obtener información sobre los daños (grietas, humedades, etc.), indicando su severidad en los diagnósticos. Los expertos sí coinciden, por tanto,

en que recopilar los datos adecuados para transformarlos en información relevante es fundamental para la correcta toma de decisiones de diseño.

Muchos autores coinciden también en la importancia que esta información tiene para un mejor control económico de los trabajos sobre edificios existentes (*e.g.* (34)), señalando la incertidumbre financiera como una de las principales barreras para acometer renovaciones. De hecho, los expertos en conservación de edificios que participaron en el estudio Delphi realizado también en el marco de ROBIM (35), señalaban como una importante limitación en estos trabajos la escasa disponibilidad de información en la práctica, dificultando también el control económico. Disponer, por ejemplo, de datos fiables sobre el comportamiento energético de los edificios, vinculados a aspectos particulares como su estado de conservación, facilitaría una toma de decisiones adaptada a cada caso y el control de la inversión. La toma de decisiones adecuada en cualquier actuación sobre edificios existentes requiere entonces de información completa, precisa y pertinente, recopilada y analizada con un enfoque amplio e integral. A lo largo de su vida útil, los edificios establecen relaciones con sus usuarios y con su entorno que resultan determinantes para su evolución y comportamiento, debiendo ser también consideradas (21). El análisis conjunto de datos relativos a aspectos técnicos intrínsecos y extrínsecos al edificio permitiría una mejor planificación de las operaciones de mantenimiento, incluyendo la aplicación de medidas correctoras necesarias para cada caso particular. El intercambio de información es, por tanto, esencial para que los edificios sean usados y mantenidos según sus necesidades, garantizando también la adecuación de los diseños al renovarlos (33).

Siendo cada edificio único y presentando problemas diferentes, es posible identificar patrones de comportamiento comunes en edificios con similares características (32), generando conocimiento sobre el parque edificado. La coherencia en la recopilación de los datos e integración de toda información relevante sobre los edificios, cubriendo su ciclo de vida completo, resulta clave para la UE de cara a mejorar la gestión del parque edificado, generar sinergias y mejorar el intercambio de información (15). El DBL impulsado por la UE (ver Sección 1) aborda la creación de un repositorio único de información sobre el patrimonio construido, planteando la necesidad de un enfoque sistemático en la organización y actualización de la información (15). Compartiendo ese planteamiento, la información generada mediante el desarrollo de las fichas aquí presentadas pretende contribuir al conocimiento sobre un elemento como la fachada, clave para la gestión del parque edificado, de sus características, prestaciones y vulnerabilidades asociadas a las distintas tipologías constructivas. La colección de fichas persigue también aportar información relevante sobre las lesiones más habituales y severas que afectan a fachadas existentes, dado que buena parte de las lesiones no estructurales que presentan los edificios podrían resolverse de una manera sistemática (32).

La información sobre las tipologías constructivas de fachada recogida en las fichas puede ser empleada entonces por los

técnicos como guía para recopilar los datos necesarios para caracterizar las fachadas, emitir diagnósticos sobre su estado y estimar su comportamiento energético. Pueden utilizarse, por ejemplo, para una caracterización térmica de las fachadas más fiel a la realidad al utilizar programas simplificados de certificación energética de edificios (como el CE3X), evitando la selección de 'valores por defecto' para obtener resultados más afinados. El vínculo entre las fichas y el CTE favorecerá también la adaptación de las fachadas a los estándares técnicos requeridos actualmente. Un mayor control de las intervenciones, de sus beneficios y riesgos, podría servir como catalizador de renovaciones de mayor envergadura dirigidas a mejorar el comportamiento del edificio en su conjunto, influyendo directamente tanto en su valor patrimonial como en su capacidad para mejorar los entornos urbanos (12). Esta aceleración de la renovación del parque edificado, además de revalorizar los edificios, es imprescindible para cumplir los compromisos europeos en materia de clima y energía que ha de asumir el sector de la construcción.

La gestión eficiente y sostenible de los edificios existentes es necesaria para reducir los consumos energéticos y las emisiones de GEI actuales, pero también para mejorar sus prestaciones, garantizando la seguridad y el confort de sus usuarios. La gestión sostenible está directamente relacionada con lo que Rubio de Val (36) denominaba gestión «inteligente», capaz de incrementar el valor del edificio y reducir los costes de uso y mantenimiento. Esta visión estratégica permite inferir información procedente de datos de distinta naturaleza, pero que influyen entre sí, relevante para mejorar el mantenimiento del edificio. Para ello, es necesario una interacción cooperativa entre diferentes agentes implicados en el uso y explotación del edificio. Generar conocimiento mediante una comunicación e intercambio de información más fluido implica cambiar ciertas dinámicas actuales, mejorando el funcionamiento del sector de la edificación en su conjunto (15).

5.2. Limitaciones y futuros desarrollos

Las 47 fichas elaboradas permiten caracterizar las tipologías constructivas más habituales en fachadas de nuestro entorno. Establecer generalidades con relación a las fachadas construidas en España, como se ha señalado, supone un gran reto y puede ser un tanto arriesgado debido a su complejidad. Los datos aquí recogidos proceden de la información extraída de bibliografía científica, normativa vigente, bases de datos y estándares técnicos. Para abordar el desafío que supone sistematizar la información relativa a elementos constructivos tan complejos se ha tenido en cuenta también el conocimiento procedente de la experiencia trabajando en casos reales. Este conocimiento ha sido clave, por ejemplo, para determinar las 'generalidades' o prestaciones como el mantenimiento o la capacidad de mejora de cada tipología de fachada, incluidas en la SF1 (ver Sección 4.1.1). Si bien la información así obtenida cuenta con un cierto nivel de subjetividad, hemos considerado que es mayor el valor que aporta a las fichas de cara a estudiar casos reales, es decir, las fachadas en su contexto. La evaluación de una fachada puede resultar incompleta o, incluso, errónea si no se caracterizan y estudian adecuada-

mente determinados datos relativos al edificio (*e.g.* fecha de construcción o uso del edificio), a su entorno (*e.g.* condiciones climáticas o contaminación exterior) o a sus ocupantes (*e.g.* régimen de uso). Esta “ruta de información” (en inglés, “*knowledge path*”), como denominaba de Santoli (37) a ese conocimiento de todo lo que rodea al edificio, es clave para realizar diagnósticos adecuados.

Pese a haber tratado de contemplar múltiples casuísticas asociadas a cada tipología constructiva recogida en las fichas, se pueden encontrar en el parque edificado variantes de éstas capaces de alterar el comportamiento de la fachada respecto al indicado de manera genérica. Puede haber soluciones tipológicas propias de ciertas regiones geográficas y/o ciertos periodos históricos que difieran de las recogidas en este documento. El conjunto de la fachada suele contar también con elementos propios (añadidos con fines ornamentales o parte del edificio, como forjados pasantes) capaces de afectar al comportamiento general o interferir en el patrón de lesiones asociado a la tipología constructiva, generando lesiones distintas o aumentando su gravedad. Los edificios son sistemas en los que si algún elemento constructivo no funciona correctamente pueden provocar problemas en otras partes, por ejemplo, grietas en la fachada y/o filtraciones (33). Por tanto, las fichas elaboradas constituyen un punto de partida y aportan una buena base de conocimiento sobre la que trabajar, para adecuar después la información al objeto de estudio. Cada fachada particular debe ser evaluada de manera profunda para elaborar un diagnóstico que permita establecer las medidas a aplicar y, si procede, diseñar adecuadamente su renovación buscando no sólo subsanar las deficiencias detectadas sino también mejorar el comportamiento global del edificio.

La propia vinculación de las fichas con el Proyecto ROBIM podría entenderse como una limitación de este repositorio de información, planteado para dar soporte al sistema de inspección y diagnóstico de fachadas desarrollado. Las fichas de sistemas constructivos de fachada incorporan información relevante para la aplicación de la tecnología de ROBIM, como factores que pueden afectar a sus condiciones operacionales (*e.g.* accesibilidad, seguridad, etc.). No obstante, el trabajo se ha abordado de manera holística e integradora, vinculándolo a la normativa vigente para garantizar su aplicabilidad más allá de su uso con el sistema automatizado de inspección de ROBIM. Consideramos que el trabajo realizado es de interés para que investigadores y agentes del sector trabajen sobre la información desarrollada para mejorar los trabajos de inspección y diagnóstico de edificios existentes, en general. Las fichas podrían ser objeto de futuras aplicaciones e integraciones, siendo deseable que el repositorio de información, desarrollado en el ámbito académico, sea complementado y actualizado con datos procedentes de la práctica. Será importante profundizar en la relación identificada entre el estado de conservación de las fachadas y su tipología constructiva, comprobando las particularidades de las distintas tipologías de fachada sobre el terreno. Otra oportunidad sería sistematizar el diseño de operaciones de mantenimiento adaptadas a cada tipología para mejorar su efectividad, trabajando ade-

más en fomentar la agregación de proyectos para hacer los trabajos de renovación más atractivos a los inversores (38). Se podría también analizar la potencial reducción de emisiones de GEI asociada a cada tipología constructiva y su capacidad de adaptación al cambio climático, proponiendo soluciones estratégicas para mejorar la resiliencia del parque edificado y acelerar su descarbonización.

Se plantean también nuevas líneas de investigación relativas a la digitalización de la información generada. Como el DBL, el repositorio de información aquí desarrollado aspira a que la digitalización de los datos aumente su accesibilidad, pudiendo incorporar funcionalidades adicionales aplicando tecnologías digitales. Estando prevista la integración de la información generada en modelos BIM, sería deseable explorar su compatibilidad con herramientas de simulación para ampliar sus beneficios (39). La información vinculada sobre los sistemas constructivos de fachadas y sus lesiones podría integrarse en bases de datos existentes, generales (*e.g.* certificados energéticos) o propias del edificio (*e.g.* sistemas de gestión interna), para su interoperabilidad. Recomendamos profundizar en el conocimiento de los materiales y productos que componen cada sistema constructivo para generar ‘pasaportes digitales’ de materiales y actualizarlos a lo largo de su ciclo de vida. Estos pasaportes permitirían aumentar la trazabilidad en los trabajos del sector de la construcción, mejorando el flujo de información para guiar a los usuarios, equipos de mantenimiento o autoridades, contribuyendo a una conservación y renovación sostenible de los edificios.

6. CONCLUSIONES

El trabajo presentado en este artículo aporta información relevante sobre los sistemas constructivos más utilizados en las fachadas de edificios del parque edificado español. Identificados los sistemas constructivos más habituales, se han codificado y estudiado, normalizando y estandarizando los datos que permiten su caracterización. La información relativa a cada uno ha sido sistematizada y recopilada en fichas diseñadas para mostrar de una manera genérica sus componentes principales, particularidades y prestaciones asociadas. Se ha generado un repositorio con información clave para estudiar y evaluar un elemento del edificio tan importante como es la fachada, mejorando con ello el conocimiento del parque edificado. Existen patrones de comportamiento vinculados a cada tipología constructiva de fachadas. La información incluida en las fichas relativa a la propensión a lesiones de las fachadas según su tipología, puede ser muy valiosa a la hora de inspeccionar y realizar un diagnóstico del estado de las fachadas. Así, la colección de fichas resultante constituye una buena fuente de información para trabajos de conservación y mejora de las fachadas existentes.

La información generada se recopila en 47 fichas de tipologías constructivas de fachada y tres Anexos. Contextualizadas en el ámbito geográfico español, las fichas han sido diseñadas para ser prácticas y manejables, recopilando datos vinculados a la normativa vigente. Concebida la colección con un carácter abierto y adaptable, la recopilación de datos se ha realizado con un enfoque holístico, estableciendo relaciones

con aspectos no directamente vinculados a la fachada. Consideramos este enfoque clave para abordar, a partir de la colección de fichas, el desarrollo de una amplia base de datos sobre fachadas existentes, que contribuya al conocimiento y la gestión sostenible del parque edificado. De hecho, en paralelo a las fichas sobre tipologías constructivas de fachada se ha desarrollado otra colección, ambas en el marco del proyecto ROBIM, con información detallada de las lesiones más habituales, generando sinergias entre ellas. Así, toda esta información contribuye a entender el comportamiento de las fachadas existentes y a conocer sus vulnerabilidades para poder anticiparse a sus problemas.

La información se ha elaborado pensando en su digitalización e integración en modelos BIM, lo que supone una oportunidad para futuros desarrollos. Esto podría, por ejemplo, fomentar la creación de modelos BIM de edificios existentes y que sean cada vez más completos, para tener un mejor control de las operaciones realizadas sobre ellos. Tal y como apuntan las últimas iniciativas legislativas y estratégicas europeas, la generalización del uso de la metodología BIM en el patrimonio arquitectónico permitiría recoger toda la documentación vinculada a los edificios en modelos virtuales

tridimensionales, con datos permanentemente actualizados sobre su estado de conservación y comportamiento (energético, por ejemplo), para llevar a cabo la gestión sostenible de los edificios. Mediante el desarrollo de las posibles líneas de investigación planteadas, el estudio realizado podría servir como punto de partida para una recopilación de datos colaborativa y más precisa, que contribuiría a superar las barreras actuales de información que encuentra el sector de la construcción. De este modo, se facilitaría también el control económico de las actuaciones sobre edificios existentes para impulsar su necesaria renovación, adaptando los edificios a los estándares actuales y contribuyendo al cumplimiento de los compromisos climáticos establecidos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación “Robótica autónoma para inspección y evaluación de edificios existentes con integración BIM”, ROBIM, financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, a través del Programa Estratégico CIEN (00093139).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Economidou, M.; Atanasiu, B.; Despret, C.; Maio, J.; Nolte, I.; Rapf, O.; Laustsen, J.; Ruysssevelt, P.; Staniaszek, D.; Strong, D. (2011). *Europe's buildings under the microscope* (BPIE ed.). Recuperado de https://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf
- (2) Ardente, F.; Beccali, M.; Cellura, M.; Mistretta, M. (2011). Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit actions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 460-470. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.022>.
- (3) Ferreira, J.; Pinheiro, M.D.; Brito, J.D. (2013). Refurbishment decision support tools review—Energy and life cycle as key aspects to sustainable refurbishment projects. *Energy Policy*, 62, 1453-1460. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.082>.
- (4) Jensen, P.; Maslesa, E.; Brinkø Berg, J. (2018). Sustainable Building Renovation: Proposals for a Research Agenda. *Sustainability*, 10(12), 4677. <https://doi.org/10.3390/su10124677>.
- (5) Volt, J.; Dorizas, V. (2018). *Policy innovation for building renovation*. Recuperado de http://bpie.eu/wp-content/uploads/2019/01/BPIX-Briefing_Final-1.pdf.
- (6) Instituto Valenciano de la Edificación, (IVE) (2011). *Catálogo de Soluciones Constructivas de Rehabilitación*. Recuperado de <https://www.five.es/tienda-ive/catalogo-de-soluciones-constructivas-de-rehabilitacion/>.
- (7) Monjo Carrió, J. (2007). Durabilidad vs Vulnerabilidad. *Informes de la Construcción*, 59(507), 43-58. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/531/606>.
- (8) Konstantinou, T.; Knaack, U. (2013). An approach to integrate energy efficiency upgrade into refurbishment design process, applied in two case-study buildings in Northern European climate. *Energy & Buildings*, 59, 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.023>.
- (9) ISO. (2019). *ISO 15392:2019 Sustainability in buildings and civil engineering works — General principles*. ISO/TC 59/SC 17
- (10) Ortega, L.; Serrano-Lanzarote, B.; Fran-Bretones, J.M^a. (2015). Identificación de procesos patológicos más frecuentes en fachadas y cubiertas en España a partir del método Delphi. *Informes de la Construcción*, 67(537). <https://doi.org/10.3989/ic.13.144>.
- (11) Alkhatib, H.; Lemarchand, P.; Norton, B.; O'Sullivan, D.T.J. (2020). Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation and daylighting: A review. *Applied Thermal Engineering*, 185, 116331. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116331>.
- (12) Häkkinen, T. (2012). Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls. *Construction and Building Materials*, 37, 783-790. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.084>.
- (13) ISO. (2011). *ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets. Service life planning. Part 1: General principles and framework*. ISO/TC 59/SC 14.
- (14) Volt, J.; Zuhair, S.; Schmatzberger, S.; Toth, Z. (2020). *Energy Performance Certificates- Assessing their status and potential*. Recuperado de <https://www.bpie.eu/publication/energy-performance-certificates-in-europe-assessing-their-status-and-potential/>.

- (15) European Commission. (2020). *Definition of the digital building logbook*. Recuperado de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cacf9ee6-06ba-11eb-a511-01aa75ed71a1>
- (16) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC. (2020). *Código Técnico de la Edificación. CTE*. Recuperado de www.codigotecnico.org.
- (17) Ornelas, C.; Guedes, J.M.; Breda-Vázquez, I. (2016). The role of a systematic analysis of building codes to support an assessment methodology for built heritage. *Taylor & Francis Group*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10216/117631>.
- (18) ROBIM (2017). *ROBÓTICA AUTÓNOMA PARA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE EDIFICIOS EXISTENTES CON INTEGRACIÓN BIM*. Recuperado de <http://www.robim.es/>
- (19) Valencia Institute of Building (IVE) (2018). Benefits of BIM and its level of adoption in European countries. *Build Up*. Recuperado de <http://www.buildup.eu/en/node/56441>.
- (20) European Commission. (2020). *Circular economy - Principles for buildings design*. Recuperado de <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984>.
- (21) Ornelas, C.; Miranda Guedes, J.; Sousa, F.; Breda-Vázquez, I. (2020). Supporting Residential Built Heritage Rehabilitation through an Integrated Assessment. *International Journal of Architectural Heritage*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1712496>.
- (22) Sesana, M.M.; Rivallain, M.; Salvalai, G. (2020). Overview of the Available Knowledge for the Data Model Definition of a Building Renovation Passport for Non-Residential Buildings: The ALDREN Project Experience. *Sustainability*, 12(2), 642. <https://doi.org/10.3390/su12020642>.
- (23) European Commission (2021). *EU Building Stock Observatory*. Recuperado de https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-bso_en.
- (24) Instituto Nacional de Estadística, (INE). (2021). *INEbase. Industria, energía y construcción*. Recuperado de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735576757.
- (25) Resolución del Consejo de 12 de febrero de 2001 sobre la calidad arquitectónica en el entorno urbano y rural (2001/C 73/04), (2001). Recuperado de [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001G0306\(03\)&from=ES](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001G0306(03)&from=ES).
- (26) TABULA (2016). *National Building Typologies*. Recuperado de <https://episcope.eu/building-typology/>.
- (27) Cuerda, E.; Pérez, M.; Neila, J. (2014). Facade typologies as a tool for selecting refurbishment measures for the Spanish residential building stock. *Energy and Buildings*, 76, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.054>.
- (28) Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC) (2011). Ministerio de Fomento. Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Recuperado de <https://itec.cat/cec/Pages/BusquedaSC.aspx>.
- (29) EFINOVATIC, Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) (2015). Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE3X. Recuperado de <https://certific.es/descargar-ce3x-version-2.1.html>.
- (30) European Commission (2016). *Commission staff working document. Impact assessment*. Recuperado de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_impact_assessment_part1_v3.pdf.
- (31) Maslesa, E.; Jensen, P.A.; Birkved, M. (2018). Indicators for quantifying environmental building performance: A systematic literature review. *Journal of Building Engineering*, 19, 552-560. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.06.006>.
- (32) Ferraz, G.T.; de Brito, J.; de Freitas, V.P.; Silvestre, J.D. (2016). State-of-the-Art Review of Building Inspection Systems. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(5), 4016018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000839](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000839).
- (33) Bortolini, R.; Forcada, N. (2020). Operational Performance Indicators and Causality Analysis for Non-Residential Buildings. *Informes de la Construcción*, 72(557), 333. <https://doi.org/10.3989/ic.67792>.
- (34) Ma, Z.; Cooper, P.; Daly, D.; Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55, 889-902. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>.
- (35) Jiménez-Pulido, C.; Jiménez-Rivero, A.; García-Navarro, J. (2020). Sustainable management of the building stock: A Delphi study as a decision-support tool for improved inspections. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102184. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102184>.
- (36) Rubio de Val, J. (2015). Potencial del nuevo marco normativo para el impulso de la rehabilitación y la regeneración urbana en los ámbitos autonómico y local. *Informes de la Construcción*, 67 (Extra-1), m023. <https://doi.org/10.3989/ic.14.072>.
- (37) de Santoli, L. (2015). Guidelines on energy efficiency of cultural heritage. *Energy and Buildings*, 86, 534-540. [https://doi.org/ https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.050](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.050).
- (38) EuroACE (2018). *A guide to the implementation of the amended Energy performance of buildings directive (EPBD) 2018*. Recuperado de <https://euroace.org/wp-content/uploads/2018/11/EuroACE-Guide-to-EPBD-Implementation-web-version.pdf>.
- (39) Nielsen, A.N.; Jensen, R.L.; Larsen, T.S.; Nissen, S.B. (2016). Early stage decision support for sustainable building renovation – A review. *Building and Environment*, 103, 165-181. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.009>.