





**GUÍA PRÁCTICA PARA
LA APLICACIÓN
DEL ANÁLISIS MODAL
OPERACIONAL EN
EL PATRIMONIO
ARQUITECTÓNICO**

Pablo Pachón García
Javier Fernando Jiménez Alonso
Javier Naranjo Pérez
Víctor Compán Cardiel
Andrés Sáez Pérez
(coordinadores)




D. Pablo Jesús Pachón García es doctor arquitecto e investigador en la Universidad de Sevilla. Sus líneas de investigación se centran en la monitorización y evaluación estructural del patrimonio construido mediante técnicas no destructivas. Es un experto en el uso del análisis modal operacional y la aplicación de algoritmos avanzados (como la colocación óptima de sensores) para la monitorización de la salud estructural en construcciones históricas. Ha liderado igualmente la caracterización de materiales pétreos andaluces, estudiando la influencia de la humedad y la degradación en sus propiedades. Su productividad científica se refleja en la publicación de más de once artículos de gran impacto en revistas indexadas y en sus colaboraciones con investigadores internacionales de reconocido prestigio.

D. Javier Fernando Jiménez Alonso es profesor titular de universidad en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Es doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (2015) y realizó el máster en Matemáticas (2019), ambas titulaciones avaladas por la Universidad de Sevilla. Su campo de investigación es la ingeniería de vibraciones, la monitorización de la salud estructural, el control de vibraciones y el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial en el campo de la ingeniería civil. Sus contribuciones se centran en el desarrollo de modelos de interacción multitud-estructura, la actualización de modelos de elementos finitos, la implementación de estrategias para la detección de daño y el diseño de sistemas de control estructural. Ha participado en varios proyectos I+D+i enfocados en la monitorización y la detección de daño en infraestructuras del transporte. Es coautor de más de cincuenta contribuciones científicas de alto impacto y ha codirigido dos tesis doctorales sobre actualización de modelos numéricos.



D. Javier Naranjo Pérez es doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e investigador por la Universidad de Sevilla. Muestra una gran experiencia en el desarrollo de proyectos de I+D+i enfocados en la dinámica de infraestructuras del transporte. Sus áreas de interés se centran en la ingeniería de vibraciones y la monitorización de la salud estructural en ingeniería civil. Sus principales líneas de investigación abarcan el desarrollo y la evaluación de modelos de interacción peatón-estructura en pasarelas ligeras y la actualización de modelos de elementos finitos en estructuras de ingeniería civil. Destacan sus aportaciones en el desarrollo algoritmos computacionales avanzados para mejorar la eficiencia de los procesos de actualización de modelos. Recientemente ha participado en nuevas líneas de investigación relacionadas con la monitorización no destructiva de tendones tesados y la cosecha de energía a partir de las vibraciones mecánicas de estructuras ligeras.

D. Víctor Jesús Compán Cardiel es profesor titular de universidad en la Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla. Obtuvo el título de doctor arquitecto (2012) por su tesis sobre el *Comportamiento Estructural de las Geometrías Arquitectónicas del Barroco Centroeuropeo*. Su línea de investigación principal es el análisis estructural avanzado de estructuras históricas. Es experto en la aplicación de ensayos no destructivos, como el análisis modal operacional, para la calibración de modelos de elementos finitos, la monitorización continua de estructuras y el refuerzo de fábricas históricas. En esta área, destaca su trabajo en el diseño de lechadas inteligentes con nano-aditivos de carbono. Su producción científica incluye más de sesenta publicaciones, tanto en revistas de alto impacto como en contribuciones en congresos, destacándose sus aportaciones tanto en el análisis no lineal de bóvedas históricas como en



la integración de disciplinas para el diagnóstico estructural de construcciones históricas.

D. Andrés Sáez Pérez es catedrático de universidad de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, donde desarrolla su labor docente e investigadora en los ámbitos de la dinámica estructural, la integridad de materiales y la monitorización estructural. Es doctor ingeniero industrial (1997) por la Universidad de Sevilla y titulado en el Master of Science (1994) por la Universidad de Northwestern (EE. UU.). Actualmente es director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Su investigación se ha centrado en la caracterización del comportamiento dinámico de estructuras mediante herramientas computacionales para el desarrollo de aplicaciones para la detección de daño, la fractura y la propagación de ondas. Recientemente ha ampliado su actividad a la monitorización estructural en el ámbito de la ingeniería civil abordando el desarrollo de sensores piezorresistivos basados en materiales enriquecidos con nanotubos de carbono. Su producción científica incluye más de 250 publicaciones y diez tesis doctorales dirigidas.

COLECCIÓN GUÍAS NÚMERO 3

COMITÉ EDITORIAL:

Elena Leal Abad
(Directora de la Editorial Universidad de Sevilla)

Concepción Barrero Rodríguez
Rafael Fernández Chacón
María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado
Manuel Padilla Cruz
Marta Palenque
María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda
Marina Ramos Serrano
José-Leonardo Ruiz Sánchez
Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

© Editorial Universidad de Sevilla 2026
C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.
Tfnos.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443
Correo electrónico: infoeus@us.es
Web: <https://editorial.us.es>

© de los textos, sus autores 2026

ISBN: 978-84-472-2724-2
DOI: <https://dx.doi.org/10.12795/9788447227242>

Diseño, maquetación y edición electrónica: javiropire@gmail.com



ÍNDICE

I	Introducción	09
	1.1 Motivación	11
	1.2 Objetivos y justificación de la guía práctica	16
	1.2.1 Objetivos de la guía	16
	1.2.2 Justificación de la guía	17
	1.3 Organización de la guía práctica	19
2	OMA en el patrimonio	24
	2.1 Fundamentos teóricos del OMA	27
	2.1.1 Introducción a los modelos de espacio de estados	29
	2.1.1.1. Propiedades de los modelos de espacio de estado	33
	2.1.2 Introducción a los métodos de identificación modal	35
	2.2 Estado del arte	41
3	Guía de aplicación de OMA	45
	3.1 Toma de datos	46
	3.1.1 Equipos de medida	46
	3.1.2 Puntos de medida	53
	3.1.2.1. Modelos de EF	54
	3.1.3 Tiempo de medida	58
	3.1.4 Frecuencia de muestreo	59
	3.2 Tratamiento de datos	61
	3.2.1 Procesamiento preliminar de las señales	61
	3.2.2 Métodos de identificación modal	64
	3.2.2.1. Métodos basados en el dominio del tiempo	64
	3.2.2.2. Métodos basados en el dominio de la frecuencia	68
	3.2.2.3. Métricas para validación de mediciones experimentales	70

3.3	Uso de datos	73
3.3.1	Control y evaluación de intervenciones estructurales	73
3.3.2	Calibración de modelos numéricos	75
3.3.2.1	Calibración de un único objetivo	78
3.3.2.2	Calibración multiobjetivo	80
3.3.2.3	Análisis de sensibilidad	81
3.3.2.4	Algoritmos de optimización global	85

4 OMA en el control y evaluación de intervenciones estructurales **90**

4.1	Teatro Romano de Cádiz (España)	94
	Introducción	94
4.1.1	Toma de datos (Pruebas de vibración ambiental)	98
4.1.2	Tratamiento de datos (OMA)	101
4.1.3	Uso de datos. Evaluación e interpretación de los resultados	102
	Conclusiones	104
4.2	Capilla de la Jura (Jerez de la Frontera, España)	107
	Introducción	107
4.2.1	Toma de datos (Pruebas de vibración ambiental)	110
4.2.2	Tratamiento de datos (OMA)	113
4.2.3	Uso de datos. Evaluación e interpretación de los resultados	115
	Conclusiones	117

5 OMA en la calibración de modelos numéricos **119**

5.1	Monasterio de San Jerónimo (Sevilla, España)	122
	Introducción	122
5.1.1	Toma de datos (Pruebas de vibración ambiental)	126
5.1.2	Tratamiento de datos (OMA)	129
5.1.3	Proceso de calibración	131
5.1.4	Uso del modelo calibrado	134
	Conclusiones	136
5.2	Capilla del Palacio de Würzburg (Alemania)	138
	Introducción	138
5.2.1	Toma de datos (Pruebas de vibración ambiental)	141
5.2.2	Tratamiento de datos (OMA)	144



5.2.3	Proceso de calibración	146
5.2.4	Uso del modelo calibrado	149
	Conclusiones	151
5.3	Monasterio de San Jerónimo (Granada, España)	152
	Introducción	152
5.3.1	Toma de datos (Pruebas de vibración ambiental)	155
5.3.2	Tratamiento de datos (OMA)	158
5.3.3	Proceso de calibración	160
5.3.4	Uso del modelo calibrado	163
	Conclusiones	164
	Conclusiones	167
	Bibliografía	178
	Índice de figuras	188
	Índice de tablas	192



I INTRODUCCIÓN

La gestión del patrimonio arquitectónico es un desafío complejo que requiere la colaboración entre disciplinas como la historia, la arquitectura o la ingeniería. Preservar estos edificios históricos implica no solo cuidar de su estructura física, sino también proteger su valor cultural y simbólico. En las últimas décadas, el desarrollo de metodologías no invasivas ha transformado la manera de abordar la evaluación de este tipo de construcciones, permitiendo complejos análisis sin comprometer su integridad. Gracias a estas metodologías, se ha abierto un abanico de posibilidades para intervenir edificios históricos, permitiendo conocer en detalle el estado actual de la estructura sin necesidad de modificar o intervenir directamente en la edificación.

Dentro de este marco, el análisis modal operacional, conocido como OMA (*Operational Modal Analysis*), se ha consolidado como una herramienta de gran utilidad en la evaluación estructural de edificios históricos. La técnica OMA se basa en la identificación de las propiedades modales de un sistema estructural, tales como las frecuencias naturales, los modos de vibración y los ratios de amortiguamiento modal. La particularidad de esta técnica reside en que estos parámetros se obtienen a partir de las vibraciones ambientales a las que la edificación está

sometida de forma natural, sin requerir estímulos externos controlados. Este enfoque es particularmente valioso en el ámbito de la protección del patrimonio arquitectónico, donde cualquier intervención física directa puede implicar riesgos para la estabilidad estructural o incluso afectar al valor estético y cultural de la edificación.

Este capítulo introductorio tiene como propósito sentar las bases conceptuales y metodológicas de una guía práctica para aplicar la técnica OMA con relación a la intervención del patrimonio arquitectónico. La intención de esta guía es ofrecer un recurso claro y completo para investigadores, estudiantes y profesionales en arquitectura e ingeniería civil que trabajen en la restauración y preservación de edificaciones históricas. La necesidad de una metodología estandarizada y clara surge ante la demanda de herramientas que permitan evaluar con precisión el estado de estas construcciones. La guía no solo organiza los procedimientos asociados a la técnica OMA, sino que también busca facilitar su implementación práctica en proyectos de intervención. Al estructurar y sistematizar las técnicas y aplicaciones de esta metodología, se pretende que el OMA se consolide como una herramienta estándar en el análisis y preservación de construcciones patrimoniales.

El objetivo final es promover una actuación sostenible y respetuosa basada en criterios técnicos sólidos. La adopción de una técnica como el OMA en este tipo de proyectos también contribuye a crear conciencia sobre la importancia de los métodos no invasivos en la protección del patrimonio. De esta manera, este capítulo busca, además de explicar una herramienta técnica, invitar a los profesionales a reflexionar sobre la importancia de preservar el patrimonio arquitectónico de manera consciente

y sostenible. La combinación de tecnologías avanzadas con el respeto por el valor cultural de los edificios históricos representa un enfoque moderno e integral para la preservación de estas estructuras históricas. En definitiva, el uso de técnicas como el OMA, aparte de optimizar los esfuerzos de intervención, establece un modelo de buenas prácticas para la protección del patrimonio arquitectónico en todo el mundo.

1.1 Motivación

En el mundo actual, el patrimonio arquitectónico constituye un recurso de inestimable valor, actuando simultáneamente como testimonio del pasado y como motor activo del desarrollo económico y social. Este tipo de patrimonio genera un fuerte impacto en el turismo cultural, actividad que en Europa contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB). La preservación del patrimonio, además de preservar el valor histórico y cultural, resulta rentable desde el punto de vista económico. Mason (2005) sostiene que las inversiones en la restauración y el mantenimiento del patrimonio arquitectónico fomentan el turismo, revitalizan áreas urbanas y contribuyen significativamente al empleo. Asimismo, la UNESCO resalta que la protección del patrimonio arquitectónico impulsa la creación de empleo especializado y estimula el crecimiento de industrias culturales, generando así beneficios económicos y fortaleciendo la identidad cultural de las comunidades.

A pesar de su valor, el patrimonio arquitectónico enfrenta amenazas complejas que ponen en riesgo su preservación a largo

plazo. Estas amenazas pueden clasificarse en factores ambientales, antropogénicos y naturales.

Los efectos del cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos han incrementado la vulnerabilidad de las estructuras históricas. La contaminación atmosférica y la lluvia ácida aceleran la erosión de los materiales, mientras que las fluctuaciones en los niveles freáticos y la degradación natural afectan la estabilidad de estos edificios. Estos factores dificultan el mantenimiento de las propiedades originales de los materiales, comprometiendo así la integridad estructural (Nastou y Zerefos 2024).

La acción humana también contribuye al deterioro del patrimonio. La vibración constante causada por el tráfico urbano y las construcciones cercanas puede producir daños estructurales significativos (Xu *et al.* 2023). Además, el cambio en el uso del suelo, la expansión urbana, las intervenciones inapropiadas y la falta de un mantenimiento adecuado contribuyen a su degradación. El turismo masivo es otro factor que provoca el desgaste físico de las estructuras y limita su capacidad de preservación a largo plazo.

Por último, las amenazas naturales, como los terremotos, la subsidencia del terreno y las inundaciones, representan riesgos importantes para la estabilidad del patrimonio arquitectónico. Estos eventos, aunque impredecibles, pueden causar daños irreversibles en estructuras que, en su diseño original, no fueron preparadas para soportarlos. En este contexto, es esencial la implementación de medidas de prevención y la evaluación periódica de los riesgos para proteger el valor cultural y estructural de estas construcciones (Arrighi *et al.* 2023).

El OMA ha evolucionado como una técnica clave en la evaluación de la integridad estructural, especialmente en el ámbito de la protección de patrimonio arquitectónico.

El OMA ha experimentado una evolución progresiva que puede entenderse en tres grandes fases: transición desde el Análisis Modal Experimental (EMA), expansión a la ingeniería civil e industrial, y consolidación en el estudio de construcciones históricas. Sus orígenes se remontan a la década de 1990, cuando se identificaron las limitaciones del EMA para estructuras de gran escala que no podían ser excitadas artificialmente sin comprometer su integridad o funcionalidad. En ese contexto, el OMA surgió como una alternativa no destructiva, capaz de estimar las propiedades dinámicas a partir de la excitación ambiental sin necesidad de aplicar fuerzas controladas. Aunque la capacidad computacional de la época limitaba considerablemente su aplicación y precisión, estas primeras aplicaciones sentaron las bases para el desarrollo de métodos más avanzados en la evaluación de las estructuras. Durante esta fase, se establecieron los conceptos y herramientas básicas que más adelante permitirían expandir el alcance del OMA hacia nuevas áreas.

Durante su primera etapa de desarrollo, el OMA fue adoptado inicialmente en el ámbito aeronáutico y mecánico. Posteriormente, entre las décadas de 2000 y 2010, el OMA fue incorporado de forma creciente en la ingeniería civil, impulsado por la disponibilidad de sensores más avanzados y por el desarrollo de métodos de identificación más robustos. Esta transformación promovió el uso del OMA en la ingeniería civil y consolidó su papel en la evaluación estructural, incrementando la confianza en la técnica y su aplicabilidad a proyectos de gran envergadura.

Desde 2010 hasta la actualidad, el OMA ha alcanzado un nivel de madurez que permite su aplicación específica en estructuras patrimoniales, integrándose eficientemente con sistemas de monitorización continua y técnicas avanzadas de procesamiento de datos. Este desarrollo permite una monitorización continua de las condiciones de edificaciones históricas, posibilitando la evaluación a lo largo del tiempo de su estado estructural. Así, el OMA se ha convertido en una herramienta invaluable para la protección del patrimonio arquitectónico, optimizando las estrategias de restauración y contribuyendo significativamente a la protección y preservación de estas estructuras de valor incalculable.

Una de las ventajas clave del OMA es su carácter no invasivo, ya que se basa únicamente en la medición de vibraciones ambientales y no requiere de equipos de excitación artificial. Esta característica permite preservar la integridad estructural de las edificaciones mientras se llevan a cabo mediciones prolongadas y continuas, minimizando el impacto de la intervención en el patrimonio.

El OMA permite identificar las propiedades modales de la estructura con alta precisión, logrando una caracterización fiel del comportamiento dinámico real de la misma. El estudio de la evolución temporal de dichas propiedades modales y su comparación con ciertos umbrales puede ayudar a la detección de problemas potenciales que afecten a la integridad estructural de la construcción histórica. La fácil implementación de sistemas de monitorización continua permite una adecuada caracterización del estado estructural de construcciones históricas.

Otra ventaja del OMA es su gran adaptabilidad a diferentes tipos de estructuras y materiales. Puede aplicarse en edificaciones de diversos tamaños y tipos constructivos, y es compatible con múltiples redes y tipos de sensores. Además, puede integrarse con otras técnicas de diagnóstico, lo que facilita un análisis estructural integral y adaptable a las particularidades de cada patrimonio.

Las principales aplicaciones que presenta el OMA en relación con la restauración del patrimonio arquitectónico son las siguientes:

i. Evaluación de intervenciones estructurales

El OMA facilita una documentación detallada de las condiciones preintervención, monitorización durante la ejecución y verificación posintervención de cualquier proceso intervencionista. Su capacidad de evaluar puntualmente las propiedades modales de cualquier construcción asegura una documentación científica sólida de los efectos en cada instante de la intervención, optimizando las estrategias de restauración.

ii. Calibración de modelos numéricos

Los resultados obtenidos del OMA son la base de la calibración de modelos de elementos finitos (EF), permitiendo una validación detallada del modelo de EF y un ajuste preciso de los parámetros que los constituyen. A diferencia de las estructuras modernas, las edificaciones históricas suelen estar construidas con materiales heterogéneos y presentan geometrías complejas. Las propiedades de dichos materiales, la interacción entre los distintos componentes estructurales y las condiciones de contorno suelen presentar inicialmente elevados niveles de incertidumbre. La identificación de las propiedades modales de la estructura, a través de OMA, proporciona datos cruciales que sirven como

base para la calibración de modelos de EF. Estos modelos constituyen una representación numérica detallada de la estructura, y su calibración es necesaria para que reflejen con precisión el comportamiento dinámico real de los edificios. Este proceso incluye el desarrollo de un modelo inicial, la determinación numérica de las propiedades modales de la estructura, la identificación experimental de propiedades modales, el ajuste iterativo del modelo mediante la reducción del error relativo entre las propiedades modales experimentales y numéricas mediante la modificación de ciertos parámetros físicos del modelo y la validación final mediante criterios de correlación modal (Standoli *et al.* 2021).

iii. Monitorización estructural continua

La aplicación del OMA continuamente permite la monitorización del comportamiento estructural, permitiendo la detección temprana de anomalías, el análisis de la evolución temporal y la identificación de patrones estacionales. Esto favorece una planificación preventiva del mantenimiento, anticipándose a posibles daños y protegiendo así el valor cultural y la integridad física del patrimonio arquitectónico.

1.2 Objetivos y justificación de la guía práctica

1.2.1 Objetivos de la guía

El propósito de esta guía es doble: ofrecer una introducción accesible a los fundamentos del OMA, y proporcionar instrucciones detalladas para su aplicación en edificaciones de valor

histórico. Los objetivos específicos de esta guía se desglosan en los siguientes puntos:

- i. Difundir el conocimiento sobre el OMA, enfatizando su utilidad en el contexto de la protección del patrimonio arquitectónico y su potencial para evaluar edificaciones históricas sin interferir en su integridad estructural.
- ii. Desarrollar una metodología práctica para la implementación del OMA en el estudio de estructuras históricas, abarcando desde la recolección de datos hasta su análisis y tratamiento, de manera que se puedan replicar en múltiples contextos patrimoniales.
- iii. Facilitar la comprensión de los pasos requeridos para la calibración de modelos numéricos a partir de las propiedades modales obtenidas en el OMA, aportando ejemplos y recursos aplicables a edificios de diversa complejidad estructural.
- iv. Sistematizar el uso del OMA como herramienta de monitorización y diagnóstico en edificaciones históricas, proponiendo una serie de pasos que optimicen el proceso de análisis y permitan una interpretación adecuada de los datos obtenidos.

1.2.2 Justificación de la guía

En los últimos años, la protección del patrimonio arquitectónico se ha beneficiado del desarrollo de técnicas avanzadas de diagnóstico estructural, permitiendo una mayor precisión en la evaluación y planificación de intervenciones. Sin embargo, la aplicación de estos métodos a construcciones históricas sigue siendo un área de investigación en desarrollo. Por ello,

esta guía busca estandarizar el uso del OMA, estableciendo una metodología clara y accesible que permita a todo tipo de usuarios aplicar esta técnica de forma eficiente.

De esta forma, esta guía tiene el fin de representar un recurso formativo que contribuye a la capacitación de profesionales en el ámbito de la preservación del patrimonio arquitectónico. Este documento pretende llenar el vacío de recursos prácticos que existe en la actualidad para la aplicación del OMA en patrimonio arquitectónico. Su enfoque práctico y accesible, junto con el desarrollo de casos de estudio reales en edificaciones históricas, proporciona una visión integral de los desafíos y ventajas de esta técnica, estableciendo una referencia que contribuye al desarrollo de metodologías normalizadas y replicables para el diagnóstico de estructuras patrimoniales. Al permitir un mejor entendimiento de los modelos de comportamiento estructural y su calibración, la guía no solo contribuye a la preservación del patrimonio, sino que sienta las bases para futuras investigaciones en dicho campo.

En conclusión, la presente guía representa un esfuerzo interdisciplinario por vincular teoría y práctica en el análisis estructural de monumentos históricos mediante el OMA. Este enfoque permite abordar los problemas técnicos del estudio estructural y el análisis modal de edificaciones históricas de forma no invasiva, promoviendo una preservación más efectiva y sostenible del patrimonio arquitectónico. A través de los casos de estudio, la guía busca homogeneizar el uso del OMA, presentando esta técnica tanto como herramienta de diagnóstico como recurso esencial para la evaluación y planificación de intervenciones en el ámbito de la protección patrimonial.

1.3 Organización de la guía práctica

Esta guía se estructura en seis capítulos que desarrollan progresivamente el contexto, la teoría y la práctica del OMA aplicado a la protección del patrimonio arquitectónico. Para ilustrar las metodologías descritas, la guía se apoya en cinco casos en estudio seleccionados de manera estratégica.

La elección de dichos ejemplos (Teatro Romano de Cádiz, Capilla de la Jura, Monasterio de San Jerónimo de Sevilla, Capilla del Palacio de Würzburg y la iglesia del Monasterio de San Jerónimo de Granada) responde a dos criterios fundamentales.

En primer lugar, apoyar la descripción de las dos grandes aplicaciones que presenta esta guía: (i) el uso del OMA en el control y evaluación de intervenciones estructurales de construcciones históricas (capítulo 4); y (ii) su aplicación en la calibración de modelos numéricos, considerando el método de los elementos finitos, de dichas edificaciones (capítulo 5).

En segundo lugar, el conjunto bajo estudio presenta una notable diversidad tanto desde el punto de vista tipológico (estructuras de la antigüedad romana, arquitectura gótica y complejas bóvedas barrocas), como desde el punto de vista de la escala y de la complejidad del comportamiento del material. Esta variedad permite demostrar la robustez y adaptabilidad de la metodología propuesta, el OMA, frente a los distintos desafíos que plantea la intervención estructural del patrimonio arquitectónico real.

A continuación, se presenta un resumen de cada capítulo, con el fin de orientar al lector sobre el contenido y propósito de estos.

Dicha organización no solo facilita un recorrido progresivo (desde la teoría fundamente hasta su aplicación práctica a través de los casos en estudio) para la implementación de la técnica del OMA en el ámbito de las construcciones históricas, sino que permite una mejor comprensión tanto de los conceptos esenciales de la técnica como del valor añadido que la misma aporta a la conversación del patrimonio arquitectónico:

- **Capítulo 1. Introducción**

En este primer capítulo se ha establecido el contexto, la motivación y los objetivos que justifican la creación de esta guía práctica para la enseñanza del OMA en el patrimonio arquitectónico. En primer lugar, se ha señalado la importancia de la protección del patrimonio arquitectónico, reconociendo el valor cultural, histórico y económico de las construcciones históricas y subrayando la necesidad de métodos de diagnóstico estructural que respeten su integridad física. El OMA se presenta como una herramienta fundamental en este ámbito, dado que permite caracterizar el comportamiento dinámico de las estructuras mediante pruebas no destructivas basadas en vibraciones ambientales. Se ha abordado también el propósito de la guía, que es facilitar la aplicación práctica del OMA a través de una metodología estructurada y accesible para profesionales de la arquitectura e ingeniería civil, investigadores y estudiantes. En este sentido, la guía ofrece una serie de recursos y procedimientos orientados a la toma, tratamiento y análisis de datos, así como a la aplicación de estos resultados en el control de intervenciones estructurales y en la calibración de modelos numéricos de EF.

- **Capítulo 2. OMA en el patrimonio**

Este capítulo proporciona una introducción a los fundamentos teóricos de la metodología OMA, explicando su relevancia en el estudio de estructuras patrimoniales. Se incluyen conceptos básicos y avanzados del OMA, detallando cómo esta técnica permite la caracterización dinámica de construcciones históricas sin intervención directa. Además, se presenta un estado del arte que contextualiza el OMA dentro de la evolución de las técnicas de diagnóstico estructural y su aplicabilidad específica en el ámbito del patrimonio arquitectónico. Este análisis bibliográfico ayudará a entender las tendencias actuales y las principales contribuciones científicas que han fundamentado el desarrollo de esta técnica.

- **Capítulo 3. Guía de aplicación del OMA**

En este capítulo, se aborda la aplicación práctica del OMA en edificaciones de valor patrimonial. Se divide en tres subapartados esenciales: la toma de datos, el tratamiento de datos y el uso de datos en el contexto de la preservación. En la sección de toma de datos, se explican los pasos previos, incluyendo la creación de un modelo inicial de EF, la elección de puntos de medida y el tiempo necesario para la medición. En la sección de tratamiento de datos, se presentan las técnicas para el procesamiento de señales, los métodos de identificación modal y los *softwares* de tratamiento de datos que permiten analizar la información obtenida. Finalmente, en el apartado de uso de datos, se detalla cómo estos datos pueden emplearse para controlar y evaluar intervenciones estructurales y para calibrar modelos numéricos, asegurando que las decisiones de intervención estén basadas en información precisa y actualizada.

- **Capítulo 4. OMA en el control y evaluación de intervenciones estructurales**

Este capítulo presenta casos de estudio específicos de intervenciones estructurales en edificios patrimoniales, utilizando la técnica OMA para evaluar y controlar su efectividad. Los casos seleccionados, como el Teatro Romano de Cádiz y la Capilla de la Jura, permiten mostrar la utilidad del OMA en contextos diversos y con diferentes tipologías arquitectónicas. Cada caso incluye un análisis de la intervención realizada, los resultados obtenidos a través del OMA y cómo estos resultados contribuyen a la validación de las técnicas de restauración empleadas.

- **Capítulo 5. OMA en la calibración de modelos numéricos**

Este capítulo se centra en la aplicación de la técnica OMA para la calibración de modelos de EF, una herramienta clave para simular y prever el comportamiento estructural de edificios históricos. A través de ejemplos como el Monasterio de San Jerónimo de Sevilla, la Capilla del Palacio de Würzburg y la iglesia del Monasterio de San Jerónimo de Granada, se explican los procedimientos y resultados obtenidos al calibrar modelos numéricos basados en datos modales reales. Estos ejemplos ilustran el valor del OMA en la creación de modelos predictivos fiables que pueden servir para planificar el mantenimiento y la restauración en construcciones de alta complejidad arquitectónica.

- **Conclusiones**

Al final del documento, se exponen las principales conclusiones del uso del OMA en la protección del patrimonio arquitectónico. Se recogen los logros alcanzados, las limitaciones encontradas y las recomendaciones para futuras

investigaciones y aplicaciones prácticas de esta técnica. Este capítulo también incluye una reflexión sobre el impacto del OMA en la preservación del patrimonio cultural, destacando cómo su implementación puede contribuir a una conservación más precisa, segura y respetuosa con la historia y el valor de las edificaciones patrimoniales.

