e-phc[11]





Análisis de riesgos y respuestas ante emergencias en patrimonio cultural

Junta de Andalucía
Consejería de Turismo, Cultura y Deporte
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

Junta de Andalucía
Consejería de Turismo, Cultura y Deporte
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

CONSEJERÍA DE TURISMO, CULTURA Y DEPORTE

Consejero de Turismo, Cultura y Deporte
Arturo Bernal Bergua

Viceconsejero de Turismo, Cultura y Deporte
Víctor Manuel González García

Secretaría General para la Cultura
José Ángel Vélez González

Director del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH)
Juan José Primo Jurado

Edita:
Consejería de Turismo, Cultura y Deporte. Junta de Andalucía

Copyright:
Consejería de Turismo, Cultura y Deporte. Junta de Andalucía

Coordinación de la edición:
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

Coordinación científica:
Laura Toro Murillo, Universidad Pablo de Olavide, Auxiliadora Gómez Morón, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Pilar Ortiz Calderón, Universidad Pablo de Olavide

Autorías:
Mónica Moreno Falcón, Rocío Ortiz Calderón, Pilar Ortiz Calderón, Gloria Fernández Arribas, María Luisa Vázquez de Agredos Pascual, Greta García Hernández, Pablo Muñoz del Olmo, Inmaculada Chuliá Blanco, Veronica Piacentini, Tiziana Vicario, Paula Montilla Gómez, Cristina Escudero Remírez, Pilar Montero Vilar, Antonio Formisano, Beatriz Haspo, Daniel Durán Romero, Marta Hernández Azcutia y Estrella Sanz Domínguez

Coordinación general del programa de publicaciones del IAPH:
Marta Sameño Puerto
Directora de Investigación y Transferencia

Equipo editorial IAPH:
María Cuéllar Gordillo
Cinta Delgado Soler
Carmen Guerrero Quintero

Corrección de textos:
Decultura Ediciones

Diseño:
Manolo García nz

Maquetación:
María Rodríguez Achútegui

Esta obra está bajo una licencia Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 España Creative Commons.
Usted es libre de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra bajo las condiciones siguientes:
– Reconocimiento. Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador.
– No comercial. No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
– Sin obras derivadas. No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
La licencia completa está disponible en:
http://creativecommons.org/licenses/bync-nd/3.0/es/

Este volumen se ha realizado en el marco del Proyecto Resilient Tourism (Nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y gestión de emergencias en patrimonio) (PYC20 RE 034 UPO), financiado por la Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades de la Junta de Andalucía y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional "Una manera de hacer Europa". Ayudas a la I+D+i en el ámbito del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI 2020). Ayudas (convocatoria 2020) a proyectos de I+D+i en el Ámbito de Ecosistemas de Innovación de los Centros de Excelencia Internacional (CEI). Y ha sido coordinado por la Universidad Pablo de Olavide.

AÑO DE EDICIÓN: 2023
ISBN: 978-84-9959-489-7

e-phc 11

Análisis de riesgos y respuestas ante emergencias en patrimonio cultural

Coordinación

Laura Toro Murillo
Universidad Pablo de Olavide

Auxiliadora Gómez Morón
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

Pilar Ortiz Calderón
Universidad Pablo de Olavide

Índice

p. 06
Presentación
Juan José Primo Jurado

p. 08
Introducción
Pilar Ortiz Calderón, Rocío Ortiz Calderón

p. 12
Capítulo 1
Evaluación de escenarios multirriesgo en ciudades históricas fortificadas de Andalucía mediante AHP
Mónica Moreno Falcón, Rocío Ortiz Calderón, Pilar Ortiz Calderón

p. 45
Capítulo 2
Estudio de las amenazas al patrimonio cultural en los conflictos armados desde una perspectiva interdisciplinar
Gloria Fernández Arribas, María Luisa Vázquez de Agredos Pascual, Mónica Moreno Falcón, Pilar Ortiz Calderón

p. 68
Capítulo 3
La detección de falsificaciones en la estructura orgánica de la Generalitat Valenciana
Greta García Hernández

p. 91
Capítulo 4
La gestión de los desastres que amenazan el patrimonio cultural
Pablo Muñoz del Olmo

p. 116
Capítulo 5
El simulacro como herramienta de prevención, planificación e instrucción
Inmaculada Chuliá Blanco

p. 151
Capítulo 6
Una metodología europea para abordar la protección del patrimonio cultural durante emergencias: la experiencia de PROCULTHER
Veronica Piacentini, Tiziana Vicario

p. 169
Capítulo 7
La perspectiva del riesgo en la gestión del patrimonio histórico en Andalucía
Paula Montilla Gómez

p. 197
Capítulo 8
Unidades de gestión de riesgos y emergencias en patrimonio cultural en el ámbito autonómico: el caso de la UGRECYL en Castilla y León
Cristina Escudero Remírez

p. 215
Capítulo 9
Tecnologías SIG y HBIM aplicadas a la gestión de riesgos y emergencias en patrimonio cultural
Pilar Montero Vilar

p. 242
Capítulo 10
Un método empírico rápido para evaluar a gran escala la vulnerabilidad sísmica de los centros históricos
Antonio Formisano

p. 273
Capítulo 11
La gestión de emergencias: el factor humano
Beatriz Haspo

p. 292
Capítulo 12
La apuesta del IPCE por las nuevas tecnologías en la prevención y gestión de emergencias. Herramienta SIG para la trazabilidad de colecciones
Daniel Durán Romero

p. 316
Capítulo 13
El Museo del Prado como ecosistema cultural amenazado: de los riesgos ya asimilados al vandalismo 2.0
Marta Hernández Azcutia, Estrella Sanz Domínguez

09



Tecnologías SIG y HBIM aplicadas a la gestión de riesgos y emergencias en patrimonio cultural

Pilar Montero Vilar
Universidad Complutense de Madrid

Introducción

La Estrategia de Reducción de Riesgo de Desastres de Naciones Unidas al establecer el Marco de Sendai (2015) señaló al patrimonio cultural como uno de los activos a proteger para la creación de resiliencia social. En un contexto de desarrollo creciente de las denominadas emergencias complejas (Keen 2007), la evolución y desarrollo de las disciplinas ha propiciado el uso de tecnologías, no desarrolladas específicamente para el ámbito de la documentación, conservación-restauración o gestión de riesgos y emergencias en patrimonio cultural, que han demostrado su utilidad en campos caracterizados por la transversalidad de sus componentes (Eppich y Chabbi 2007). El empleo de los sistemas de información geográfica (SIG) y la metodología Building Information Modeling (BIM) aplicados en estos campos ha florecido en estas últimas décadas, permitiendo crear posibilidades de documentación, conservación y gestión gracias a las herramientas digitales, impensables solo cincuenta años atrás.

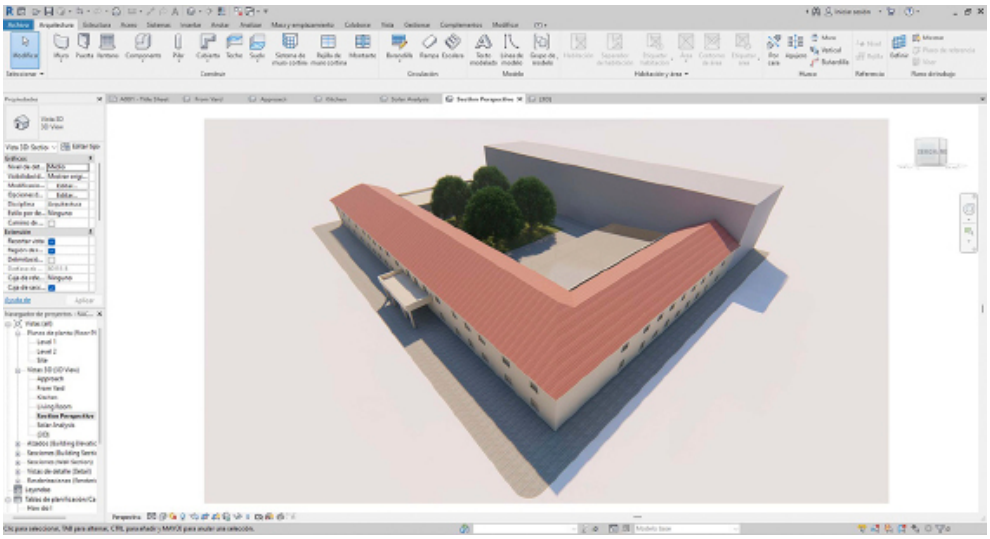
En este contexto, el objetivo de este capítulo consiste en revisar el empleo y uso de estas tecnologías en la gestión de riesgos y emergencias del patrimonio cultural a través de ejemplos que destacan especialmente por su amplitud y profundidad, como es el caso de la *Carta del Rischio italiana* (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro 2023) y su sistema de interoperabilidad Vincoli in Rete (ViR) (2023) y en España el caso del Plan PROCOERS del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, por su desarrollo orientado a la gestión de riesgos de colecciones. Por último, se explorarán las prometedoras funcionalidades aportadas por la hibridación de

ambas tecnologías y su aplicación en nuestro ámbito de trabajo.

Un sistema de información geográfica es un conjunto de elementos que trabajan coordinadamente para procesar datos georreferenciados, producir información y solucionar problemas de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por los programas informáticos. Un SIG es, por tanto, una herramienta informatizada para la gestión de información geográfica y alfanumérica, conservada en bases de datos, que está diseñada para almacenar, capturar, analizar, predecir, actualizar, manipular, recuperar, transformar y visualizar la información geográficamente referenciada con diferentes fines y objetivos. Uno de ellos es su aplicación como herramienta para la planificación y gestión de emergencias, como las que puedan afectar al patrimonio cultural. El empleo y utilidad de los SIG aplicado a la conservación del patrimonio cultural está suficientemente testado, en 1992 la UNESCO fue pionera en el uso de estos sistemas cuando se enfrentó a la tarea de apoyar las labores de recuperación de los templos de Angkor en Camboya, que habían estado expuestos a una guerra civil que duró más de veinte años. El Plan de Zonificación y Gestión Medioambiental de Angkor consistió en el desarrollo de un sistema de información geográfico que integraba datos de arqueología, geología, hidrología, climatología, medioambiente y demografía, junto con los planes de desarrollo de la agricultura, el regadío, la construcción de carreteras y el transporte y, por supuesto, el turismo. El objetivo de esta base de datos integrada era animar a los planificadores y promotores de todos los departamentos a trabajar según el mismo plan, garantizando así que los restos arqueológicos de Angkor no fueran

destruidos ni se vieran amenazados por acciones mal concebidas o descoordinadas (Box 1999). Actualmente, además de los SIG, la metodología digital BIM se configura como una herramienta de modelado que posibilita un análisis exhaustivo y preciso de los inmuebles. Así, mientras que BIM se centra en la definición de la escala de edificios e infraestructuras, SIG favorece un enfoque geográfico, que permite georreferenciar, representar y analizar todos los elementos geométricos existentes, sin entrar en los detalles técnicos de los edificios, como es el caso de BIM. BIM es el acrónimo de Building Information Modeling, *que* en español se traduciría por "modelado de información de construcción", y consiste en una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de edificios, proyectos y obras de construcción gracias al empleo de un modelo digital 3D en el que se representan las características físicas y funcionales de un edificio. Estos modelos permiten la interoperabilidad y el intercambio de información[1] a lo largo de todo el ciclo de vida de un edificio, desde que se proyecta hasta su posible demolición.

El empleo de la metodología BIM implica "una transición desde la gestión de la información basada en documentos a un nuevo escenario en que la información se base en modelos 3D de objetos ricos en información" (ITeC 2019, 27). Se puede referir a información geométrica, propiedades de sus componentes, instalaciones y equipos, gestión del proyecto y de la construcción o contenidos que puedan surgir a lo largo de la vida del edificio y que puedan ser compartidos por los distintos agentes comprometidos con él. Estos modelos presentan datos que van más allá de la información puramente geométrica, como, por ejemplo, la secuencia



Modelización en el entorno BIM de un proyecto de museo. Software Autodesk Revit. Infografía: elaboración propia

histórico-constructiva del edificio o infraestructura, así como la documentación histórica y cultural relacionada o las distintas restauraciones. El hecho de que en algunos países se considere ya un estándar obligatorio en proyectos públicos como en Reino Unido, Finlandia, Noruega o Suecia, ha contribuido al desarrollo y madurez de esta tecnología, que ha sido adoptada por los sectores de la construcción, arquitectura, ingeniería y *facility management*. La utilización de esta maqueta virtual o gemelo digital tiene múltiples aplicaciones para la gestión de los edificios, como el ciclo de vida de los elementos, instalaciones energéticas, estructuras, etc., o en el cálculo de costes, el mantenimiento, la conservación-restauración... Sin embargo, las plataformas BIM fueron pensadas en un principio para la gestión y el diseño de nuevas construcciones y proyectos que, frente a la irregularidad y complejidad de los edificios históricos, suelen ser objetos más simples, regulares y estandarizados y, en definitiva, más fáciles de gestionar. La

aplicación y creación de objetos paramétricos en 3D, construidos a partir de nubes de puntos que representan elementos arquitectónicos, gracias a técnicas de escaneo láser o fotogrametría, así como documentación técnica e histórica de elementos arquitectónicos ya existentes, nos coloca delante de lo que se conoce como Heritage BIM o HBIM, que no es otra cosa que la aplicación de la metodología BIM a edificios históricos (Murphy, McGovern y Pavia 2009). Es importante subrayar que la creación del modelo BIM debe tener en cuenta aspectos muy variados sobre los bienes culturales y un análisis interdisciplinar (Armisén Fernández 2018), que serán empleados para poder registrar niveles de detalle muy precisos y valiosos para la documentación del patrimonio. Las investigaciones y el desarrollo de HBIM en edificios históricos, sus aplicaciones y enfoques, nos presentan un futuro con un potencial muy prometedor (Historic England 2017; Hussein e Ismaeel 2020; López et ál. 2018) que, además, ha sido analizado desde posturas críticas para contribuir a la reflexión sobre la adaptación de esta metodología y su viabilidad en un sector, como es el patrimonio cultural, con inversiones escasas (Martín Talaverano, Murillo Fragero y Utrero Agudo 2021).

Sistemas de información geográfica (SIG) aplicados a la gestión de riesgos y emergencias en patrimonio cultural

Pedersoli, Antomarchi y Michalski (2017) identificaron seis niveles de envoltura a la hora de evaluar y percibir la protección y gestión de riesgos de los objetos que pueden estar alojados en instituciones culturales. Además, fueron conscientes de que estos niveles de envoltura (soporte, mobiliario, sala, edificio, sitio, región) que en principio sirven

para proteger las colecciones pueden ser, a la vez, generadores de riesgos. Si tenemos en cuenta los agentes de deterioro que estos autores identifican y que pueden generar situaciones catastróficas, llegaremos a la conclusión de la importancia que tiene, además del impacto del factor humano, el estudio de los distintos niveles de envoltura para el análisis de los peligros y de la vulnerabilidad y la consiguiente reducción de riesgos. Esos niveles de envoltura se refieren en cuatro de los seis casos al edificio (sala, edificio) y a su exterior (sitio, región), precisamente aquellos en los que las tecnologías SIG y BIM pueden ser unas colaboradoras eficaces para la gestión de riesgos de colecciones en instituciones culturales.

El potencial del empleo de la información georreferenciada en la gestión de emergencias e incendios empezó a ser desarrollado a partir de los atentados del 11 de septiembre (Kwan y Lee 2005) y, en la última década, a estas iniciativas se les ha sumado el Building Information Modeling para el modelado de edificios y objetos con el objetivo de conservar y documentar el patrimonio construido. Las características de ambos sistemas y las posibilidades dinámicas que aporta la tecnología digital nos permiten contar con una caracterización y una documentación lo más precisa posible de los escenarios, a diferentes escalas, a la hora de planificar las mejores estrategias de respuesta ante una situación de riesgo y emergencia.

En relación con la georreferenciación, existen numerosos casos de estudio aplicados al análisis, conservación y mantenimiento o gestión de riesgos del patrimonio que presentan un alcance muy variado gracias a la versatilidad de aplicación de estas tecnologías. Así, podemos encontrar de-

sarrollos proyectados a escala mundial, como el proyecto ARCHES (Arches Project 2023; Myers et ál. 2012), junto a otros con un alcance referido a un único edificio, pasando por todas las escalas posibles: estado, regiones o ciudades como en Guimarâes (Portugal) (Granda y Ferreira 2019), si bien el empleo reducido a una institución o inmueble, que a su vez custodie patrimonio cultural mueble, es menos frecuente tal y como se analizó en el proyecto ResCult (ResCult Project 2023).

Pero el uso de los SIG no se circunscribe a los tiempos de paz; en el conflicto de Ucrania esta tecnología ayuda a visualizar, de manera actualizada, los daños que está sufriendo el patrimonio cultural. Ejemplos de ello son el Map of Cultural Losses realizado por la Fundación Cultural Ucraniana (2023) y en el que se encuentran geográficamente referenciados los monumentos que están siendo destruidos como resultado de la invasión rusa, o el Civilian Harm in Ukraine, promovido por Bellingcat (2022), que pretende recopilar desde el inicio de la guerra todos los incidentes que han impactado en zonas civiles, entre ellas las referidas a sitios culturales o religiosos. Ambas propuestas, además de toda la documentación y georreferenciación que recogen, también incorporan un parámetro temporal, de modo que podemos percibir visualmente la cronología de la catástrofe. Además, hay que subrayar que se trata de proyectos colaborativos en continua actualización, en los que se recoge información aportada por toda la comunidad, contenido que posteriormente se verifica y se representa cartográficamente. Estos mapas recopilan documentación para utilizar en el futuro, que, sin duda, contribuirá a la construcción de los procesos de la reconciliación y de la paz.

Proyectos SIG

Proyecto	Uso específico	Ámbito
ARCHES	Gestión de datos para el apoyo de una conservación y gestión eficaces del patrimonio	Mundial
ResCult	Creación de una base de datos interoperable para mejorar la capacidad de los organismos de gestión de emergencias y operadores para prevenir y mitigar las catástrofes en el patrimonio cultural	Europeo
Map of Cultural Losses	Documentar el daño o destrucción del patrimonio cultural durante la guerra de Ucrania	Ucrania
Civilian Harm in Ukraine	Incidentes ocurridos en Ucrania que han podido causar daños a civiles	Ucrania

Ejemplo de proyectos que emplean SIG aplicado al patrimonio cultural. Tabla: elaboración propia

La Carta del Rischio italiana y el sistema de interoperabilidad Vincoli in Rete

La *Carta del Rischio (Istituto* Superiore per la Conservazione ed il Restauro 2023) es un sistema de información territorial promovido por Giovanni Urbani en los años 90, entonces director del Istituto Central del Restauro de Roma, a partir de la experiencia piloto de la región de Umbría. Se trata de un SIG aplicado a un país entero, Italia, compuesto por una base de datos alfanumérica y el componente cartográfico, capaz de explorar, superponer y procesar información relativa a posibles factores de riesgo territorial, medioambiental y antrópico vinculados al patrimonio cultural. Fue

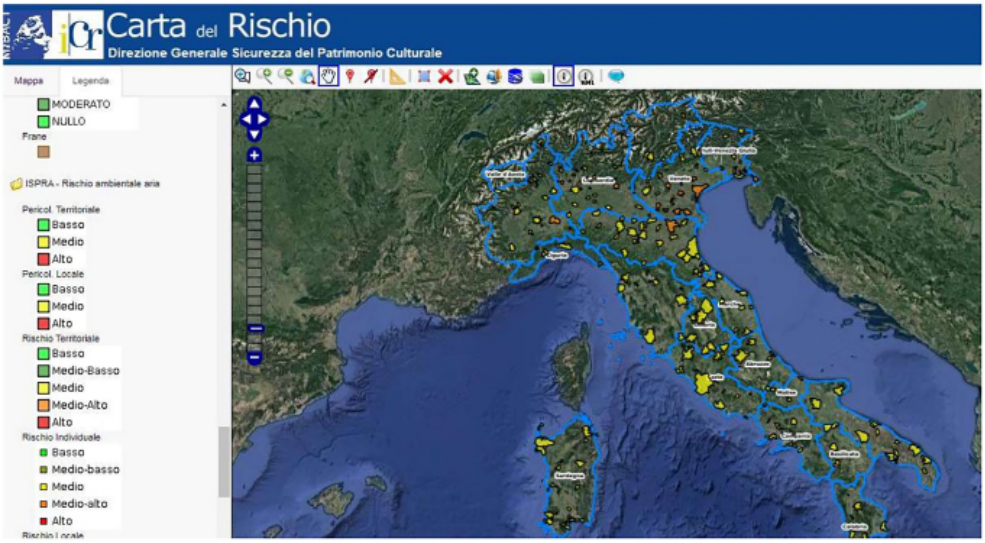
diseñado como una herramienta de apoyo científico y administrativo a los organismos estatales y locales responsables de la protección, salvaguarda y conservación del patrimonio cultural, y se encuentra en permanente actualización. La *Carta del Rischio ha* adoptado un enfoque estadístico para la construcción de su modelo de riesgo. El sistema asume como elemento georreferenciable mínimo el inmueble arquitectónico y arqueológico (unidad estadística) y el municipio como elemento mínimo de la escala territorial (unidad territorial). Todos los bienes muebles (pinturas sobre madera, lienzos, hallazgos arqueológicos, etc.), al no estar georreferenciados, se han asociado al correspondiente contenedor de bienes inmuebles, que responde a la escala dimensional indicada anteriormente (Cacace y Corrado 2018, 53).

El objetivo es evaluar el nivel de vulnerabilidad y, por lo tanto, contribuir a la prevención del riesgo. Los factores de riesgo se han dividido en:

– Peligro territorial (P), una función que indica el nivel de agresividad potencial de un área territorial dada, independientemente de la presencia o ausencia de bienes.
– Vulnerabilidad individual (V), una función que indica el nivel de exposición de un bien determinado a la agresión de factores territoriales ambientales.

Y se ha construido un modelo de riesgo basado en la identificación de tres dominios diferentes (medioambiental-aéreo, estático-estructural y antrópico), válidos tanto para la peligrosidad como para la vulnerabilidad.

Desde el visor de la *Carta del Rischio e*s posible entre otras, efectuar las siguientes consultas:



Carta del Rischio. Fuente: Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (2023)

– Ver la cartografía del territorio con el posicionamiento del inmueble, los datos sobre el peligro territorial y sobre la vulnerabilidad y diferentes riesgos.
– Consultar y actualizar (inserción, modificación, cancelación) el repertorio de bienes muebles e inmuebles.
– Consultar y actualizar (inserción, modificación) las hojas de vulnerabilidad de bienes muebles e inmuebles.
– Consultar, validar y actualizar (inserción, modificación) las hojas de vulnerabilidad sísmica de bienes inmuebles.
– Realizar estadísticas sobre bienes inmuebles.

En este sistema existe una sección especial denominada Unidad de Crisis que gestiona siete fases relativas a la recopilación de información relevante ante eventos catastróficos, como, por ejemplo, la relacionada con la georreferenciación de los edificios destinados a ser utilizados como depósitos de emergencia o sobre los bienes cul-

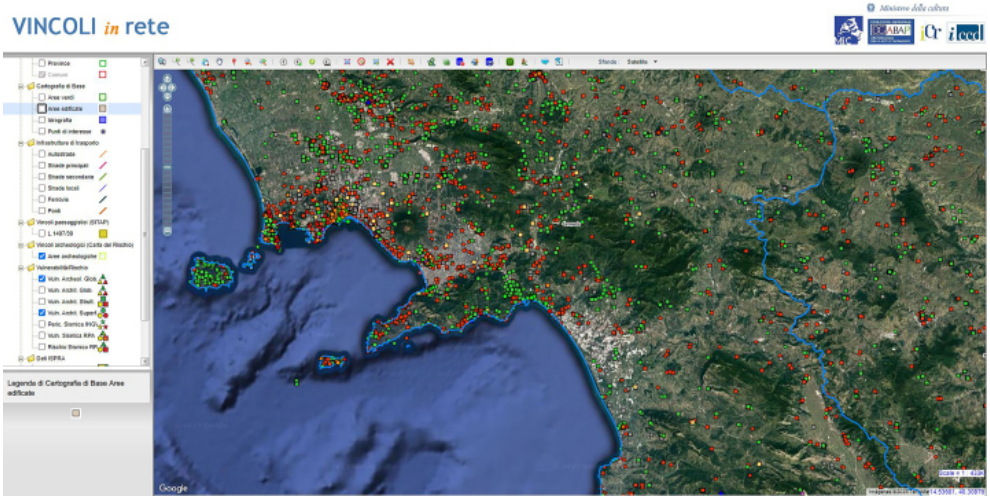
turales trasladados como consecuencia de una catástrofe y su ficha de acompañamiento a los depósitos de emergencia. La *Carta del Rischio no* pretende ser una medida de la probabilidad de que se produzcan sucesos perjudiciales, sino que representa un estudio en profundidad del estado de conservación dependiente de fenómenos que pueden ser nocivos para el bien.

En 2012 fue creada por el Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro una plataforma cooperativa e interoperable denominada Vincoli in rete (2023), alimentada con datos sobre patrimonio arquitectónico, arqueológico y paisajístico, que establece un único punto de acceso para profesionales, ciudadanos y administradores públicos en el que pueden encontrar toda la información sobre el patrimonio cultural inmueble. En esta plataforma se integran los datos procedentes del Sistema Informativo *Carta del Rischio, el Sistema Informativo Beni Tutelati (bienes protegidos, arqueología, bellas artes y paisaje),* el Sistema Informativo SITAP (protección paisajística) y el Sistema Informativo Web SIGEC (catálogo del patrimonio cultural) del Instituto Central de Catálogo y Documentación, el Geoportal de cartografía de protección territorial y marítima y la base de datos de Ispra, el Instituto Superior para la Protección e Investigación Medioambiental. ViR ofrece a los diferentes perfiles de usuario (Administraciones públicas y usuarios particulares) información cartográfica por capas en la que se puede obtener la representación de los bienes arquitectónicos y arqueológicos y se puede acceder a la ficha técnica del inmueble, así como a la información de los mapas de riesgos, todo ello de una forma integrada y detallada. A partir de la plataforma de interoperabilidad ya diseñada para los bienes inmuebles, se ha implementado un desarrollo para los bienes

muebles (obras de arte y restos arqueológicos) que contiene datos integrados de la *Carta del Rischio y del catálogo del patrimonio cultural SIGECweb del Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), aplicando el concepto de "contenedor de bienes muebles"* ya presente y desarrollado en SIGECweb. La representación cartográfica de las obras contenidas en los inmuebles presentes en el sistema aumenta el contenido informativo tanto para el público como para los gestores, con evidentes e importantes derivaciones funcionales en el ámbito de la prevención de riesgos y gestión de emergencias (Cacace y Corrado 2018, 58).

El acceso a la *Carta del Rischio y* a ViR está restringido según los diferentes actores, pero proporciona a los organismos competentes una información absolutamente vital para el conocimiento de los riesgos a los que se enfrenta el patrimonio y sus vulnerabilidades, y supone un modelo que podría servir de ejemplo a otros países de su entorno, como España.

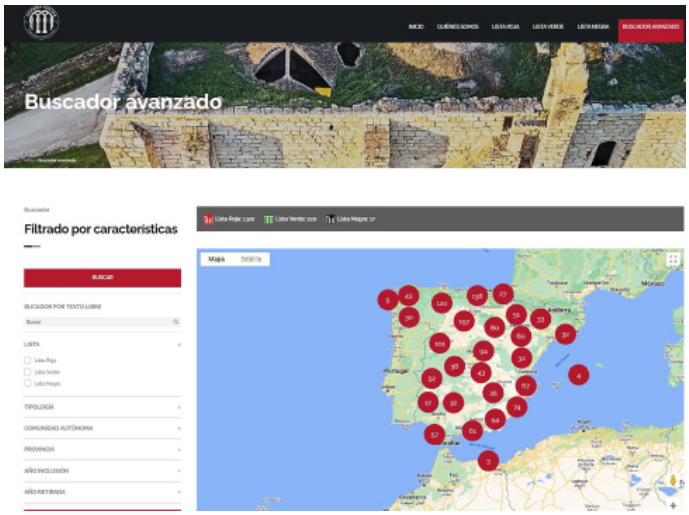
Vincoli in rete. Fuente: Vincoli in rete (2023)



Desarrollos SIG para la geolocalización del patrimonio cultural en España

En España, tal y como se solicitaba desde el Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en 2015, se han implementado en los últimos años diferentes desarrollos en los que se emplea la tecnología SIG o BIM para la geolocalización, documentación y estudio del patrimonio cultural (Parcero-Oubiña et ál. 2013; Ortiz et ál. 2016; Sánchez-Aparicio et ál. 2020), aunque no existe un único SIG de todo el territorio estatal que incorpore completamente el patrimonio cultural geolocalizado. Estos desarrollos territoriales abarcan normalmente comunidades autónomas, provincias o islas o unidades territoriales más reducidas[2]. Afortunadamente, la geolocalización de bienes culturales inmuebles está ya incorporada en la gestión de las emergencias por parte de Protección Civil y de los equipos de primera intervención, tal y como hemos visto en emergencias recientes, como la erupción del volcán de La Palma (La Palma Smart Island 2023), o en las intervenciones realizadas por los equipos de emergencias de patrimonio cultural en la región de Murcia o en la comunidad de Castilla y León. De hecho, un ejemplo pionero lo encontramos en la ciudad de Ávila, que forma parte del grupo ciudades patrimonio de la humanidad de España (GCPHE) donde, desde el año 2006, los bomberos de la ciudad han colaborado en proyectos que han inventariado, evaluado riesgos y jerarquizado las obras de patrimonio cultural ubicado en su casco histórico y han desarrollado una aplicación informática con el estudio de rutas de evacuación que tienen en cuenta la caracterización tan singular de la ciudad y los tiempos de respuesta.

La asociación Hispania Nostra también ha sido pionera en el desarrollo de una iniciativa, la Lista



Lista Roja. Fuente: Hispania Nostra (2023)

Roja (Hispania Nostra 2023), en la que recurre a un SIG para geolocalizar aquellos elementos del patrimonio cultural español que se encuentran sometidos a riesgo de desaparición, destrucción o alteración esencial de sus valores.

En relación con las soluciones empleadas por instituciones culturales que custodian patrimonio mueble en su interior, tenemos el ejemplo del Plan de Protección de Colecciones ante Emergencias, Plan PROCOERS, del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (Montero Vilar y García Gómez-Tejedor 2022). Este Plan ha sido concebido como un sistema de gestión integral y dinámico para todo el museo, capaz de analizar, evaluar y reducir los riesgos ante emergencias que afectan a las colecciones de arte que custodia, así como de gestionar los incidentes y su recuperación en caso de que ocurra una emergencia que afecte a las obras de arte. Además, recoge en un único sistema muchos elementos distintos que, de alguna manera,

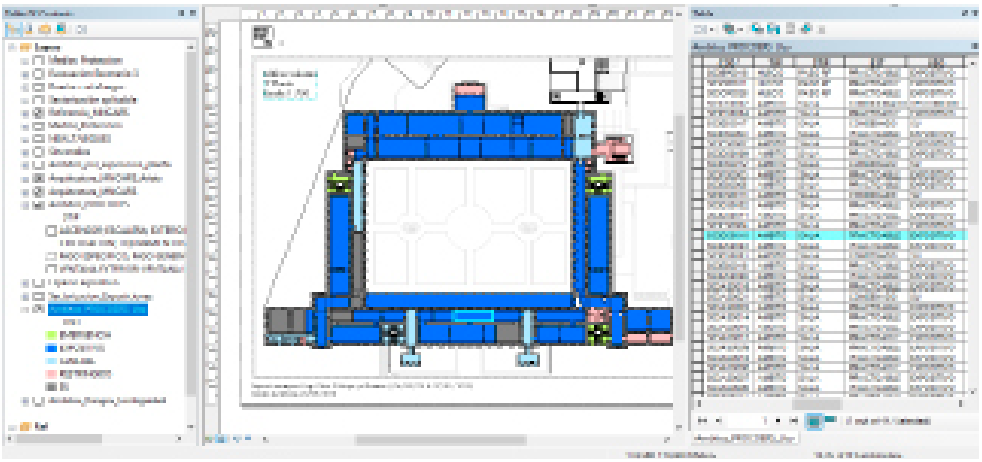
participan en la gestión de las emergencias. Los avances más sobresalientes se han alcanzado en la modelización de un SIG del museo que ha alcanzado un nivel de madurez tecnológico nivel 7 (TRL7), es decir, que este prototipo desarrollado ha mostrado su funcionamiento en un entorno real, el propio espacio del museo. Este SIG permite obtener información geolocalizada relativa a:

– Descripción espacial de los edificios.
– Inventario de elementos arquitectónicos.
– Inventario de instalaciones.
– Inventario de medidas de protección.
– Fuentes de riesgo.
– Análisis de riesgo de zonas.
– Rutas de evacuación de colecciones.
– Situación espacial de las obras.
– Datos de obras relevantes en emergencias (vulnerabilidad, sistema de montaje y desmontaje, coeficiente de riesgo, personas necesarias para el movimiento de obras, etc.).

Hasta el momento se han testado sus funcionalidades de inventariado, consulta y reporte, así como las funcionalidades de análisis espacial y navegación interior, con datos de prueba reales (espacios, medios de protección, bienes culturales). Esta plataforma permite:

– Realizar un análisis pormenorizado de las características físicas del espacio expositivo.
– Realizar un exhaustivo análisis de riesgos del espacio.
– Tener un mejor control sobre las obras expuestas.
– Facilitar la toma de decisiones en caso de emergencia.

Recientemente, se ha presentado un desarrollo tecnológico para gestionar la conservación pre-



SIG del Plan PROCOERS del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. Fuente: Montero Vilar y García Gómez-Tejedor (2022)

ventiva del patrimonio mueble del Congreso de los Diputados (Bertrán de Lis Hernández y Picasso 2023), que muestra un potencial despliegue para su aplicación en la gestión de emergencias. El sistema gestiona actualmente dos redes integradas en una sola aplicación, una de ellas dedicada a la geolocalización y otra a la monitorización de las condiciones ambientales. Este sistema activo permite la geolocalización *indoor* y en tiempo real de la situación y de los movimientos de cada una de las obras muebles de la colección situadas en las diferentes plantas del edificio, gracias a la presencia de unos emisores de pequeñas dimensiones (30 x 30 x 8 mm), fijados de forma singularizada *en cada* una de ellas, que cuentan con un acelerómetro. Estos dispositivos conectados en red están emitiendo constantemente datos que son recogidos en unas balizas, y gracias a unas antenas *gateway LoRa son traspasados a la aplicación, aprovechando la red wifi del* Congreso.

En relación con la monitorización de las condiciones ambientales, esta red, además de aportar datos

sobre condiciones de temperatura, humedad, iluminación, etc., también aporta información sobre el control de presencia o emite alarmas sobre condiciones anómalas o perjudiciales, por ejemplo, parámetros elevados de temperatura o humedad, debidos a situaciones potencialmente catastróficas, como un incendio o una inundación. Actualmente, se trata de un proyecto piloto escalable en el que se prevé la implementación de nuevas funcionalidades con el despliegue de otras redes según se vaya testando su aplicabilidad.

Integración de HBIM y SIG

Como hemos visto en los ejemplos ya tratados, las tecnologías SIG están en constante desarrollo y sus utilidades en la gestión de diferentes contextos relacionados con los riesgos y emergencias está suficientemente testado y ha mostrado sobradamente su utilidad gracias a la cantidad de información geoespacial integrada que se requiere y que los sistemas son capaces de gestionar. Pero, además, ya hace más de una década que se han desarrollado investigaciones que muestran la integración de los sistemas geoespacial (SIG) y geométrico-semántico (BIM) en una plataforma única en la que se conjugan y potencian las ventajas asociadas a cada uno de ellos y en la que se puede reforzar su posible aplicación en emergencias, particularmente en la respuesta ante incendios (Isikdag, Underwood y Aouad 2008).

La potencia de los sistemas SIG, su capacidad para la representación y para el cálculo y análisis de la información espacial, y su integración con el modelado 3D y toda la información asociada que pueden contener modelos navegables que representan interiores complejos, nos proporciona un

resultado capaz de solucionar limitaciones asociadas a alguno de los dos sistemas. El método propuesto consiste en realizar un escaneado con un escáner láser terrestre (TLS) y fotogrametría, para, a continuación, crear un modelo 3D que es integrado en un 3D GIS. Esta incorporación nos permite realizar análisis más avanzados, a la vez que combina información y datos procedentes de los dos entornos, los relativos al patrimonio arquitectónico y los relativos al entorno circundante. Este sistema posibilita que se puedan abarcar diferentes escalas espaciales y se propicie la transferencia de los datos entre los distintos agentes profesionales implicados en la gestión del bien cultural (Dore y Murphy 2012; Baik, Yaagoubi y Boehm 2015; He et ál. 2015).

Pero, para que se produzca esta integración, es necesaria la interoperabilidad entre los datos (Zhu et ál. 2018). La dificultad estriba en que, en un principio, los estándares de información geométrica y semántica de los BIM y los modelos de información geoespacial de los SIG no son totalmente compatibles y, por tanto, la transferencia de información geométrica y semántica sobre los edificios en el entorno geoespacial no se produce de una manera automatizada. La literatura científica nos propone tres formas de integración de los datos:

– Extracción de datos de los sistemas BIM al SIG.
– Extracción de datos del SIG a BIM.
– Extracción de datos de ambos sistemas hacia un tercero diferente.

La primera propuesta es la más utilizada. Los recursos de *software* más empleados para la aplicación integrada de BIM y SIG son ArcGIS, las plataformas realizadas por los propios desarrolladores y

Autodesk Revit (Ma y Ren 2017), aunque cada día es más frecuente encontrar soluciones de *software* más versátiles.

La fusión en un sistema único favorece la exploración de enfoques multiescala, con una perspectiva que incluya al menos el edificio y sus dependencias y el territorio colindante, así como la posibilidad de compartir una gran cantidad de información sobre un modelo común.

En este sentido, Boguslawski et ál. (2015) y Teo y Cho (2016) proponen el desarrollo de modelos que integren las características representativas de las dos tecnologías aplicadas al cálculo de rutas de evacuación. Otros ejemplos son aplicados a la gestión de inundaciones que afectan a edificios, de modo que la integración de los dos sistemas con una información completa de los elementos afectados y el entorno proporciona la posibilidad de, por ejemplo, tener en cuenta las características constructivas propias de cada edificio, a la vez que facilita una visualización 3D con una evaluación de daños precisa y detallada (Amirebrahimi et ál. 2015). En cualquier caso, se trata de un campo claramente emergente que todavía se puede considerar en un estado temprano de exploración y de explotación de sus capacidades (Ma y Ren 2017).

En los últimos años empiezan a aparecer propuestas que contemplan los procesos de integración del HBIM con SIG en edificios históricos para proporcionar a los gestores patrimoniales información relevante acerca del edificio y sus alrededores para su conservación y restauración. De hecho, es importante tener en cuenta que la gestión de emergencias puede implicar no solamente el entorno interior, que viene dado por el HBIM, sino también

Empleo soluciones BIM+SIG

Autores	Uso específico
Isikdag, Underwood y Aouad (2008)	Respuesta incendio
Boguslawski et ál. (2015)	Cálculo de rutas de evacuación
Teo y Cho (2016)	Cálculo de rutas de evacuación
Cálculo de rutas de evacuación	Gestión de inundaciones

Resumen autores y usos específicos de soluciones conjuntas de BIM+SIG. Tabla: elaboración propia

el exterior, y es necesario crear la conexión entre ambos entornos (Kwan y Lee 2005). Esta perspectiva también parece adecuada como planteamiento metodológico para la realización de planes de gestión de riesgos y emergencias en las instituciones culturales que necesitan de ambas aproximaciones y conocimiento: la escala del edificio (instalaciones, estructura, elementos constructivos, medidas y dispositivos de seguridad etc.), su contenido patrimonial (bienes culturales) y la escala de la ciudad (operativa de evacuaciones, actuaciones de equipos implicados en rescate, etc.).

Otro inconveniente no menos relevante es que en los SIG con visualización de planos 2D no pueden observarse todas las relaciones de las obras en la tercera dimensión (vertical) o la simulación de fenómenos tridimensionales, como la propagación de incendios. En el caso de las instituciones culturales que custodian objetos patrimoniales, esta falta de representación vertical se muestra

claramente como una insuficiencia para la caracterización fiel de los espacios con colecciones, por lo que la profundización en los proyectos de integración de *software* debería fijarse como un objetivo por los incuestionables beneficios que podrían reportar en nuestro campo. Además, la fusión de las dos herramientas o el desarrollo de modelos de localización indoor simplificaría la transmisión de información y el tiempo de gestión. Por último, aunque los routing services son conocidos por todos, y empleados para la selección y priorización de recorridos y trayectos en carreteras, estos no han sido desarrollados y aplicados en la planificación y gestión de obras de arte en emergencias, que deben contar con una preparación exhaustiva de la evacuación y una caracterización rigurosa que permita el tránsito y los movimientos propios del modus operandi de estos bienes, así como su vulnerabilidad y fragilidad, hasta los espacios destinados a su almacenaje.

Conclusiones

El empleo de soluciones tecnológicas para la gestión de riesgos y emergencias aplicados al patrimonio cultural es un campo emergente en el que un número creciente de investigadores, profesionales y primeros intervinientes están desarrollando sus trabajos a través de propuestas de carácter multidisciplinar y desde diferentes perspectivas y alcances.

Como sabemos, en el momento en que se desencadena una catástrofe en la que se ve comprometido el patrimonio cultural es necesario conocer con la mayor precisión la ubicación y caracterización de todos los elementos y circunstancias posibles que pueden ayudarnos a mitigar el suceso de una manera rápida, eficiente y coordinada.

Todos los desarrollos que impliquen estandarización de datos y procesos tendrán como consecuencia una mejora en el intercambio de información y una mejor coordinación entre todos los implicados.

La conjunción de la tecnología georreferencial (SIG) y del modelado de edificios y objetos (BIM) para la planificación y gestión integral de emergencias aplicada a las características propias de los bienes culturales presenta ventajas evidentes por su aplicación potencial en departamentos de instituciones culturales que alojan bienes muebles, más allá incluso de la gestión directa de las emergencias (mantenimiento, evaluación de impacto del cambio climático, gestión de públicos o aplicaciones de visitas personalizadas, etc.).

La implementación de desarrollos tecnológicos en la gestión de riesgos y emergencias en patrimonio cultural facilita la integración de todos los procesos necesarios a partir de plataformas de funcionamiento común. Además, contribuye a subsanar los obstáculos propios de la primera respuesta, como la falta de comunicación, coordinación y estandarización entre los primeros intervinientes, y permite la comunicación digital y eficiente entre las distintas partes implicadas, así como la transparencia de todas las acciones que conforman los diferentes procesos. La coordinación con las autoridades competentes en materia de emergencia debe estar garantizada y la transferencia de información relevante para la toma de decisiones en entornos estandarizados es imprescindible.

Notas

1. La norma UNE-EN ISO 16739-1:2020 (Ratificada) define el IFC (Industry Foundation Classes), el formato abierto, no propietario e indispensable para el intercambio de datos entre los usuarios que utilizan software diferente, dentro del mismo proceso BIM (AENOR 2020).

2. En el Observatorio de Emergencias en Patrimonio Cultural están recogidos muchos de estos SIG en los que se encuentra georreferenciado el patrimonio cultural de las diferentes comunidades autónomas o unidades territoriales menores https://oepac.es/desarrollos/ (OEPAC 2023b).

Bibliografía

AENOR (2020) *Norma UNE-EN ISO 16739-1:2020 Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes)*. Parte 1: Esquema de datos (ISO 16739-1:2018) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020)

Arches Project (2023) Disponible en: https://www.archesproject.org/ [Consulta: 30/03/2023]

Armisén Fernández, A. (ed.) (2018) *BIM aplicado al patrimonio cultural*. Building SMART Spanish Chapter: Documento 14

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P. y Ngo, T. (2015) A data model for integrating GIS and BIM for assessment and 3D visualisation of flood damage to building. *Locate*, n.º 15, pp. 1-12

Baik, A.H.A., Yaagoubi, R. y Boehm, J. (2015) Integration of Jeddah historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS)

Bellingcat (2022) *Hospitals Bombed and Apartments Destroyed: Mapping Incidents of Civilian Harm in Ukraine*. Disponible en: https://www.bellingcat.com/news/2022/03/17/hospitals-bombed-and-apartments-destroyed-mapping-incidents-of-civilian-harm-in-ukraine/ [Consulta: 30/03/2023]

Bertrán de Lis Hernández, L.E. y Picasso, C. (2023) I*mplantación de dispositivos inteligentes para la monitorización automática de las condiciones ambientales y el rastreo del Patrimonio cultural del Congreso*

de los Diputados. Congreso Internacional de Artes Decorativas en instituciones parlamentarias, 1-2 de marzo de 2023. Congreso de los Diputados, Madrid. Comunicación oral. Disponible en: https://app.congreso.es/AudiovisualCongreso/audiovisualEmision SemiDirecto?codOrgano =499&codSesion=777&id LegislaturaElegida=14& fechaSesion=1/03/2023 [Consulta: 23/10/2023]

Boguslawski, P., Mahdjoubi, L., Zverovich, V., Fadli, F. y Barki, H. (2015) BIM-GIS modelling in support of emergency response applications. *Building information modelling (BIM) in design, construction and operations*, vol. 149, pp. 381-392

Box, P. (1999) *GIS and Cultural Resource Management: A Manual for Heritage Managers*. Bangkok: UNESCO

Cacace, C. y Corrado, M.E. (2018) Il sistema di Carta del Rischio del patrimonio culturale nell'interoperabilità con i sistemi dell'amministrazione del Mibact. En: *El concepto de la Carta del Rischio del patrimonio cultural en América Latina. Actuales y futuras experiencias de cooperación internacional*. Roma: Organizzazione internazionale italo-latino americana, pp. 52-60. Disponible en: https://iila.org/wp-content/uploads/2019/01/1.0_IILA-Pubblicazione-digital-CONVERSATORIO.pdf [Consulta: 23/10/2023]

Colucci, E., Matrone, F., Noardo, F., Assumma, V., Datola, G., Appiotti, F. y Lingua, A. (2022) Documenting cultural heritage in an INSPIRE-based 3D GIS for risk and vulnerability analysis. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*. Disponible en: https://doi.org/10.1108/JCHMSD-04-2021-0068 [Consulta: 23/10/2023]

Dore, C. y Murphy, M. (2012) Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling. *Digital Documentation International Conference,* Edimburgo, 22-23 de octubre de 2012

Eppich, R. y Chabbi, A. (ed.) (2007) *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Illustrated Examples.* Los Ángeles: The Getty Conservation Institute

Granda, S. y Ferreira, T. (2019) Assesing Vulnerability and Fire Risk in Old Urban Areas: Application to the Historical Centre of Guimaraes. *Fire Technology*, n.º 55, pp. 105-127

He, J., Liu, J., Xu, S., Wu, C. y Zhang, J. (2015) A GIS-based cultural heritage study framework on continuous scales: a case study on 19th century military industrial heritage. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 40, n.º 5

Hispania Nostra (2023) *Lista Roja. Disponible* en: https://listaroja.hispanianostra.org/ [Consulta: 30/03/2023]

Historic England (2017) *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model*. Swindon: Historic England

Hussein, K.A. e Ismaeel E.H. (2020) State-of-the-art of Historic Building Information Modelling-HBIM Trends in the Built Heritage. *Diyala Journal of Engineering Sciences,* vol. 13, n.º 3, pp. 77-90

ITeC [Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña] (2019) *Libro blanco sobre la definición estratégica de implementación del BIM en la Generalitat de Catalunya.* Barcelona: Generalitat de Catalunya

Isikdag, U., Underwood, J. y Aouad, G. (2008) An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes. *Advanced Engineering Informatics,* vol. 22, n.º 4, pp. 504-519

Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (2023) *Carta del Rischio.* Disponible en: http://www.cartadelrischio.beniculturali.it// [Consulta: 30/03/2023]

Keen, D. (2007) *Complex emergencies*. Cambridge: Polity

Kwan, M.P. y Lee, J. (2005) Emergency response after 9/11: the potential of real-time 3D GIS for quick emergency response en micro-spatial environments. *Computers, Environment and Urban Systems,* vol. 29, n.º 2, pp. 93-113

La Palma Smart Island (2023) *Visor de mapas de la Isla de La Palma*. Disponible en: https://volcan.lapalma.es/pages/visor [Consulta: 30/03/2023]

López, F.J., Lerones, P.M., Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J. y Zalama, E. (2018) A review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies Interact,* vol. 2. Disponible en: https://doi.org/10.3390/mti2020021 [Consulta: 23/10/2023]

Ma, Z. y Ren, Y. (2017) Integrated application of BIM and GIS: an overview. *Procedia Engineering,* vol. 196, pp. 1072-1079

Map of Cultural Losses (2023) Disponible en: https://uaculture.org/culture-loss/ [Consulta: 30/03/2023]

Martín Talaverano, R., Murillo Fragero, J.I. y Utrero Agudo, M.A. (2021) Reflexiones y criterios relativos a la creación de modelos BIM de edificios históricos. *Arqueología de la arquitectura,* n.º 18. Disponible en: https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.005 [Consulta: 23/10/2023]

Mascort-Albea, E.J., Jaramillo-Morilla, A., Romero-Hernández, R. e Hidalgo-Sánchez, F.M. (2019) BIM-GIS interoperability applied to architectonic heritage: 2D and 3D digital models for the study of the ancient church of Santa Lucía in Seville (Spain). En: Calderón, P.O., Puerto, F.P., Verhagen, P. y Prieto, A.J. (ed.) *Science and Digital Technology for Cultural Heritage-Interdisciplinary Approach to Diagnosis, Vulnerability, Risk Assessment and Graphic Information Models*. Proceedings of the 4th International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage (TechnoHeritage 2019), March 26-30, 2019. Sevilla: CRC Press, pp. 31-35

Montero Vilar, P. y García Gómez-Tejedor, J. (2022) Risk Management and Emergency Plan for Collections Case Study: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía and its PROCOERS Plan. En: *Resilient heritage = Dediščina, ki kljubuje. Conference*.

ICOMOS *Slovenia & Slovensko nacionalno združenje za spomenike in spomeniška območja.* Ljubljana: ICOMOS.

Disponible en: https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2832/1/Icomos_Monografija_04_WEB.pdf [Consulta: 23/10/2023]

Murphy, M., McGovern, E. y Pavia, S. (2009) Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, vol. 27, n.º 4, pp. 311-327

Myers, D., Dalgity, A., Avramides, I. y Wuthrich, D. (2012) Arches: an open source GIS for the inventory and management of immovable cultural heritage. En: *Progress in Cultural Heritage Preservation*, 4th International Conference, EuroMed 2012, Limassol, Cyprus. Berlín Heidelberg: Springer, pp. 817-824

OEPAC (2023a) *Observatorio de Emergencias en Patrimonio Cultural.* Disponible en: https://oepac.es/ [Consulta: 30/03/2023]

OEPAC (2023b) Desarrollos. Disponible en: https://oepac.es/desarrollos/ [Consulta: 30/03/2023]

Ortiz, R., Ortiz, P., Martín, J.M. y Vázquez, M.A. (2016) A new approach to the assessment of flooding and dampness hazards in cultural heritage, applied to the historic centre of Seville (Spain). *Science of the Total Environment*, vol. 551, pp. 546-555

Parcero-Oubiña, C., White, P.V., Güimil-Fariña, A., Blanco-Rotea, R., López, M.F.P., Herrero, A.S. y García, C.G. (2013) GIS-based tools for the management and dissemination of heritage information in historical towns. The case of Santiago de Compostela (Spain). *International Journal of Heritage in the Digital Era*, vol. 2, n.º 4, pp. 655-675

Pedersoli, J.L., Antomarchi, C. y Michalski, S. (2017) *Guía de gestión de riesgos para el Patrimonio Museológico*. Roma: International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property y Canadian Conservation Institute. Versión en español de IBERMUSEOS

ResCult Project (2023) *ResCult. Increasing Resilience of Cultural heritage: a supporting decision tool for the safeguarding of cultural assets.* Disponible en: https://www.rescult-project.eu/ [Consulta: 30/03/2023]

Sánchez-Aparicio, L.J., Masciotta, M.G., García-Álvarez, J., Ramos, L.F., Oliveira, D.V., Martín-Jiménez, J.A. y Monteiro, P. (2020) Web-GIS approach to preventive conservation of heritage buildings. *Automation in Construction*, vol. 118

Teo, T.A. y Cho, K.H. (2016) BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning. *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, n.º 3, pp. 268-282

VINCOLI in rete (2023) Disponible en: http://vincoliinrete.beniculturali.it/ [Consulta: 30/03/2023]

Zhu, J., Wright, G., Wang, J. y Wang, X. (2018) A critical review of the integration of geographic information system and building information modelling at the data level. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 7, n.º 2, 66