

Hacia una normalización del sistema de cartografiado de lesiones en fábricas históricas

Towards a standardisation of damage mapping system in historic buildings

M. Palma Crespo 

D. Vicente Sánchez 

M. Guillem González-Blanch 

D. Sanz Arauz 

F. L. del Blanco García 

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. m.palma@upm.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

diego.vicente.sanchez@alumnos.upm.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. maria.guillem@upm.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. david.sanz.arauz@upm.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

federicoluis.delblanco@upm.es

Autor de contacto: m.palma@upm.es

RESUMEN

El proyecto de conservación y/o restauración del patrimonio arquitectónico requiere detallados estudios previos que permitan conocer en profundidad el edificio antes de plantear la intervención. Entre ellos, el estudio patológico, para poder establecer el diagnóstico y con ello el tratamiento posterior, es uno de los fundamentales. La representación gráfica del estado patológico del edificio facilitará la comprensión de los daños que lo afectan y su alcance. Ante la falta de una normativa que unifique el sistema de representación en proyectos e informes, el artículo propone una metodología y un sistema gráfico codificado para la realización del cartografiado de lesiones, asignando simultáneamente un criterio cromático y descriptivo a cada grupo de daños. El procedimiento, que mejora la lectura del estado patológico del edificio, pretende optimizar el trabajo de todos los agentes implicados en el proceso de restauración.

Palabras clave: cartografiado de lesiones; documentación; diagnóstico; representación gráfica; estudios previos; proyecto de restauración.

ABSTRACT

Conservation and restoration of architectural heritage require detailed preliminary studies that provide in-depth knowledge of the building before planning the intervention. Among these, pathological analysis is essential for establishing an accurate diagnosis and subsequent treatment. The graphical representation of the building's pathological state will aid in the understanding of the damage and its extent. Considering the lack of standardized representation criteria for projects and reports, the article proposes a methodology and a coded graphic system for damage mapping, which simultaneously assigns a color and a pattern to each group of damages. The procedure, which improves the comprehension of the disease processes of the building, aims to streamline the work of all agents involved in the restoration process.

Keywords: damage mapping; documentation; diagnosis; graphic representation; previous studies; restoration project.

Cómo citar este artículo/Citation: Milagros Palma Crespo, Diego Vicente Sánchez, María Guillem González-Blanch, David Sanz Arauz y Federico Luis del Blanco García (2025). Hacia una normalización del sistema de cartografiado de lesiones en fábricas históricas. *Informes de la Construcción*, 77 (579): 7218. <https://doi.org/10.3989/ic.7218>

Copyright: © 2025 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: 23/01/2025
Aceptado/Accepted: 12/09/2025
Publicado on-line/Published on-line: 01/12/2025

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El proyecto de conservación y/o restauración del patrimonio arquitectónico exige un cuidadoso estudio preliminar que permita conocer exhaustivamente el edificio con el objeto de proponer una intervención adecuada. Entre los estudios previos, el conocimiento del estado patológico del inmueble es indispensable para establecer el diagnóstico y el posterior tratamiento.

Como define la norma UNE 41805-1 [1:5], el diagnóstico es el “estudio previo a una intervención que consiste en la identificación de las lesiones o daños y de sus causas, la evaluación de la funcionalidad y seguridad de la unidad constructiva en estudio y de la posible evolución de esos daños”.

La descripción correcta de las lesiones, su representación gráfica y su localización en los planos del edificio deben facilitar el entendimiento de la degradación de las fábricas y permitir la propuesta de soluciones correctas, así como proporcionar un fácil método para la medición de las zonas a tratar y consecuentemente la aplicación de tratamientos.

Actualmente no existe ninguna norma gráfica en España que tenga valor normativo en cuanto a la representación del estado patológico de un edificio. La grafía varía de unos proyectos a otros, pudiendo inducir a la confusión o difícil interpretación a todos los actores que intervienen tanto en la redacción, como en la supervisión o puesta en obra de un proyecto de intervención en el patrimonio o un informe diagnóstico, además de multiplicar el tiempo de dedicación para cada trabajo al no existir una simbología común que se pueda aplicar a todos los casos.

Surge, por tanto, la necesidad de establecer un sistema de representación unificado de las lesiones más comunes que afectan a los materiales y las fábricas históricas, permitiendo de este modo un lenguaje común a los proyectos de restauración y/o conservación del patrimonio arquitectónico, que facilitaría con ello la comprensión y alcance de los daños, así como su posterior tratamiento. Solamente el conocimiento completo y exhaustivo del edificio a intervenir nos permitirá la elección de la terapéutica adecuada.

El principal objetivo de esta investigación es, por tanto, establecer un lenguaje codificado, un sistema de representación gráfica adecuado para las lesiones de un edificio, tanto de daños en los sistemas constructivos y estructurales como en los diversos materiales, con el propósito de facilitar su representación en la redacción de proyectos e informes de intervención en el patrimonio arquitectónico, así como en la interpretación y comprensión del edificio.

Dadas las diferentes características de las fábricas históricas, donde la envolvente exterior constituye la misma estructura, respecto a las actuales, donde los sistemas se han ido complejizando con múltiples capas y una diferenciación entre la envolvente y el soporte, el sistema se establece solamente para las primeras, generalmente constituidas por muros de carga de piedra, tapia, ladrillo o mixtos.

El primer paso para que el modelo propuesto en este trabajo tenga alguna utilidad será una posible normalización y estandarización, por medio de normativa específica de rango UNE, EN-UNE, o ISO, que sería complementaria a la ya existente sobre representación de lesiones en la madera [2].

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

La documentación que se debe incluir en los proyectos de restauración viene regulada por la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público [3], que en su título II, capítulo I, Del contrato de obras, art. 233, precisa la inclusión de los informes y estudios previos necesarios, sin detallar cuales, teniendo, en el caso de los proyectos de intervención en el patrimonio, una particular relevancia.

Hay que dirigirse a las normativas específicas sobre patrimonio cultural para encontrar instrucciones sobre la documentación, tanto escrita como gráfica, que deben incluir los proyectos de restauración y/o conservación de los edificios. Solamente las normativas o recomendaciones más recientes, entre las que se incluyen las cartas de restauración o las leyes de patrimonio de las comunidades autónomas, establecen indicaciones, siempre de manera general, sobre la información que deben incluir dichos proyectos. La Ley de Patrimonio Histórico Español (1985) no establece los requerimientos del proyecto, que sí se incluyen en el borrador (2021), que en su artículo 39 bis, especifica el contenido del mismo, en el que como mínimo se debería incluir una diagnosis del estado y la documentación gráfica del estado inicial y final.

Las leyes de patrimonio de las comunidades autónomas de Castilla-La Mancha (2013) y de Valencia (1998) especifican que, el proyecto debe describir el estado de conservación del edificio estableciendo las causas de su deterioro o deficiencias. Sin embargo, otras leyes como la andaluza (2007), la extremeña (1993) o la de La Rioja (2004) hablan de incluir un diagnóstico del estado con los problemas detectados, a los que se añade el pronóstico por parte de la Ley canaria (2019). Más específica es la Ley del Patrimonio Cultural de Galicia (2016) donde se establece que para el estudio del bien se deben llevar a cabo análisis previos físicos, químicos o biológicos, así como fichas de diagnosis de su estado de conservación, y la documentación gráfica de todo el proceso. En la misma línea, la Ley asturiana (2001) además de solicitar la diagnosis, requiere la inclusión de la documentación gráfica de los estudios previos. Otras normativas como la Ley de Patrimonio Cultural de Castilla y León (2002) solamente advierte que se debe procurar el máximo estudio y conocimiento del bien, insistiendo tanto la Ley catalana (1993) como la de Navarra (2005) en el conocimiento del estado actual.

Respecto a las recomendaciones y normativas internacionales, aunque ya la Carta de Venecia (1964) reclama la participación de todas las ciencias y las técnicas que puedan contribuir al estudio del patrimonio monumental, no es hasta la Carta de Cracovia (2000), en su artículo tercero, cuando se alude al proyecto de restauración, estableciendo su base sobre un profundo conocimiento del edificio, en el que además de los estudios de valores históricos, artísticos y socioculturales, se incide en los estudios estructurales, análisis gráficos y de magnitudes, aunque sin especificar, en estos últimos casos, el tipo de ellos [4].

Actualmente no existe ninguna instrucción o normativa en España que indique como realizar la cartografía de daños en los edificios, a excepción de una norma para estructuras de madera, la norma UNE 41808, Sistema de representación gráfica del estado constructivo de las estructuras de madera existentes [2], que establece el modo de representar una lesión y su clasificación. Para establecer el diagnóstico completo propone la realización de una serie de planos: estado general, singularidades, degradaciones y lesiones constructivas y/o estructurales de la madera. En la representación del estado general se establecen unos códigos de color para diferenciar el estado de conservación de los distintos elementos que componen la estructura, divididos en cinco grados, que van desde los daños leves hasta los graves incluyendo los elementos no inspeccionados y los nuevos. Las singularidades de la madera, las degradaciones y las lesiones constructivas y estructurales se representan, sin embargo, mediante tramas, que se asemejan en todo lo posible a la lesión que describen, aunque cada una en un color. Cuando existe más de un tipo de lesión se utilizan iconos con múltiples recuadros donde se explican los distintos daños. Por último, para la representación en plano, se propone una línea que delimita el área afectada, de grosor diverso según la gravedad de la lesión: leve, moderado y grave.

En Italia la norma UNI 11182-2006, Beni culturali: Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni [5], para la degradación de materiales pétreos naturales y artificiales, que sustituye, amplía y pone al día la Raccomandazione Nor.Ma.L. 1/88 del Istituto Centrale del Restauro [6] para materiales pétreos, establece una nomenclatura estandarizada y compartida para materiales pétreos naturales (rocas) y artificiales (morteros, estucos, productos cerámicos, ladrillo, etc.).

La citada norma propone que en el proyecto de restauración se expresen gráfica y fotográficamente las degradaciones que afectan al edificio, con el fin de establecer un correcto diagnóstico y la intervención adecuada. La norma proporciona los términos y la descripción para indicar las diversas formas de alteración para materiales pétreos naturales y artificiales. Pretende que las lesiones que afectan a las fábricas y a sus materiales se expresen con un lenguaje codificado y compartido que permita a todos los agentes que intervienen en el proceso de restauración (proyectistas, químicos, geólogos, restauradores, agentes de la administración...) entender inequívocamente la manifestación de los daños. Para ello establece un sistema de tramas con varios colores que identifican las distintas lesiones.

Para encontrar otros sistemas de representación del estado patológico del edificio hay que indagar en la bibliografía existente o en diversos proyectos de restauración y/o conservación realizados por algunos técnicos. Asimismo, existen varios ejemplos en la literatura sobre los documentos necesarios y la forma de realizar la cartografía de lesiones de una edificación.

Delgado [7] plantea el estudio de los patrones de alteración en la fase de diagnóstico para describir y caracterizar los mecanismos de deterioro, así como para identificar las causas responsables de la degradación, siendo ambos elementos esenciales para estudiar las necesidades de conservación y planificar las intervenciones. Ello implica la realización de una cartografía de daños que refleje las lesiones y su alcance, base para establecer y planificar las intervenciones en el edificio. Esta cartografía de daños se convierte en una herramienta muy útil para establecer “una síntesis entre el trabajo de laboratorio y el trabajo de campo, ayudando a transformar los datos de la investigación en fundamentos prácticos que promoverán las adecuadas acciones de conservación” [7:271].

En su libro *Restauro dei monumenti. Guida agli elaborati grafici* [8], donde especifica y explica con ilustraciones los distintos documentos de los que debe constar un proyecto de restauración, Carbonara propone cartografiar en planos diferentes, tanto en planta como en alzado, el cuadro fisurativo, la humedad y la degradación de los materiales, todo ello apoyado en un cuidadoso levantamiento geométrico arquitectónico y fotográfico. Para mostrar los daños propone diversas tramas que se asemejan a las lesiones que representan.

Bellanca [9] se remonta a la norma italiana (2006), anteriormente comentada, e incide en el particular cuidado que hay que tener para la normalización de la representación gráfica, codificada en la normativa. Esta representación en la que se incluirán todas las deformaciones y deterioros que sufre el edificio debe comenzarse por un análisis previo con todo el tipo de recursos posibles, como medidores de humedad, flexímetros y fisurómetros entre otros, que nos ayudarán a comprender y explicar el estado del edificio.

Dalla Negra y Nuzzo [10] plantean el levantamiento del estado edificio, que debe ser “una representación fiel y real del edificio completo”, sobre las bases del levantamiento arquitectónico y las ortofotos. Al igual que Carbonara, plantean realizar un levantamiento específico del cuadro fisurativo, tanto en planta como en alzado, al que adjuntan el levantamiento de daños. Para evitar dividir en varias representaciones problemáticas correlativas, en la cartografía de daños se representan tanto los materiales, en distintos colores, como las degradaciones y alteraciones, encarnadas por tramas, que se toman de la norma UNI 11182-2006. A esto se añaden los tratamientos por zonas, que se indican mediante una simbología, detallando toda la información suministrada sobre plano en una tabla adjunta, que organiza toda la información de forma correlativa: materiales, fenómenos de alteración, las causas de éstos y la intervención propuesta.

En particular, para la representación de las grietas en fábricas y particiones, Ortega Andrade [11] elabora un código de representación tanto en alzado como en planta. Para la grafía de la lesión en alzado o sección, basta precisar la forma de la grieta o fisura e indicar su inclinación con el ángulo que forma con la horizontal. Esta misma grieta se representa en planta con una flecha que traspasa el muro a la inclinación indicada. La punta de la flecha marca el sentido de la parte superior de la grieta y el principio la parte inferior de la misma, recogiendo la extensión exacta mediante cotas, tanto en vertical como en horizontal.

Son más numerosos los casos que se refieren a la representación de lesiones en un solo material, y en particular a la piedra. Ya el ICOMOS implantó una terminología común para describir los

patrones comunes de deterioro en este material [12], y son varios los autores que han intentado establecer una terminología adecuada para describirla y plasmarla en forma de mapa.

Fitzner y Heinrichs [13, 14] desarrollan un método de cartografía de daños para monumentos en piedra, ensayado en numerosos monumentos en Alemania y otros países, que permite un registro cuantitativo, documentación y evaluación de edificios completos, así como las piezas de piedra individualmente de acuerdo a su naturaleza. “El estado de deterioro de un monumento de piedra se caracteriza por el tipo, la intensidad y la extensión de los daños. Estos se pueden registrar por diferentes métodos y grados de precisión” [13: 124]. Como paso previo a esta cartografía se realiza el mapeo donde se identifican los distintos tipos de piedra.

En primer lugar, establecen un esquema de clasificación de los fenómenos de alteración que dividen en cuatro grupos: “pérdida de material pétreo, depósitos, separación del material pétreo y fisuras y deformación”. Estos a su vez se subdividen en otros dos niveles en base a las formas de alteración. Incluso establecen un cuarto nivel usando el parámetro de la intensidad de alteración. La metodología propuesta permite escoger entre “una modalidad general o detallada de mapeo” según el nivel de diferenciación del esquema de clasificación elegido [13: 129].

Las categorías de daños se establecen definiendo las distintas lesiones y su gradación, e implantando cinco grados de deterioro. Para determinar la magnitud de la degradación utilizan la misma trama elegida para identificar la lesión, pero con diferente intensidad o compactación, o bien una gradación del color, en el caso que se emplee éste. Se plantea así una cartografía de lesiones en la que cada una muestra su magnitud, para terminar con un mapa del edificio con los distintos grados de intensidad del daño en el conjunto de lesiones y para cada tipo de erosión/lesión. Para combinación de lesiones emplean la superposición de tramas.

Delgado [7] establece un sistema particular para señalar los daños en piedra, no extrapolable a fábricas de ladrillo, mampostería o revestimientos. Esto se debe a la imposibilidad de marcar cada elemento a causa de su tamaño o bien de su continuidad en el caso de revestimientos, así como de señalar el mortero de juntas, más siendo este procedimiento adecuado en el caso de edificios como el acueducto de Segovia, modelo al que se remite, con sillares dispuestos a hueso. Así establece un sistema que ya lleva implícito el grado de deterioro en función del tipo de acción a acometer, de cara a que los contratistas de la obra sepan que grado de intervención tienen que llevar a cabo. Para ello marca cada pieza con un punto que según su color indica la prioridad de actuación. En otros casos que indica, representa unidades homogéneas, en cuanto a morfología, problemas de deterioro y necesidades de conservación que engloba una determinada área de actuación, con indicación numérica de la prioridad.

Otros autores formulan diversos modos de representación, siendo el sistema más aceptado el mapeado mediante color y/o grafía. Álvarez y Esbert [15], proponen un sistema de cartografía de materiales por colores para distinguir los tipos de rocas, y una misma trama a puntos con varias tonalidades para las distintas degradaciones, excepto las grietas que marcan con una línea continua, quizás algo confuso a la hora de identificar las lesiones en la piedra. Similar sistema presenta Martínez-Monedero [16] identificando los “estados de conservación” mediante tramas coloreadas, que diferencia de la falta de piezas o disgregaciones del material con otra grafía que incorpora diverso color según el tipo de elemento: cornisa, tambor, capitel, etc. Esta cartografía la aplica sobre las fases histórico-constructivas marcadas con distintas coloraciones. Más sencillo, en el caso particular de poca diversidad de daños, es la representación de éstos mediante un color sólido, como establecen Ramos, Durán, Sebastian y Sáez [17].

3. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LAS LESIONES DE UN EDIFICIO

Con el fin de realizar una cartografía de daños que sirva para establecer el diagnóstico del edificio, hay que llevar a cabo una serie de estudios previos a todo proyecto de restauración y/o conservación, indispensables para conocer su comportamiento estructural y constructivo, y por tanto identificar las lesiones y degradaciones que le afectan.

Según Carbonara [8] se pueden establecer tres fases en todo proyecto de restauración: investigación, análisis histórico-crítico y proyecto. Dentro de la fase de investigación, fundamental es el análisis de la degradación, que Bellanca [9:181] establece como una fase más del proyecto de restauración, que nos permitirá establecer el diagnóstico, y que a su vez se debe sustentar en una profunda investigación, en muchos casos común a la investigación histórica y urbanística del edificio. Estos estudios deben completar y apoyar la inspección visual realizada contrastando y completando la información obtenida.

La investigación diagnóstica debería cumplir una serie de fases:

3.1. Investigación histórica y ambiental

La investigación bibliográfica y archivística recoge los documentos que permiten establecer la tipología y composición, técnicas constructivas, tipo y orígenes de los materiales de construcción, así como la evolución histórico-constructiva del edificio. Entre ellas:

- a. Análisis de fotografías antiguas, planos y proyectos de anteriores restauraciones, con el objeto de identificar los cambios sufridos por el monumento que puedan haber sido origen de alguna lesión. Asimismo, el estudio de la evolución del edificio en la cartografía histórica urbana puede proporcionar datos sobre añadidos, cambios y estratificaciones en el mismo.
- b. Datos sobre el mantenimiento periódico realizado o sucesos como incendios, terremotos, etc., que hayan podido perjudicar al inmueble.
- c. Información sobre la climatología, emplazamiento y condiciones ambientales, como la contaminación, que puedan afectar al comportamiento de materiales y/o estructuras.

3.2. Levantamiento planimétrico y fotográfico

Se debe disponer de una planimetría cuidada que proporcione datos precisos que puedan orientar y documentar fallos en el edificio, como desplomes, asentamientos o uniones entre fábricas distintas. Ésta debe comprender un levantamiento gráfico y fotográfico, que se puede completar con una representación en 3D.

a. Levantamiento métrico.

El levantamiento debe realizarse midiendo, dibujando, verificando y confrontando todos los datos obtenidos, siguiendo un “verdadero método filológico” [18: 186]. Éste, además de contrastar la forma geométrica, debe recoger datos constructivos, estructurales e históricos. Constituye un “proceso de abstracción y selección que requiere de un análisis previo que establezca jerarquías en los elementos a representar y la definición de los códigos con los que se realizará” [19: 36]. El levantamiento en restauración es un medio esencial para la recuperación del edificio, al representar de manera fidedigna su estado actual, con sus lesiones y faltas, lo que permitirá una lectura apropiada y crítica para su recuperación y/o conservación. Se basará, por tanto, en “una interpretación de la realidad construida” analizando “los datos obtenidos para poder extraer los aspectos fundamentales que se deseen plasmar en la documentación” [20: 2]. Debe constar de plantas, alzados y secciones del inmueble, donde se deben recoger de manera detallada todas las discontinuidades, lesiones, desplomes u otros elementos capaces de representarse gráficamente y que expliquen el estado de este.

Asimismo, los datos de la geometría tridimensional real permitirán analizar las lesiones debidas a un deficiente comportamiento estructural como deformaciones, movimientos y giros [20: 4].

b. Levantamiento fotográfico y 3D.

El levantamiento de edificios históricos mediante nubes de puntos permite documentar de forma precisa y detallada la geometría, los materiales y el estado de conservación de construcciones patrimoniales. Utilizando tecnologías como el escáner láser y la fotogrametría, se generan representaciones bidimensionales y tridimensionales exactas de las estructuras, capturando tanto las características arquitectónicas como las lesiones presentes.

El escáner láser utiliza pulsos de luz para medir distancias con alta precisión, produciendo millones de puntos que conforman una nube detallada del edificio. Por otro lado, la fotogrametría transforma imágenes en modelos 3D mediante algoritmos de reconstrucción, permitiendo un levantamiento complementario que incluye texturas y colores.

Estas nubes de puntos se convierten en una herramienta fundamental para el mapeado de lesiones, ya que permiten identificar grietas, deformaciones, desprendimientos y otros daños estructurales. Además, la alta resolución de los datos facilita el análisis de los daños del edificio, ayudando a planificar intervenciones de conservación y restauración de manera precisa y eficiente [21].

En conjunto, el uso de nubes de puntos ofrece una representación digital fiel del patrimonio construido, garantizando su documentación y análisis.

c. Secciones y detalles constructivos.

Previamente al cartografiado de lesiones, es necesario realizar un estudio e identificación de los sistemas constructivos que conforman la edificación. Para ello se completará el levantamiento gráfico, que debe expresar la forma de la construcción, con una representación de fábricas, suelos y techos (con proyección de los mismos sobre la planta, en el caso de bóvedas, forjados de madera, etc.), que indiquen y representen el tipo de estructura con todos sus elementos. Se completará la información con la realización de secciones de detalles constructivos en aquellos puntos más significativos, como cimentación y arranque desde el terreno, paso de forjados o encuentros con cubierta, que nos puedan orientar por su disposición o ejecución en la formación de algún tipo de lesión.

3.3. Inspección visual

Inspección visual e investigación “in situ” de lesiones y tipos de materiales.

3.4. Cartografiado de materiales

Para completar la fase anterior y previo al cartografiado de lesiones es necesario realizar un estudio del estado y tipo de los materiales que componen la edificación. El estudio y localización de diversos materiales y fábricas es fundamental para la identificación de lesiones, ya que su diferente composición o estructura puede producir daños en la edificación, o fisuras que en algunos casos pueden no ser efecto de un movimiento, sino debidas a un diferente comportamiento higrotérmico.

Con la ayuda de todo tipo de análisis de laboratorio sobre materiales, que permitirán conocer su composición y estado, y el empleo de ensayos no destructivos, como endoscopía, ultrasonidos, termografías o termohigrómetros entre otros, se podría establecer de manera más precisa, por un lado, el tipo de materiales y su situación, y por otro el alcance de las lesiones, muchas de ellas no visibles por tamaño o por estar ocultas.

La expresión de todo este conocimiento se concretará en una cartografía de materiales sobre la planimetría del edificio, tanto en planta, como sección y alzado. Si existen diversos tipos, por ejemplo, de fábricas u otro sistema constructivo, sería necesario establecer un cuadro con todas las diversidades indicando materiales, aparejos, juntas, módulos, etc. [8: 15], ya que su diferente comportamiento higrotérmico puede ser generador de lesiones.

En el caso de haber realizado algún tipo de ensayo o análisis sobre materiales y sistemas constructivos sería necesario su localización sobre la planimetría.

3.5. Levantamiento de fases histórico-constructivas

Todo edificio histórico está formado por una serie de estratificaciones producto de las transformaciones, agregaciones y eliminaciones sufridas a lo largo de su vida. La aplicación de la metodología estratigráfica arqueológica al estudio de las fábricas históricas es esencial para un conocimiento profundo del edificio, documentando las distintas fases del mismo a través del estudio e interpretación tanto de sus materiales como de las técnicas constructivas [22: 147], lo que permitirá la elaboración de un correcto diagnóstico.

La representación tanto en planta, como en alzado y sección, de los periodos históricos que ha tenido una edificación, que corresponden en la mayoría de los casos a las fases constructivas de la misma, pueden informar sobre algunas lesiones, producidas en algunos casos por mal ensamble de las fábricas o materiales, demoliciones o añadidos sufridos por la construcción.

3.6. Cartografía de daños

La cartografía de daños plasma el resultado de toda la información extraída de fases previas y mediante diversos métodos, como la realización de ensayos, catas y análisis, además del estudio de todos los antecedentes históricos, climatológicos y ambientales que, unido a una detallada prospección visual, y después de un análisis crítico de la misma, nos permitirá la identificación de causas para realizar el diagnóstico preciso de los daños y con ello la elección de las medidas de conservación.

Previo a la realización de dicha cartografía se debe disponer de una clasificación de lesiones de fábricas y degradaciones de los materiales con su correspondiente descripción y expresión gráfica.

La representación de daños se realiza sobre el levantamiento gráfico, que en ocasiones puede ir acompañado de las ortofotografías respectivas. Sobre ambos se marcarán los daños y degradaciones, acompañados de una descripción de los factores de alteración que han intervenido en la aparición de los mismos. “Mediante la metodología del mapeo, se pueden registrar y documentar con precisión el tipo, la extensión, y la distribución de las piedras utilizadas y las lesiones que presentan. Este método permite registrar los fenómenos de deterioro in situ, de acuerdo con criterios objetivos y reproducibles” [13: 123].

El mapeo de daños debería ser plasmado tanto en alzados como en plantas y secciones, y conviene que vaya en paralelo a la cartografía de materiales. De esta forma los daños se localizan en relación tanto a los diversos materiales como a los sistemas estructurales que componen la construcción [19: 195]. Los daños representados delimitarán las partes degradadas y se reconocerán por medio de la leyenda o trama que la relaciona con la lesión.

Carbonara [8: 15] propone diferenciar esta representación de lesiones en varios tipos: una primera del cuadro fisurativo en plantas, secciones y alzados, que debe incluir detalles de deformaciones de fábricas, flexiones de bóvedas, diferencias entre lesiones nuevas o viejas, y elementos estables o en movimiento; un segundo levantamiento solamente de humedades; y por último otro con la degradación de los materiales, en los que se marcarían los tipos y casuísticas de la misma, como depósitos, fisuraciones, desprendimientos, alveolización, etc.

Por tanto, para la mejor comprensión del estado patológico del edificio se debe realizar, cuando el cuadro fisurativo es complejo, un levantamiento específico de las alteraciones estructurales en planta y alzado, acompañado de la representación de los elementos estructurales como muros, bóvedas, forjados y cimentaciones. Como aconsejan Dalla Negra y Nuzzo [10: 16]: “este cuadro fisurativo se debe representar siguiendo escrupulosamente la progresión de las lesiones, con el objeto de llegar a una hipótesis sobre las causas, intrínsecas o extrínsecas, que han producido el cuadro fisurativo”.

Las lesiones así representadas reflejan las condiciones de conservación de la fábrica, y son de esta forma fácilmente “cuantificables”, tanto para delimitar las áreas de intervención, como para presupuestar los trabajos de restauración [5]. La terapéutica o soluciones a aplicar se pueden concretar asimismo en un mapeo de tratamientos en función de la cartografía de lesiones.

4. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE REPRESENTACIÓN PARA UNA CARTOGRAFÍA DE LESIONES. APLICACIÓN A LA IGLESIA DE LA VERA CRUZ DE SEGOVIA

A partir del análisis de los diversos casos estudiados, así como de la bibliografía consultada, se plantea un sistema de representación gráfica para el cartografiado de lesiones en fábricas históricas, compuestas de materiales pétreos, tierra o cerámicos, donde la misma envolvente forma la estructura.

Para ello se ha representado el caso concreto de la iglesia de la Vera Cruz de Segovia (Figura 1).

Conviene remarcar que la representación de la cartografía de daños deberá recoger todos los datos obtenidos tanto en la observación directa del edificio, como en la interpretación de la investigación histórico-constructiva y ambiental, más los ensayos y análisis realizados sobre los sistemas constructivos y materiales, degradaciones y alteraciones, a veces no perceptibles a simple vista. De esta forma, la cartografía realizada expresará de la forma más completa posible el estado del edificio.

Se ha constatado que muchas cartografías de daños se limitan a representar lo que aparece en la superficie, solamente en fachadas, sin tener en cuenta las lesiones que pueden existir en el interior de las fábricas, por lo que sería necesario llevar esta representación, además de los alzados, al interior de la edificación, incluyendo la sección de la fábrica. De este modo sería conveniente, para una información más completa, señalar también los daños en secciones verticales y horizontales, incluso con cortes a varias alturas.

La interpretación de las lesiones debe realizarse de manera conjunta, por estar éstas directamente relacionadas entre ellas, evitando las lecturas parciales que no permitirían una interpretación adecuada de las causas y de la evolución de los daños.

Por tanto, es necesario establecer un lenguaje gráfico codificado y adecuado que exprese con claridad las lesiones que afectan en su conjunto a las edificaciones.



Figura 1. Ortofotografía de la iglesia de la Vera Cruz de Segovia. Alzado. Fuente: L.J. Sánchez Aparicio, DCTA, ETSAM

4.1. Sistemas constructivos y materiales

La identificación de las lesiones se debe realizar tanto para los sistemas constructivos como para los diversos elementos materiales que los componen, por lo que el cartografiado de daños se realiza sobre un previo cartografiado de materiales y sistemas, o bien en dos representaciones contiguas que faciliten la interpretación.

En algunos casos será necesario establecer una diferenciación entre fábricas y zonas singulares (ornamentales) arquitectónicas en piedra (o ladrillo), que necesiten para su definición concreta una distinta escala, aportando los detalles que sean necesarios con diferentes escalas de aproximación.

Se establece un color con trama sólida que identifica cada material, con una tonalidad que se asemeje con su color real y lo identifique fácilmente (RAL). En el caso de piedras de distinta morfología, tipo o cantera, cuando fuese necesario distinguirlas, se marcarían con el mismo color en distintos tonos (Figura 2).



Plano de materiales (e 1:200)








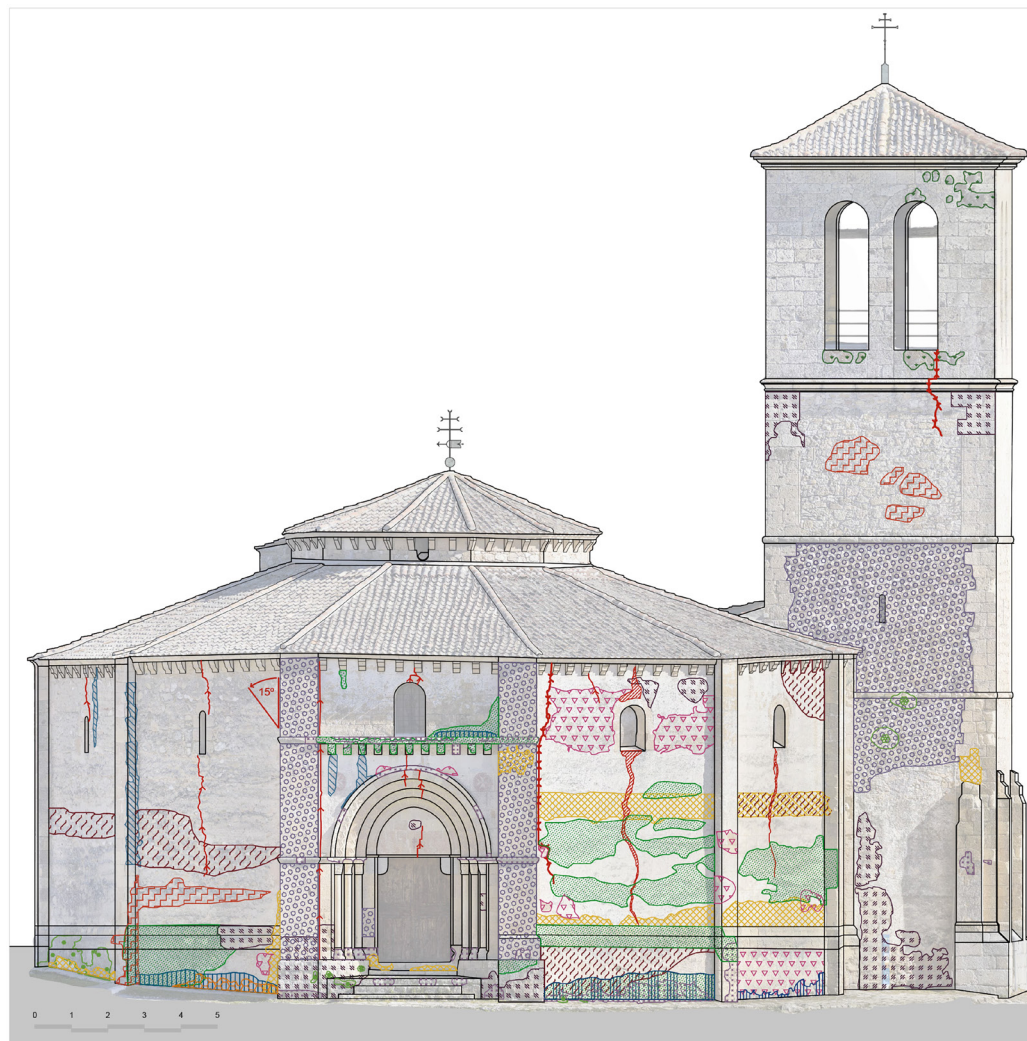
MATERIALES	(RAL)		
	Piedra	7036	 Mortero de yeso 1013
	Cerámico	2000	 Tapia 1020
	Madera	8012	 Metal 5003
	Mortero de cal	1016	

Figura 2. Iglesia de la Vera Cruz. Alzado. Cartografía de materiales. Fuente: Elaboración propia sobre ortofotografía.

4.2. Formas de alteración. Trama de daños

Lo primero para analizar las formas de alteración es establecer un sistema de clasificación de éstas. Se hace una categorización por sistemas constructivos y por materiales, que engloba lesiones generales para facilitar la lectura de planos. Se ha seguido, en su mayor parte, la denominación de daños establecida por el ICOMOS [12] en su Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra, por ser un sistema establecido, aceptado por la generalidad, y que la gran mayoría de las lesiones descritas se adaptan a todo tipo de fábricas históricas.

Se establece en primer lugar una clasificación de los daños por el aspecto que muestran, con independencia de su origen o causa que se debe determinar en el diagnóstico. Las lesiones se han dividido en cinco grupos: alteraciones estructurales, cambios morfológicos o de geometría, colonización biológica, cambios cromáticos y texturales y alteraciones debidas al agua (Figura 3).



LESIÓN	RAL	Patrón	Escala	
COLONIZACIÓN BIOLÓGICA				
Plantas superiores	6018	Dibujo	s/e	
Hongos y líquenes	6001	GRASS	0.30	
Pátina biológica	6037	DOTS	1.00	
CAMBIOS MORFOLÓGICOS O DE GEOMETRÍA				
Erosión	4007	GLASS	0.05	
Desprendimiento	4010	TRIANG	0.80	
Ausencia de material	4001	CROSS	0.60 (45°)	
Pérdida de mortero en juntas	2011	HEX	0.50 (45°)	
ALTERACIÓN DEBIDA AL AGUA				
Humedad activa	5002	ANSI 34	0.70 (45°)	
Humedad seca	5010	ANSI 31	1.00 (45°)	
Eflorescencias	5015	ANSI 31	1.50	
Lavado diferencial	5007	ANSI 31	1.00 (90°)	

LESIÓN	RAL	Patrón	Escala	
CAMBIOS CROMÁTICOS Y TEXTURALES				
Suciedad	2001	HONEY	1.00	
Costras	2000	NET 3	1.20	
Grafitis	1033	Dibujo	s/e	
Intervención inadecuada	1012	ANSI 37	1.00	
ALTERACIONES ESTRUCTURALES				
Asiento	3020	Dibujo	s/e	
Desplome	3020	Dibujo	s/e	
Pandeo	3020	Dibujo	s/e	
Grieta pasante	3020	Dibujo	s/e	
Grieta no pasante	3020	Dibujo	s/e	
Grieta reparada	3020	ANSI 33	0.60	
Fisuración	3004	FLEX	0.8	

Figura 3. Iglesia de la Vera Cruz. Alzado. Cartografía de lesiones. Fuente: Elaboración propia sobre ortofotografía.

Una vez implantada la clasificación de lesiones se asigna a cada grupo un color de trama lo más similar posible al color que define el tipo de deterioro: verde (RAL 60..) a los de origen biológico como plantas, hongos y líquenes; azul (RAL 50..) a los deterioros producidos por el agua; morado (RAL 40..) a los cambios morfológicos, volumétricos, o de geometría; y naranjas y amarillos (RAL 20.., RAL 10..) a los cambios cromáticos y texturales que afectan al aspecto exterior y textura del material, como manchas y alteraciones de color; el color rojo (RAL 30..) se asigna como color de alerta debido a la gravedad que suponen los daños estructurales a los que representa. Los colores establecidos para cada grupo de lesiones son muy diferentes entre sí y fácilmente reconocibles. A los distintos daños dentro de un mismo grupo de lesiones se asigna un color similar, pero con diferente tonalidad definida por un RAL propuesto determinado (segunda columna RAL - Figura 3 Leyenda). Estos colores son diferentes a los asignados a materiales, con el objeto de que se puedan superponer con claridad las dos cartografías, materiales y daños.

Aparte del criterio cromático establecido para cada uno de los cinco grupos de lesiones, existe dentro de cada grupo una representación gráfica distinta para cada tipo de daño, definida por una trama reconocible por los programas de dibujo asistido por ordenador (tercera columna Patrón - Figura 3 Leyenda). A las tramas de cada grupo de lesiones se les asigna un sistema de representación similar y, siempre que sea posible, semejante al tipo de deterioro para hacerlo fácilmente identificable. Por ejemplo: al grupo de colonización biológica se atribuyen grafismos similares a la vegetación; a los cambios morfológicos o de geometría, tramas geométricas (triángulos, hexágonos...); al grupo de alteraciones debidas al agua, rayas con distinta inclinación y/o proximidad; a los cambios cromáticos y texturales, mallas geométricas o icono similar al grafiti, en su caso; a las alteraciones estructurales, dibujos que se asemejan lo más posible al daño causado, como un giro con sus grados para el desplome, una línea curvada para el pandeo, una línea con flechas enfrentadas en ambas direcciones para representar la grieta pasante o en una sola dirección para la no pasante, trama de pequeñas líneas quebradas para las fisuras, etc.

Tener un color asignado para cada grupo de lesiones y, dentro de cada grupo, una tonalidad diferente y un patrón específico para cada daño o lesión permite que, al superponer las tramas por la existencia en algunos puntos de varios deterioros a la vez, se identifiquen fácilmente los grupos de lesiones y los distintos daños (Figura 3).

En un principio no se diferencian las lesiones de los sistemas constructivos y las de los distintos materiales, por entender que un daño que afecta a una fábrica o sistema concierne de igual modo al material del que está compuesto, como en el caso de colonización biológica, plantas, grafitis o grietas. Se marcarán las lesiones por elementos, exclusivamente cuando éstas afecten a una determinada pieza con gran tamaño o notoriedad por ejemplo, en elementos ornamentales o portadas realizadas en sillería (Figura 4). En fábricas ejecutadas con materiales de menor tamaño, como por ejemplo el ladrillo o fábricas de mampostería en las que el mortero se encuentra en proporciones importantes, se marcarán zonas completas debido a la dificultad de señalar cada elemento.

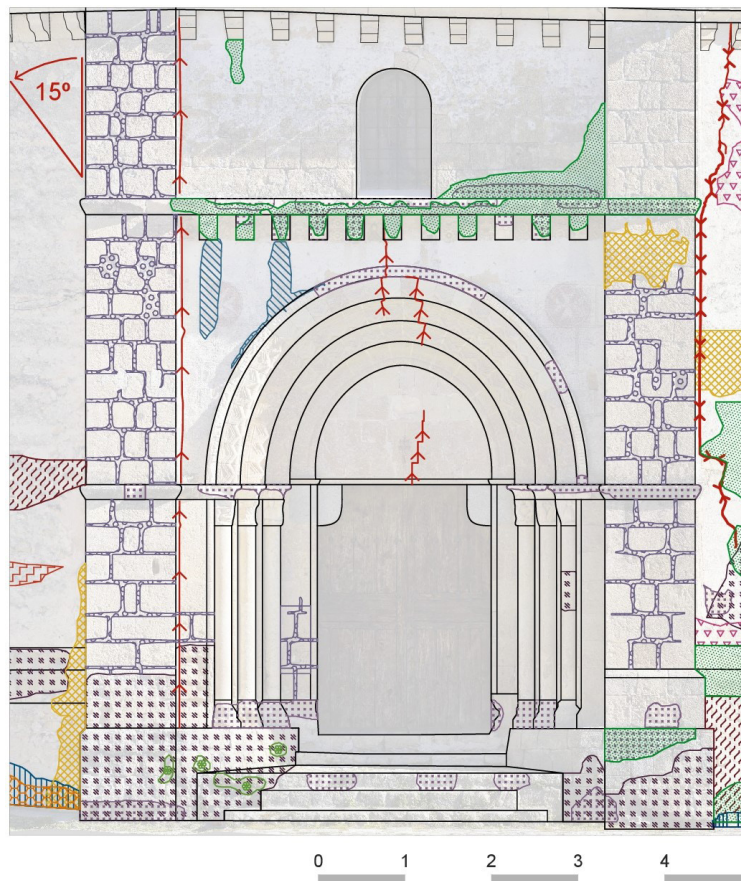


Figura 4. Iglesia de la Vera Cruz. Detalle de la portada. Cartografía de lesiones sobre ortofotografía (la leyenda gráfica se corresponde con la de la Figura 3).

De igual modo, es necesario remarcar la diferencia entre las lesiones que competen exclusivamente a los revestimientos, por ejemplo, fisuraciones, y las que afectan a las fábricas. En este último caso, será necesario para su comprensión hacer el cartografiado tanto en planta como en alzado o sección, siempre identificando en un plano guía la ubicación exacta del detalle que se aporta y su escala (Figura 5).

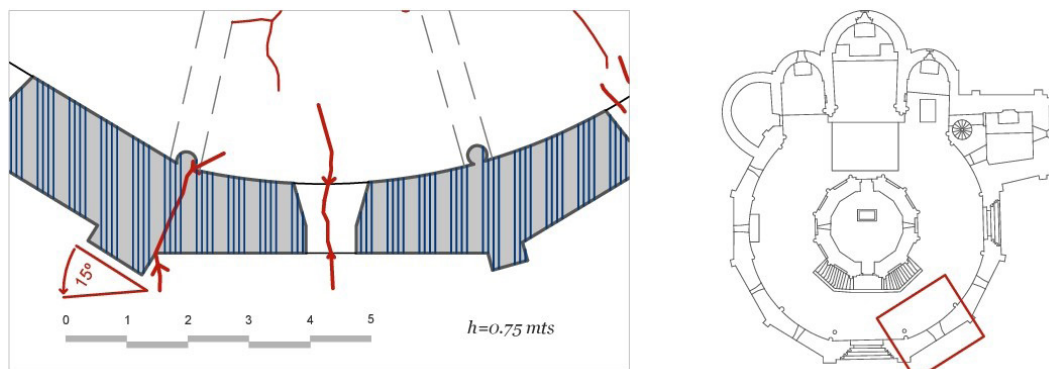


Figura 5. Iglesia de la Vera Cruz. Detalle de la representación de lesiones en planta y techo (la leyenda gráfica se corresponde con la de la Figura 3).

4.3. Planimetría y escala de representación

La leyenda se mantendrá invariable, es decir no se alterará la escala de la representación de cada trama con independencia de la escala a la que se represente la arquitectura. De esta forma aseguraremos la legibilidad de los dibujos y su fácil lectura cuando se solapen patrones diferentes. Para esto se propone una escala específica para cada trama (cuarta columna Escala - Figura 3 Leyenda), dentro del programa de dibujo asistido por ordenador (en este caso Autocad). Con este sistema se conseguirá que el grafismo de las tramas de la leyenda siempre coincida con el del dibujo, facilitando su identificación, evitando que se distorsionen los patrones llegando a ser irreconocibles en función de la escala de representación.

Los planos representan la arquitectura a diferentes escalas de aproximación, aportando diferentes niveles de detalle. Con el sistema de leyendas propuesto se puede aportar menos detalle representando por ejemplo un alzado donde se identifican los grupos de lesiones propuestos y los diferentes materiales o/y se puede aportar más información representando detalles específicos, donde se diferencien numerosos daños dentro de cada uno de los grupos de lesiones, pudiéndose solapar las tramas y representarse simultáneamente en la misma zona del edificio.

5. APLICACIÓN DEL MÉTODO EN HBIM

HBIM (Historic Building Information Modeling) es una metodología que aplica el enfoque del Building Information Modeling (BIM) a la gestión, documentación, preservación y restauración de edificios históricos y patrimoniales.

Para la elaboración del modelo HBIM de la Iglesia de la Veracruz, se han combinado herramientas digitales avanzadas de modelado 3D con la recopilación de datos mediante escaneos láser, fotogrametría y drones. El entorno HBIM permite vincular una base de datos de los daños del edificio con el modelo geométrico. El objetivo es obtener un modelo digital que represente fielmente la geometría del edificio, permitiendo el acceso a la información sobre los materiales y las condiciones estructurales [23, 24].

Desde el modelo se puede generar documentación de las lesiones (Figura 6) como se explicó en el apartado 4, ya sea directamente en el entorno HBIM o exportando la documentación a CAD. Una de las mayores ventajas de este sistema es la capacidad de acceder a la información vinculada al modelo geométrico de manera digital, ya sea desde un ordenador o en una visita al proyecto a través de tabletas u otros dispositivos portátiles.

La interoperabilidad y transformación de los datos para la representación 3D del patrimonio supone actualmente un reto debido a las limitaciones de los softwares BIM existentes y su capacidad para realizar geometrías complejas [25, 26]. Por esta razón, se ha seguido un flujo de trabajo que incluye nubes de puntos mediante escáner láser (las, e57, pts) y fotogrametría (pts, jpg, png); archivos CAD (dxf, dwg, rcs, rep); superficies NURBS (3dm, dwg, ACISsat) y HBIM (rvt, ifc, excel, ODBC, fbx).

El modelo HBIM se ha realizado en Revit, partiendo de una precisa nube de puntos. Tras obtenerla, se generó un modelo mediante superficies NURBS en Rhinoceros, que sirvió de base para el modelo HBIM, utilizando Grasshopper como puente de conexión.

En el modelo final se han incluido las diferentes unidades estratigráficas, realizando una categorización de los distintos elementos que presentan la información sobre los daños. El modelo incluye los materiales desprendidos que no están presentes en el edificio o los volúmenes de las grietas, generando negativos de estos.

De esta forma, se tiene acceso a la información de estas unidades: grietas, desprendimientos, humedades, eflorescencias, erosión, pérdida de mortero, entre otros, permitiendo hacer un seguimiento a lo largo del tiempo desde el modelo digital. Esto permite observar si una mancha ha crecido, si el volumen de material desprendido ha aumentado o si una grieta ha profundizado (Figura 6 A).

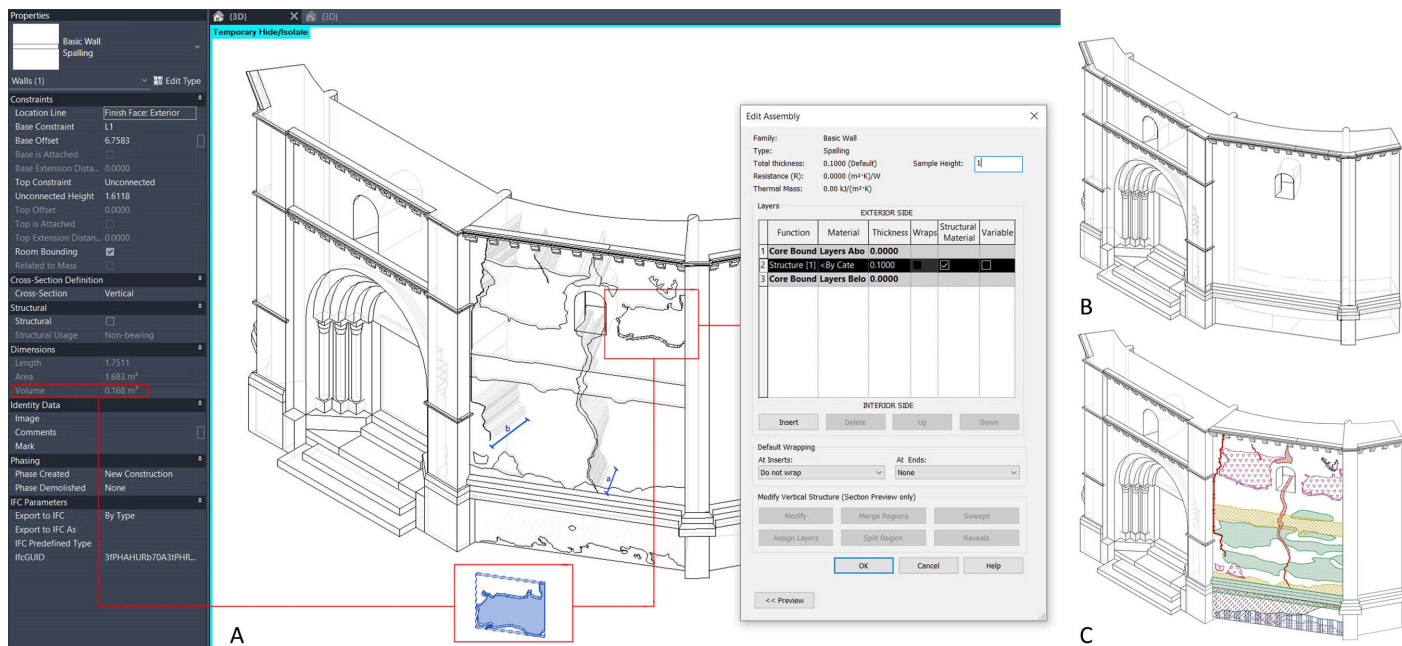


Figura 6. A) Modelo del muro oeste en HBIM con la información de los daños, cada unidad estratigráfica es editable y calculable. B) Fase 1 del modelo, sin incluir los daños. C) Modelo del muro oeste con las lesiones mapeadas (la leyenda gráfica se corresponde con la de la Figura 3)

Toda esta información queda documentada en el propio modelo HBIM. En este modelo se pueden incluir diferentes fases del estado del edificio, permitiendo comparar su estado en diversas fechas para evaluar la necesidad de una intervención (Figura 6 B).

El modelo HBIM se construye utilizando unidades estratigráficas, que son editables y medibles, asegurando que cada capa del muro tenga su propia consistencia y propiedades. Se añaden propiedades HBIM que abarcan materiales, observaciones y documentación para cada unidad estratigráfica, con el objetivo de transmitir la información sobre los materiales, las lesiones o las diferentes intervenciones realizadas en el edificio, permitiendo una correcta identificación de los daños, su mecánica de alteración y sus causas.

Para mejorar su aplicabilidad práctica, la codificación propuesta puede integrarse en entornos HBIM mediante la creación de parámetros personalizados dentro de familias específicas del modelo. De este modo, cada elemento afectado puede asociarse de forma estructurada a su información patológica tanto gráfica como alfanumérica. Esta integración puede implementarse en Revit a través de parámetros compartidos y tablas de planificación, facilitando el seguimiento, la gestión y la actualización de las lesiones a lo largo del tiempo.

Asimismo, se recomienda avanzar en la comprobación de la interoperabilidad con el estándar IFC (Industry Foundation Classes). En experiencias previas, la exportación de modelos HBIM con parámetros personalizados a IFC ha permitido transferir parte de la información, aunque en ocasiones se requieren adaptaciones en los mapeos de datos o el uso de Property Sets específicos en IFC. Por tanto, una adecuada estructuración y nomenclatura de los parámetros facilitaría la transferencia de la codificación a otros entornos BIM compatibles, lo que reforzaría su potencial de implementación digital y el intercambio de información entre agentes y plataformas.

6. CONCLUSIONES

Dentro de los estudios previos que requiere un proyecto de conservación y/o restauración del patrimonio arquitectónico es fundamental un detallado estudio patológico, que nos permita realizar un acertado diagnóstico y elegir la terapéutica a aplicar. Una adecuada representación gráfica de las lesiones y el alcance de los daños, que recoja e interprete la investigación previa histórica, constructiva y analítica sobre sistemas y materiales, permitirá comprender en profundidad el estado del edificio. La elección de un sistema de representación de daños adecuado facilitará su comprensión a todos los agentes implicados en el proceso del proyecto. Para ello, después de estudiar y analizar los distintos sistemas empleados para cartografiar daños, el artículo propone un sistema sintético y legible que recoge la mayoría de las lesiones comunes a las fábricas históricas permitiendo su adecuada representación, así como una fácil lectura y comprensión. El método propuesto en este trabajo para realizar la cartografía asigna un criterio cromático para cada uno de los cinco grupos en los que se clasifican las lesiones, y dentro de cada uno, una tonalidad y trama diferente para cada daño, lo que permite superponerlos y obtener un resultado gráfico legible y fácilmente reconocible del estado patológico del edificio, que facilitará la redacción del proyecto de intervención y con ello a una mejor conservación del patrimonio edificado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Hospitalaria de la Orden de Malta, las facilidades para el acceso a la iglesia y el uso de las ortofotografías del templo como base de la cartografía realizada.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Este trabajo se ha financiado parcialmente a través del contrato de investigación de la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid nº 43824812127 "FHOME – Iglesia de la Vera Cruz de Segovia" y apoyado por el Grupo de Investigación Análisis e Intervención en el Patrimonio Arquitectónico de la UPM.

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Comunidad de Madrid y la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid a través del Proyecto CAREEN (Desarrollo de nuevos métodos basados en inteligencia artificial para la caracterización de daños en construcciones históricas a través de nubes de puntos 3D) con referencia APOYO-JOVENES-21-RCDT1L-85-SL9E1R.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Milagros Palma Crespo: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Supervisión, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición.

Diego Vicente Sánchez: Investigación, Recursos, Visualización, Redacción – revisión y edición.

María Guillem González-Blanch: Investigación, Recursos, Análisis formal, Visualización, Redacción – revisión y edición.

David Sanz Arauz: Conceptualización, Análisis formal, Obtención de fondos, Redacción – revisión y edición.

Federico del Blanco García: Software, Supervisión, Visualización, Redacción – revisión y edición.

REFERENCIAS

- [1] AENOR-ISO (2009). *UNE 41805-1 IN Diagnóstico de edificios. Parte 1: Generalidades*. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- [2] AENOR-ISO (2013). *UNE 41808: 2013. Estructuras de madera existentes. Sistema de representación gráfica del estado constructivo de las estructuras de madera existentes*. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- [3] Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014.
- [4] Carta de Cracovia (2000) "Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido".
- [5] UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione (2006). Norma UNI 11182-2006 Beni culturali - Materiali lapidei naturali ed artificiali - Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni. Ente Italiano di Normazione (UNI).
- [6] C.N.R. Centri di Studio de Milano e Roma sulle casue di deperimento e sui metodi di conservazione delle opere d'arte y ICR Istituto Centrale del Restauro (1990). *Raccomandazioni NorMal 1/88. Alterazione macroscopiche dei materiali lapidei: Lessico/Comos Illustrated glossary*.
- [7] Delgado Rodrigues, J. (2015) Defining, mapping and assessing deterioration patterns in stone conservation projects. *Journal of cultural heritage*, 16, 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.06.007>
- [8] Carbonara, G. (1990). *Restauro dei monumenti. Guida agli elaborati grafici*. Nápoles: Liguori.
- [9] Bellanca, C. (2008). A brief guide to graphic representations. En: C. Bellanca (Ed.) *Methodical approach to the restoration of historic architecture* (pp. 181-212). Roma: Alinea.
- [10] Dalla Negra, R. y Nuzzo, M. (2008). *L'architetto restaura. Guida al laboratorio di restauro architettonico*. Caserta: Spring.
- [11] Ortega Andrade, F. (1987). Código para la representación de fisuras producidas en paredes, sobre los planos de planta. *RE, Revista de Edificación*, 1, 23-26.
- [12] Comité Internacional de la Piedra de ICOMOS (2010). *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*. Paris: ICOMOS.
- [13] Fitzner, B. y Heinrichs, K. (1996). Diagnóstico de daños en monumentos pétreos: documentación, mapeo y registro. En: *Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos* (pp. 123-141). Sevilla: Junta de Andalucía.
- [14] Fitzner, B. y Heinrichs, K. (2002). Damage Diagnosis on Stone Monuments— Weathering Forms, Damage Categories and Damage Indices. En: Prikryl, R. y Viles, H. A., (Eds.), *Understanding and Managing Stone Decay, Proc. Int. Conf. "Stone Weathering and Atmospheric Pollution Network (SWAPNET 2001)"* (pp. 11-56). Praga: The Karolinum Press.
- [15] Álvarez, S., Esbert, R. M. & al (2005). Santa Cristina de Lena, un monumento enigmático del prerrománico asturiano: piedras, deterioro y sugerencias de conservación. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, 18, 70-87.
- [16] Martínez-Monedero, M. (2015). Estudio constructivo de las ruinas de San Miguel de Sacramenia, como base para su restauración. *Informes de la Construcción*, 67(539)e099, <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.074>
- [17] Ramos Molina, J., Durán Suárez, J. A., Sebastián Pardo, E. y Sáez Pérez, M.ª P. (2016). Estudio del estado de conservación de las yeserías del Oratorio de la Madraza de Granada. Identificación, evaluación y análisis. *Informes de la Construcción*, 69(545): e175, <https://doi.org/10.3989/ic.16.088>.
- [18] Cigola, M. y Gallozzi, A. (2003). Il rilevamento per la conoscenza e la tutela. En M. Docci (Ed.) *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro* (pp. 186-191). Roma: Gangemi.
- [19] Almagro Gorbea, A. (2004). *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada
- [20] Martín Talaverano, R. (2014). Documentación gráfica de edificios históricos: principios, aplicaciones y perspectivas. *Arqueología de la arquitectura*, 11: e011, <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2014.014>
- [21] Sánchez Aparicio, L. J., del Blanco García, F. L., Mencías Carrizosa, D., Villanueva Llauradó, P., Aira Zunuznegui, J. R., Sanz Arauz, D., y García Gago, J. (2023). Detection of damage in heritage constructions based on 3D point clouds: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 77, 107440. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107440>
- [22] Mileto, C. y Vegas, F. (2011). El análisis estratigráfico: una herramienta de conocimiento y conservación de la arquitectura En: *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas* (pp. 145-157). Madrid: Ministerio de Cultura.
- [23] Banfi, F., Brumana, R., Landi, A. G., Previtali, M., Roncoroni, F., y Stanga, C. (2022). Building archaeology informative modelling turned into 3D volume stratigraphy and extended reality time-lapse communication. *Virtual Archaeology Review*, 13(26), 1–21. <https://doi.org/10.4995/var.2022.15313>
- [24] del Blanco García, F. L., González Cruz, A. J., Amengual Menéndez, C., Sanz Arauz, D., Aira Zunuznegui, J. R., Palma Crespo, M., García Morales, S., y Sánchez-Aparicio, L. J. (2024). A Unified Virtual Model for Real-Time Visualization and Diagnosis in Architectural Heritage Conservation. *Buildings*, 14(11), 3396. <https://doi.org/10.3390/buildings14113396>
- [25] Chen, Y., y del Blanco García, F. L. (2022). Constructive analysis and digital 3D reconstruction of the Yuanmingyuan Ruins: Wanfanganhe Pavilion (China). *Virtual Archaeology Review*, 13(27), 1–16. <https://doi.org/10.4995/var.2022.16523>
- [26] Banfi, F., Paolillo, F. R., Spallino, C., Viskovic, A., & Antonelli, L. (2023). Enhancing archaeological knowledge dissemination: The pivotal role of digital representation and BIM interoperability for preservation, FEA, and XR of Villa dei Quintili in Rome. *Disegnarecon*, 30(25). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.25>