Evaluación del impacto por el cambio climático en sitios arqueológicos: estado de la cuestión

Avaliação do impacto das alterações climáticas nos sítios arqueológicos: ponto da situação

Assessment of the impact of climate change on archaeological sites: state of play

ELENA GARCÍA MARTÍNEZ

Universidad Complutense de Madrid, España

*mariae80@ucm.es

Resumen

En la actualidad, cualquier programa o plan de gestión en patrimonio cultural sería poco riguroso si no se consideraran las estrategias que valoren el impacto del cambio climático en los bienes, adapten sus proyectos a esos efectos y mejoren la sostenibilidad en sus intervenciones. Desde el principio del presente siglo se han acelerado los esfuerzos por sistematizar evaluaciones que integren, tanto la exposición a los impactos climáticos como la vulnerabilidad del patrimonio cultural. El presente trabajo tiene por objetivo revisar el recorrido de los proyectos impulsados por entidades europeas que han implementado evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad derivadas de los efectos del cambio climático en el patrimonio cultural, mediante casos de estudios en sitios arqueológicos. Su valoración crítica determinará el actual estado de la cuestión, y permitirá establecer líneas de actuación para una adaptación eficaz al reto que representa el cambio climático.

PALABRAS-CLAVE

Exposición
Sensibilidad
Vulnerabilidad
Capacidad de adaptación
Resiliencia

Resumo

Atualmente, qualquer programa ou plano de gestão do património cultural seria negligente se não considerasse estratégias para avaliar o impacto das alterações climáticas no património cultural, adaptar os seus projetos a esses efeitos e melhorar a sustentabilidade das suas intervenções. Desde o início deste século, aceleraram-se os esforços para sistematizar avaliações que integrem tanto a exposição aos impactos climáticos como a vulnerabilidade do património cultural. O objetivo deste artigo é analisar o progresso dos projetos europeus que implementaram avaliações de risco e vulnerabilidade dos efeitos das alterações climáticas no património cultural através de casos de estudos de estações arqueológicas. A sua avaliação crítica determinará o estado atual da questão e permitir-nos-á estabelecer linhas de ação para uma adaptação eficaz ao desafio colocado pelas alterações climáticas.

PALAVRAS-CHAVE

Exposição
Sensibilidade
Vulnerabilidade
Capacidade de adaptação
Resiliência

Abstract

Currently, any cultural heritage management program or plan would be weak if it did not include strategies for assessing the impact of climate change on properties, adapting its projects to these impacts, and improving the sustainability of its interventions. Since the beginning of this century, efforts to systematise assessments that integrate both exposure to climate impacts and vulnerability of cultural heritage have accelerated. The aim of this work is to review the progress of European projects that have carried out risk and vulnerability assessments of climate change impacts on cultural heritage, using case studies of archaeological sites. Their critical assessment will determine the current state of the art and allow us to identify lines of action for effective adaptation to the challenge posed by climate change.

KEYWORDS

Exposure
Sensitivity
Vulnerability
Adaptability capacity
Resilience

Introducción

La implicación del patrimonio cultural en la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático no fue estudiada en las etapas iniciales de la implantación de estrategias globales, si bien, numerosos ejemplos dieron la voz de alarma de esa necesidad, y en especial, en los casos de los eventos extremos y sus graves consecuencias [1].

En los últimos años esta situación se ha ido paliando gracias al trabajo de profesionales y organismos internacionales. Prueba de ello es el último informe realizado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC y sus informes Assessment Report, AR), que reconoce que el cambio climático no solo afecta a los ecosistemas y sociedades del pasado, sino también a los restos que han dejado. También llama la atención sobre la progresiva pérdida de restos arqueológicos y de sitios históricos, así como los archivos naturales de datos paleoambientales, que a menudo se pasan por alto [2].

A continuación, vamos a revisar algunas de las estrategias que han proporcionado las directrices y un marco de actuación a los proyectos que son objeto de revisión en el presente artículo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha realizado en los últimos 20 años una extensa labor investigadora y divulgativa sobre posibles formas de enfrentarse a los impactos climáticos. En su Decisión 30 propone una estrategia para la reducción de riesgos, presentada en *Policy document on the impacts of climate change on world heritage properties uses* [3-4]. Esta preocupación es una constate en la organización, y queda reflejada en diferentes publicaciones como *Gestión del riesgo de desastres para el patrimonio cultural* [5].

Por su parte, el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), como órgano asesor de la UNESCO en sus estrategias de acción climática y patrimonio, cuenta con el grupo de trabajo específico, *Climate change working group*. Entre sus iniciativas destacamos la publicación del documento titulado *The future of our past: engaging cultural heritage in climate action* [6]. Una de las razones por las que este informe ha resultado ser un referente en investigaciones posteriores se debe a que no solo establece directrices, sino que tiene un marcado carácter práctico que desarrolla en las tablas de correlación entre las amenazas del cambio climático y las categorías patrimoniales.

En el contexto europeo, la *Recomendación 238* del año 2010 de la Comisión de la Unión Europea (UE) reconoce la necesidad de poner en marcha una programación para la investigación en patrimonio cultural, cambio climático y seguridad, enmarcando gran parte de los proyectos que analizaremos en el apartado de "Resultados" [7].

En el año 2013 la UE promueve la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático, que sienta las bases y los principios sobre la política comunitaria en materia de adaptación. Esta estrategia se gestiona a través de la plataforma *Climate-ADAPT* (Climate-ADAPT) [8], asociación entre la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), y cuenta con el apoyo del Centro Temático Europeo sobre los Impactos del Cambio Climático, la Vulnerabilidad y la Adaptación (ETC/CCA).

De igual forma, el Consejo de Europa en el año 2017 establece su Estrategia Europea del patrimonio cultural para el siglo XXI [9]. En el Año Europeo del Patrimonio Cultural, junto la UE y UNESCO, proponen un enfoque integrado en el Marco Europeo de Actuación sobre el Patrimonio Cultural [10]. En su pilar número tres sobre "el patrimonio cultural para una Europa más resiliente", destaca la línea de acción dirigida a proteger el patrimonio cultural frente a los desastres naturales y el cambio climático. Esta línea se refuerza en las conclusiones del año 2020 sobre Gestión de riesgos en el patrimonio cultural, del Consejo de la UE [11].

Europa Nostra e ICOMOS, en 2021 redactan el Libro Verde del Patrimonio Cultural Europeo, que describe la necesidad de ayudar a crear puentes y cooperación entre el patrimonio, la cultura, la sostenibilidad, la ciencia y la acción climática, para inspirar nuevos enfoques para que Europa pueda lograr su transición verde [12].

Durante los años 2021 y 2022, expertos de la Comisión de la Unión Europea, presentan dos informes sobre patrimonio cultural y cambio climático. El primero titulado *Strengthening cultural heritage resilience for climate change* [13]. En ese documento se aportan las recomendaciones para los políticos y responsables de la toma de decisiones en patrimonio a todos los niveles de la Unión Europea. Su Anexo 2 identifica 83 ejemplos de buenas prácticas en Europa. El segundo es resultado de la colaboración de dos programas europeos *Joint Programming Initiatives, JPIClima y JPIHeritage, titulado WHITE PAPER. Cultural Heritage and Climate Change: New challenges and perspectives for research*, documento estratégico que integra los resultados de la investigación en los dos campos [14].

La Agenda Global de Investigación y Acción sobre Cultura, Patrimonio y Cambio Climático, es el resultado de la colaboración científica entre ICOMOS, UNESCO e IPCC. El documento sintetiza las contribuciones de los más de 100 participantes de todo el mundo que intervinieron en la Reunión Internacional sobre Cultura, Patrimonio y Clima (ICSM-CHC), que se llevó a cabo en diciembre de 2021. El trabajo explora las sinergias entre la cultura, el patrimonio y el cambio climático y establece, en su segundo eje o área de interés, "el estudio de la pérdida, el daño, la vulnerabilidad y la comprensión de los riesgos" [15].

Por su parte, el grupo de trabajo sobre cambio climático del ICOMOS redacta, en marzo del 2023, la Guía de Adaptación, con recomendaciones de buenas prácticas en medidas de adaptación del patrimonio al cambio climático [16].

Por último, haremos referencia a la recomendación del European Committee for Standardization (CEN), EN 17652:2022, titulada *Cultural heritage - Assessment and monitoring of archaeological deposits for preservation in situ*, elaborada por el comité técnico CTN-UNE 41 Construcción.

Esta norma tiene como objetivo establecer un marco de toma de decisiones para la conservación in situ de yacimientos arqueológicos, e identifica los mecanismos de evaluación y, en su caso, seguimiento de estos lugares. Contempla los riesgos derivados del cambio climático en la caracterización de las condiciones ambientales, si bien, sólo en el caso de la temperatura [17].

El objetivo principal es por tanto la revisión y valoración crítica de los proyectos patrimoniales derivados de estrategias europeas, que han propuesto evaluaciones de vulnerabilidad de sitios arqueológicas derivados de los efectos del cambio climático.

Metodología

La metodología seguida en la investigación está centrada en una búsqueda y análisis de proyectos de investigación que permitieran elaborar una línea temporal en la evaluación de riesgos y de vulnerabilidad climática en los sitios arqueológicos. Una primera aclaración a este respecto es que en el presente trabajo entendemos la evaluación de vulnerabilidad como un proceso de identificación, predicción y valoración de los efectos del cambio climático sobre el patrimonio cultural, en nuestro caso patrimonio arqueológico construido (tangible), dejando sus valores intangibles y significancia a futuras investigaciones.

Los proyectos revisados presentan dos metodologías diferenciadas. Por un lado, los que se basan en estudios de casos, y que proponen avanzar en la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación de sitios arqueológicos y por otro, los proyectos que tienen por objetivo analizar herramientas y tecnologías capaces de caracterizar y monitorizar amenazas, especialmente sistema de alertas tempranas antes eventos extremos.

Esta revisión tiene como eje vertebrador los programas de investigación promovidos desde la Unión Europea, el primero de ellos *Noah´s Ark*, 2004-2007 y, por tanto, el alcance temporal del análisis parte del comienzo del presente siglo hasta la actualidad y se limita al ámbito europeo.

También queremos destacar que los términos empleados para definir los parámetros involucrados en las evaluaciones se han ido transformado para ajustarse a los nuevos objetivos y actuaciones a realizar, por lo que a continuación definimos los que emplearemos en el presente artículo.

A lo largo del trabajo nos referiremos específicamente a los informes AR que genera el Panel Internacional sobre Cambio Climático, IPCC. Los estudios sobre el clima futuro se apoyan en simulaciones numéricas que exploran la evolución del clima medio y de su variabilidad. Este aspecto queda recogido en la expresión "proyección climática", entendida como "la respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios" [18]. El IPCC define escenario como "descripción plausible, y generalmente simplificada, sobre cómo puede desarrollarse el futuro, basada en una serie de asunciones consistentes y coherentes entre sí. Conjunto de hipótesis de trabajo sobre cómo puede evolucionar la sociedad y qué puede suponer esa evolución para el clima" [19].

Estos escenarios se denominan "Trayectorias de Concentración Representativas" (RCP, de sus siglas en inglés). Y aunque existen cuatro escenarios en los informes AR en el presente trabajo haremos referencia a al RCP 4.5, siendo éste el escenario más favorable y RCP 8.5 al más alarmante.

Por otro lado, también se establecen "horizontes", plazos de tiempo, diferenciando horizonte próximo (2046-2065) al lejano (2081-2100).

En cuanto al glosario empleado, a continuación, definiremos los términos que entendemos imprescindibles para el seguimiento de la línea argumental del artículo, e incluidos en el informe especial del IPCC [20]. En el caso de la sensibilidad y cadena de impacto, se incluyen en la norma UNE-EN ISO 14091, que a su vez está basado en el informe AR5 [21] y titulado, Adaptación al cambio climático directrices sobre la vulnerabilidad, los impactos y la evaluación del riesgo [22]:

- Exposición: la presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos medioambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente;
- Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectado negativamente; la vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación;
- Capacidad de adaptación: capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias; esta entrada del glosario se basa en definiciones utilizadas en informes anteriores del IPCC y en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [23];
- Resiliencia: capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosos respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación [24];
- Sensibilidad: grado en el cual un sistema o especie son afectadas, ya sea en forma adversa o benéfica, por el cambio o la variabilidad del clima;
- Cadena de impacto: el enfoque analítico que permite entender cómo es que peligros dados generan impactos directos o indirectos.

Resultados

La investigación sobre la cuantificación de los impactos del cambio climático en bienes culturales, para el establecimiento de estrategias de protección a largo plazo, se ha fortalecido durante los últimos 15 años. En este apartado revisaremos cronológicamente algunos proyectos que consideramos de interés, por sus aportaciones a dicho ámbito de estudio.

Como hemos mencionado, el proyecto que constituyó el primer enfoque científico para las siguientes investigaciones fue *Noah´s Ark*, coordinado por *Consiglio Nazionale delle Ricerche,* Italia. Sus conclusiones se presentan en un Atlas de Vulnerabilidad [25]. El proyecto se centraba en procesos lentos de deterioro como cristalización de sales o biodeterioro, tanto en materiales pétreos, madera y metales. Establecía una matriz en la que parámetros climáticos, riesgos e impactos se interrelacionaban, aportando a continuación estrategias de mitigación y adaptación para diferentes materiales patrimoniales. Aunque de obligada mención, este proyecto no describía ninguna aproximación a un método de evaluación.

A partir de este trabajo los esfuerzos se centraron en la búsqueda de nuevas herramientas de análisis y monitoreo. Los proyectos que sentaron las bases fueron *Heracles* y *Storm*, que se desarrollan dentro del Programa Marco de la Unión Europea Horizonte 2020 y se han centrado en el desarrollo de sistemas y soluciones de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) con el objetivo de fortalecer la resiliencia de los recursos culturales a los efectos del cambio climático y los peligros naturales.

Heritage Resilience Against Climate Events on Site, Heracles, fundamenta su investigación a través de cuatro estudios de caso; las murallas y el palacio de *Consoli en Gubbio* (Italia) y el palacio minoico de *Knossos* y la fortaleza costera de *Koules* (Creta).

Entre las herramientas empleadas destacan diferentes modelos como los geomorfológicos mediante un software GIS, que permite mapear la susceptibilidad de deslizamientos; modelos hidrodinámicos y modelos de cambio climático basado en simulaciones, con una resolución de 12,5 Km, calculados con los escenarios RCP8.5 del informe AR5 del IPCC. También se realizó un estudio analítico *in situ* de los materiales constituyentes de los bienes patrimoniales, así como de las condiciones ambientales.

En su entregable D1.3 describe las metodologías para la evaluación del impacto climático y análisis de riesgo y vulnerabilidad que se divide en seis pasos consecutivos que se agrupan para la identificación-estimación-evaluación de riesgos.

En su entregable D7.2, se detallan unas tablas (1 y 2) con los factores ambientales y alteraciones respectivamente, que afectan a los casos de studio.

Queremos destacar el desarrollo de los indicadores de vulnerabilidad y exposición que se determinan, en el caso de eventos extremos, con ayuda de los modelos climáticos en el caso de la vulnerabilidad y gracias a la modelación estructural de la degradación de los materiales, en el caso de la exposición.

La evaluación de riesgos es un análisis multicriterio y consiste en obtener una matriz por cada amenaza de cada caso de estudio, reflejados en una cuadrícula en el que cada celda tiene un resultado que se obtiene de la probabilidad asociada a cada amenaza. Las conclusiones se detallan de forma descriptiva en el entregable D1.2 [26].

El proyecto *Safeguarding Cultural Heritage through Technical and Organisational Resources Management, Storm*, fue coordinado por *Engegneria Informatica Spa* de Roma (Storm). Su objetivo fue diseñar un sistema capaz de realizar una evaluación de riesgos sobre peligros naturales y los derivados del cambio climático. Los estudios piloto se llevaron a cabo en sitios patrimoniales de gran relevancia como es el caso de las Termas de Diocleciano, participando, además de Italia, Grecia, Reino Unido, Portugal y Turquía. Simultáneo al proyecto *Heracles*, dicha investigación comparte el uso de nuevas tecnologías para su estudio como es el caso de los sensores acústicos inalámbricos, así como técnicas de levantamiento y diagnóstico, incluidas *Laser Imaging Detection and Ranging* (LIDAR) [27].

En cuanto a su metodología de evaluación se describe en su informe oficial D5.2 titulado *Risk Management Tool*, basándose en los parámetros establecidos en el informe AR5 del IPCC. Un ejemplo sería los resultados descritos en el caso de estudio de la evaluación de la vulnerabilidad en las ruinas romanas de Tróia, Portugal [28].

INTERREG Europa es el programa financiado por la Unión Europea con el objetivo de favorecer estrategias transfronterizas, dentro de las cuales se integran los proyectos *ADAP Northern Heritage, Cherish, ProteCHt2save* y *Strench* que revisaremos a continuación.

ADAPT Northern Heritage, coordinado por *Historic Environment Scotland*, presenta la novedad de la colaboración transfronteriza de países del norte de Europa cuyas características como, dispersión geográfica, entorno severo, etc., dificultan a las comunidades y autoridades la gestión activa de su patrimonio cultural. El proyecto desarrolló una herramienta para evaluar los riesgos y vulnerabilidades de los lugares históricos y brindar orientación para la gestión de medidas estratégicas de adaptación. Entre sus estudios de casos se incluye la ruina abadía de Ballinskellings, del siglo XII, ubicada en la costa atlántica irlandesa.

La evaluación es cualitativa, y caracteriza las amenazas aplicando un valor en un rango entre 1 y el 16, tanto en las tendencias climáticas actuales como las predecibles en un horizonte del año 2070. Se representan en una matriz o ficha con los impactos observables y potenciales. Posteriormente facilita una lista de medidas para favorecer la adaptación [29].

El proyecto *Climate, Heritage and Environments of Reefs, Islands and Headlands, Cherish,* en la línea del anterior, está centrado en los sitios patrimoniales que se encuentran en las costas del Mar de Irlanda. Financiado por la UE, entre 2017 y 2023, consiste en monitorear y comprender los impactos pasados, presentes y futuros cercanos del cambio climático en los sitios patrimoniales y paisajes a lo largo de las costas y mares de Gales e Irlanda. Se basa en el empleo de herramientas LIDAR y fotogrametría entre otros, para la planificación y la gestión patrimonial. Utiliza modelos 3D de los estudios de caso para valorar la vulnerabilidad y recomendar pautas de mantenimiento en puntos estratégicos de las estructuras. En el caso de los sitios arqueológicos se usan diferentes técnicas geofísicas como el georradar o la resistencia eléctrica [30].

Dentro de este marco se desarrolla el Proyecto *Interreg Central Europe, Risk assessment and sustainable protection of cultural heritage in changing environment, ProteCHt2save*, con la participación de un consorcio de países centroeuropeos. Los objetivos son: identificación de áreas expuestas a riesgos en Europa Central, determinar la vulnerabilidad de conjuntos monumentales y establecer planes de salvaguarda ante situaciones de emergencia. Sus resultados consisten en una herramienta de mapeo GIS, con una resolución de celda de 12 km^2, de predicciones climáticas basadas en el informe AR5 y con los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. y un horizonte del año 2100. En este trabajo hay que destacar la elección de índices de seguimiento climático, como cantidad de precipitación acumulada o días de sequía, entre otros, y que proyectos posteriores han estandarizado en sus propuestas [31].

La plataforma GIS, durante la redacción del presente trabajo, se está actualizado con el soporte del proyecto *Strench*, y con el apoyo de los servicios del *Global Monitoring for Environment and Security*, COPERNICUS, en un proyecto coordinado y gestionado por la Comisión Europea [32].

Por su parte el programa *Strengthening resilience of cultural heritage at risk in a changing environment through proactive transnational cooperation, Strench*, fue coordinado por Institute of Atmospheric Sciences and Climate National research Council of Italy, y se realizó gracias a la ayuda del programa COPERNICUS [33]. En su entregable DT1.2.2. establece una metodología para evaluar la vulnerabilidad ante los eventos extremos consistente en identificar de forma cuantitativa la susceptibilidad, la exposición y la resiliencia, a partir de unos coeficientes calculados y ponderando diversos criterios y subcriterios [34].

El proyecto *Sustainable Historic Environments hoListic* reconstruction through *Technological Enhancement, Shelter*, está coordinado por Fundación Tecnalia Research & Innovation, y tiene como objetivo mejorar la resiliencia de las áreas históricas con un especial interés en la acción participativa de la comunidad. España, contribuyó con el estudio de caso del Parque Natural de

Baixa Limia-Serra do Xurés reserva de la Biosfera Transfronteriza, junto con el Parque Nacional de Peneda-Gerês, en Portugal [35].

Sus resultados se expresan en cadenas de impacto divididas en tres bloques principales. El primero sería la caracterización de los impactos, siempre referida a eventos extremos, y su valoración, cualitativa, en referencia a los parámetros expresados en el AR5. El segundo bloque es la identificación de los receptores en patrimonio, infraestructuras y en el ámbito social. El último bloque se refiere a la vulnerabilidad en tres niveles que se corresponde con los siguientes receptores: a) estructural referida a la pérdida de patrimonio; b) funcional referida a la inoperatividad de actividades o infraestructuras; y c) social y económica. Esta metodología, con un enfoque más ambicioso en cuanto al alcance socio-económico, es la que se lleva a cabo en los actuales proyectos. Contempla un estudio más amplio en cuanto al análisis de riesgo de la población y pérdidas de infraestructura que otras propuestas revisadas. Los resultados de los estudios de casos se pueden consultar en la documentación de los informes finales [36-37].

Por último, revisamos el programa *Development of a Decision Support System for Improved Resilience & Sustainable Reconstruction of historic areas to cope with Climate Change & Extreme Events based on Novel Sensors and Modelling Tools, Hyperion*, coordinado por Erevnitiko Panepistimiako Institouto Systimaton Epikoinonion Kai Ypologiston, Grecia. España participa, a través de la Universidad de Granada, con el estudio experimental, aún en curso, en los barrios del Albaicín y el Realejo (Granada) [38].

Hyperion aprovechará las herramientas y servicios existentes (p. ej., modelos climáticos de eventos extremos y sus impactos, modelos de descomposición de materiales de construcción, servicios de Copernicus, etc.), diferentes tecnologías (imágenes terrestres y satelitales para inspección de áreas amplias, aprendizaje automático avanzado, etc.). Se pretende ofrecer una plataforma integrada de evaluación de la resiliencia, que aborde la comprensión del riesgo de amenazas múltiples, y la reconstrucción sostenible de áreas históricas. La vulnerabilidad se representa en mapas de riesgo asociados a escala 1×1 km (zona histórica), y funciones de daño específicas para materiales del patrimonio cultural. Sin embargo, la página web del proyecto no facilita aún el acceso a estos mapas. La vulnerabilidad de los casos de estudio en los inmuebles es una investigación sobre cómo responderían los materiales constitutivos a las futuras condiciones climáticas. Destacamos entre los estudios de caso las fortificaciones de la ciudad de Rhodas.

Tabla 1. Resumen de las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo de los proyectos revisados en el apartado anterior.

Proyectos	Años	Evaluación de vulnerabilidad climática
Noah´s Ark	2004-2007	No realiza una evaluación; modelización de las amenazas y propuesta de medidas de adaptación para diferentes materiales
IPCC. AR5	2014	$R=f(P,E,V)$; $V=f(S,CA)$
Heracles	2016-2018	$R=(V \times E) \times P$
Storm	2016-2019	$R=f(A,E,V)$; $V=f(S,CA)$
ADAPT Northern Heritage	2017-2020	Valoración cualitativa del impacto de las amenazas, actuales y horizonte 2070, en un rango predeterminado
ProtechtCHT2save	2017-2020	Elaboración de mapa de riesgos de Europa central para eventos extremos, lluvias torrenciales, inundaciones y sequías. COPERNICUS
Cherish	2017-2022	3D interactivo de los casos de estudio con descripciones de la vulnerabilidad de las estructuras
Strench	2020-2022	$V=0{,}70 \times S+0{,}30 \times E-0{,}30 \times Re$; $0<V<1$
IPCC.AR6	2022	$R=f(P,E,V)$; $V=f(S,CA)$
Shelter	2019-2023	Caracterización del riesgo: $R=f(A,E,V)$; $V=f(S,CA)$. Marco conceptual expresado en cadenas de impacto a tres escalas, estructural, funcional y social-económica
Hyperion	2019-2023	La evaluación de la vulnerabilidad centrada el estudio de la degradación de los materiales constitutivos. La evaluación de la resiliencia se basa en los modelos socioeconómicos de los sitios.
EN 17652	2022	La evaluación mide el riesgo a la pérdida de vestigios de interés patrimonial en relación a la gravedad de unas condiciones ambientales y a su estado de conservación de forma cualitativa

V=Vulnerabilidad; P=A= Peligro o Amenaza; Re=Resiliencia; R=Riesgo; S=Sensibilidad; CA= Capacidad de Adaptación; E=Exposición

La primera valoración de los proyectos analizados tiene que ver con la variablilidad de los resultados, en gran medida dependiente del ámbito particular de investigación de las instituciones involucradas. El análisis sistemático del conjunto de experiencias ha permitido detectar problemas y carencias, a las que los grupos fueron respondiendo con renovaciones metodológicas y el empleo de nuevas tecnologías. Pero siempre con el objetivo compartido de promover una mejor conservación del patrimonio cultural frente el cambio climático.

En este sentido proyectos como *ProtechtCHT2save* [39], tiene como prioridad evaluar herramientas y tecnologías capaces de caracterizar y monitorizar amenazas por lo que sus resultados determinan la efectividad de las mismas. Por otro lado, existen proyectos organizados en consorcios de países en los que el objetivo se centra en estudiar la capacidad de adaptación o resiliencia de los sitios patrimoniales a su cargo, además del empleo de tecnologías de investigación punteras. Un ejemplo de lo anterior sería el programa de mantenimiento desarrollado en el proyecto *Heracles* [40] para los estudios de caso incluidos.

En cuanto a la metodología en las evaluaciones de vulnerabilidad, se puede observar que en los proyectos iniciales se intenta una aproximación a las recomendaciones de los informes AR, y los resultados se encajan en los parámetros establecidos tanto de forma cualitativa como *Heracles* o cuantitativa como *Strench* [41], aunque éste último sustituye la capacidad de adaptación por la resiliencia. Este cambio de parámetro es ya una constante en todos los siguientes proyectos, ya que aporta un mayor alcance en el ámbito social. De igual forma, la vulnerabilidad, engloba términos que se dejan de usar como parámetros individualizados, es el caso de la sensibilidad, adquiriendo un carácter más integrador.

En relación a la Tabla 1, es destacable la tendencia a la realización de valoraciones descriptivas, tanto a modo de fichas como sería el caso de *ADAPT Northern Heritage* [29] o como en cadenas de impacto, en las que la información expresa interconexiones de interés, como sería el caso del proyecto *Shelter* [42].

En cuanto al método de evaluación en los proyectos revisados, con vistas a su posible implementación en futuros trabajos, es de interés tener en cuenta el grado de complejidad en cuanto a los medios empleados que, en nuestra opinión, es directamente proporcional al alcance del bien a gestionar. Un ejemplo sería la necesidad de programas GIS y aplicaciones para conjuntos patrimoniales a nivel regional en los que su extensión territorial requiera, por parte de los gestores, una visión jerarquizada de los problemas y una documentación actualizada y ágil.

Un ejemplo práctico sería el plan de adaptación al cambio climático del patrimonio construido y arqueológico del gobierno de la República de Irlanda [43], Escocia [44], o Gales [45].

Fuera de la dinámica de los proyectos europeos de investigación patrimonial destacamos la recomendación del European Committee for Standardization (CEN), EN 17652:2022, ya mencionada *Cultural heritage – Assessment and monitoring of archaeological deposits for preservation in situ*.

En su Anexo C, ejemplifica la clasificación de un yacimiento, que consiste, en una caracterización del estado de conservación y de las condiciones ambientales, ambas cualitativas, entre excelente a muy malo. La clasificación de los riesgos es un listado de factores estudiados como, interés del yacimiento y consecuencias del deterioro sobre los bienes arqueológicos más importantes, entre otros. La evaluación resulta de una matriz en la que se relaciona el estado de conservación con las condiciones ambientales. De esta forma se categoriza el riesgo entre bajo/medio/alto/inmediato según sea la pérdida de vestigios de interés patrimonial [17, Anexo C].

Conclusiones

Una de las reflexiones más obvias, es la carencia, en el ámbito patrimonial y particularmente en relación a bienes inmuebles, de un método consensuado para la evaluación del estado de

conservación que ayude a la toma de decisiones y a priorizar medidas de actuación. Esta carencia de consenso ya ha sido identificada en otros aspectos de la conservación de patrimonio arqueológico, como son las relativas a estrategias en los procesos participativos y divulgativos [46].

Una metodología de evaluación consensuada sería de gran ayuda y complementaría otras evaluaciones patrimoniales, en las que los efectos derivados de cambio climático se tratan desde la perspectiva medioambiental y obviando las repercusiones en los bienes patrimoniales involucrados. Es decir, introducir mejoras en las Evaluaciones de Impacto Patrimonial (en adelante HIA acrónimo de *Heritage Impact Assessemnt*) que se realizan en el marco de la Evaluaciones de Impacto Ambiental (en adelante EIA). Un ejemplo de esto sería la EIA derivado del Proyecto de la vía A303 *Amesbury to Berwick Down* a su paso por *Stonehenge* [47].

La normativa de las EIA está muy consolidada en el territorio europeo, derivada de las Directivas de 2001 y 2021 sobre las evaluaciones de impacto ambiental de planes, programas y proyectos [48-49]. Las IEAs, independientemente del país europeo del que se trate, debe contemplar la evalución de los efectos derivados del cambio climático en el territorio y por otro lado los impactos que el proyecto pudiera producir en los bienes patrimoniales.

Una HIA puede definirse como un proceso de identificación, predicción y valoración de los efectos de una acción sobre el patrimonio cultural. Así, busca aportar información en el proceso de toma de decisiones previo a la realización de la acción y su objetivo es prevenir y mitigar el impacto, facilitando el diálogo de los actores implicados [50].

En cualquier caso y generalmente, ambas evaluaciones no se cruzan, sino que se evalúan por separado los efectos del cambio climático en el medioambiente y los derivados del proyecto a ejecutar en el patrimonio cultural. Por todo ello, desde estas líneas, sugerimos la búsqueda de un consenso en la forma de evaluar, que podría enriquecer los resultados de las EIA con efectos positivos en el patrimonio.

Independientemente de la situación que provoque la evaluación, en la práctica, creemos que hay que tener en cuenta el alcance del bien a evaluar, que va a determinar los recursos necesarios y por tanto la metodología a seguir, considerando que el fin último persigue la implantación de un programa de seguimiento y unas medidas de actuación eficientes.

Agradecimientos

A los doctores Marta Plaza Beltrán y Fernando Carrera Ramírez por la supervisión del presente artículo que formará parte de la tesis titulada: Conservación de sitios arqueológicos y cambio climático, matriculada en la Facultad de Bellas Artes. Universidad Complutense de Madrid.

REFERENCIAS

1. UNESCO, *Estudios de Caso. Cambio Climático y Patrimonio Mundial*, World Heritage Centre, Paris (2009).
2. IPCC, *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, eds. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem & B. Rama, Cambridge University Press, Cambridge and New York (2023), https://doi.org/10.1017/9781009325844.
3. 'UNESCO, Decisión. WHC-06/30.COM/19 Paris (2006), https://whc.unesco.org/en/sessions/30COM/documents/ (acceso en 2023-12-19).
4. 'Draft updated policy document on the impacts of climate change on world heritage properties', in *UNESCO – World Heritage Convention* (2021), https://whc.unesco.org/en/decisions/7917/ (acceso en 2023-12-20).
5. *Gestión del riesgo de desastres para el patrimonio mundial*, UNESCO, Paris (2014), https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2753 (acceso en 2023-12-20).
6. *The Future of our past. Engaging cultural heritage in climate action. Technical Report*, International Council on Monuments and Sites – ICOMOS, Paris (2019), https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2459 (acceso en 2023-12-20).
7. 'Recomendación de la Comisión de 26 de abril de 2010 sobre la iniciativa de programación conjunta de investigación «Patrimonio cultural y cambio mundial: un nuevo desafío para Europa» 2010/238/UE', *Diario Oficial de la Unión Europea* (2010), https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:106:0018:0019:ES:PDF (acceso en 2023-12-20).
8. 'About climate-ADAPT', in *Climate ADAPT*, https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/about (acceso en 2023-12-20).
9. 'Decisión 2017/864 del Parlamento europeo y del Consejo 17 de mayo de 2017 relativa a un Año Europeo del Patrimonio Cultural UE (2019) Marco Europeo de Actuación sobre el Patrimonio Cultural', *Diario Oficial de la Unión Europea* (2017), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D0864&from=EN (acceso en 2023-11-11).

10. Comisión Europea, Dirección General de Educación, Juventud, Deporte y Cultura, *Marco europeo de actuación sobre el patrimonio cultural*, Oficina de Publicaciones (2019), https://data.europa.eu/doi/10.2766/98247.
11. General Secretariat of the Council of the European Union, *Council conclusions on risk management in the área of cultural heritage*, Council of the European Union, Brussels (2020), https://www.consilium.europa.eu/media/44116/st08208-en20.pdf (acceso en 2023-11-11).
12. Potts, A., *Libro Verde del Patrimonio Cultural Europeo*, trad. J. A. Alonso, C. Burgos, B. Iturralde y C. Villalba, Europa Nostra, Hague and Brussels (2021), https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2554/1/2021-European%20Cultural%20Heritage%20Green%20Paper-ES.pdf (acceso en 2023-11-11).
13. European Commission: Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, *Strengthening cultural heritage resilience for climate change – Where the European Green Deal meets cultural heritage – Compilation of good practice examples from Member States and third parties participating in the group*, Publications Office of the European Union (2022), https://data.europa.eu/doi/10.2766/31292.
14. JPI Cultural Heritage and JPI Climate, 'Cultural heritage and climate change: new challenges and perspectives for research', in *Cultural Heritage and global change* (2022), https://www.heritageresearch-hub.eu/white-paper-cultural-heritage-and-climate-change-new-challenges-and-perspectives-for-research/ (acceso en 2023-11-11).
15. Morel, H.; Megarry, W.; Potts, A.; Jyoti, H.; Roberts, D.; Arikan, Y.; Brondizio, E.; Cassar, M.; Flato, G.; Forgesson, S.; Masson-Delmotte, V.; Jigyasu, R.; Oumarou H.; Pötener, H.; Sengupta, S.; Sherpa, P. y Veillon, R., *Global research and action agenda on culture, heritage and climate change*, Project Report. ICOMOS & ISCM CHC, Charenton-le-Pont, France & Paris (2022), https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2716 (acceso en 2023-11-11).
16. ICOMOS Climate Action Working Group, *Adaptación al cambio climático* (2023), https://admin.icomos.org/wp-content/uploads/2025/03/CAWG-adaptation-spanish_Final.pdf (acceso en 2023-11-11).
17. 'EN 17652:2022: Cultural heritage – Assessment and monitoring of archaeological deposits for preservation in situ', in *iTeh Standards: CEN/TC 346 - Conservation of cultural property* (2022), https://standards.iteh.ai/catalog/tc/cen/782ad083-d5d4-4d4f-ac6d-36572d262c15/cen-tc-346 (acesso en 2025-05-06).
18. Amblar, P.; Casado, M. P.; Pastor, A.; Ramos, P.; Rodríguez, E., *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*, Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid (2017), https://doi.org/10.31978/014-17-010-8.
19. Matthews, J. B. R; Möller, V.; Diemen, R. van; Fuglestvedt, J. S.; Masson-Delmotte, V.; Méndez, C.; Semenov, S.; Reisinger, A. (coords.), 'IPCC, Annex VII: Glossary', in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou, Cambridge University Press, Cambridge and New York (2021) 2215-2256, https://doi.org/10.1017/9781009325844.029.
20. IPCC, 'Resumen para responsables de políticas', in *Calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*, eds. Masson-Delmotte V.; Zhai, P.; Pörtner, H.-O.; Roberts, D.; Skea, J.; Shukla, P.R.; Pirani, A.; Moufouma-Okia, W.; Péan, C.; Pidcock, R.; Connors, S.; Matthews, J. B. R.; Chen, Y.; Zhou, X.; Gomis, M. I.; Lonnoy, E.; Maycock, T.; Tignor, M.; Waterfield, T., IPCC, s.l. (2018), https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish (acceso en 2023-12-20).
21. Mach, K. J.; Planton, S.; Stechow, C. von (eds.), 'Annex II: Glossary', in *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, eds. Core Writing Team, R. K. Pachauri & L. A. Meyer, IPCC, Geneva (2014) 117-130, https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/ (acceso en 2023-12-20).
22. *UNE-EN ISO 14091 Adaptación al cambio climático directrices sobre la vulnerabilidad, los impactos y la evaluación del riesgo*, UNE-EN ISO (2021) ISO 14091:2021(es), Adaptación al cambio climático — Directrices sobre la vulnerabilidad, los impactos y la evaluación del riesgo (acceso en 2025-05-06).
23. Millennium Ecosystem Assessment (MA), 'Appendix D: Glossary', *in Ecosystems and Human Well–being: Current States and Trends. Findings of the Condition and Trends Working Group*, eds. R. Hassan, , R. Scholes and N. Ash, Island Press, Washington DC (2005) 893-900.
24. Consejo Ártico, *Arctic Resilience Interim Report*. Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, Estocolmo (2013).
25. Sabioni, C.; Brimblecome, P.; Cassar, M., Commission of the European Communities, London (2010).
26. *Heracles project* (2018), http://www.heracles-project.eu/project (acceso en 2023-12-20)
27. Kasnesis, P.; Kogias, D.; Toumanidis, L.; Xevgenis, M. G.; Patrikakis, C. Z.; Giunta, G.; Li Calsi, G., 'An IoE architecture for the preservation of the cultural heritage: the STORM use case', in *Harnessing the Internet of Everything (IoE) for Accelerated Innovation Opportunities*, eds. P. J. S. Cardoso, J. Monteiro, J. Semião & J. M. F. Rodrigues, IGI Global, Hershey (2019) 193-214, https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7332-6.ch009.
28. Ravan, M.; João, M.; Vaz, I.; Brum, P.; Birkmann, J., 'A Vulnerability Assessment Framework for Cultural Heritage Sites: The Case of the Roman Ruins of Tróia', *International Journal of Disaster Risk Science* **14**(1) (2023) 26-40, https://doi.org/10.1007/s13753-023-00463-4.
29. Boro, M.; Hermann, C., 'Assessing risks and planning adaptation guidance on managing the impacts of climate change on northern historic places', in. *AdaptNorthernHeritage project* (2020), https://adaptnorthernheritage.interreg-npa.eu/tools-results/ (acceso en 2023-12-21).
30. *Cherish – Climate, Heritage and Environments of Reefs, Islands and Headland project* (2020), https://cherishproject.eu/en/ (acceso en 2023-12-20).
31. *ProteCHt2save –Risk assessment and sustainable protection of cultural heritage in changing environment* (2020), https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/ProteCHt2save.html (acceso en 2023-12-20).
32. 'Copernicus', in *EUSpace*, https://www.copernicus.eu/es (acceso en 2023-12-11-9).

33. 'Strench', in *Interreg Central Europe*, https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/STRENCH.html (acceso en 2023-12-20).
34. Cacciotti, R.; Drdácký, M., 'Deliverable D.T1.2.2. – Definition of a methodology for ranking vulnerability of cultural heritage', in *Strench project* (2020), https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/STRENCH/CE1665-STRENCH-D.T1.2.2-Vulnerability-ranking.pdf (acceso en 2023-12-20).
35. Shelter – Sustainable Historic Environments hoListic reconstruction through Technological Enhancement and community based Resilience project (2023), https://doi.org/10.3030/821282.
36. 'D6.3 – Adaptive Governance Schemes Mapping', in *Shelter project*(2023), https://shelter-project.com/documents/scientific-publications-and-deliverables/ (acceso en 2023-12-20).
37. 'D6.4 – Historic area resilience coproduction playbook', in *Shelter project* (2023), https://shelter-project.com/documents/scientific-publications-and-deliverables/ (acceso en 2023-12-20).
38. Development of a Decision Support System for Improved Resilience & Sustainable Reconstruction of historic areas to cope with Climate Change & Extreme Events based on Novel Sensors and Modelling Tools project (2023), https://doi.org/10.3030/821054.
39. Sardella, A.; Palazzi, E.; Hardenberg, J.; del Grande, C.; de Nuntiis, P.; Sabbioni, C.; Bonazza, A., 'Risk mapping for the sustainable protection of cultural heritage in extreme changing environments', *Atmosphere* **11**(7) (2020) 700, https://doi.org/10.3390/atmos11070700.
40. Paraskevi, P.; Siatou, A.; Melessanaki, K.; Kalokairinou, E.; Alexandrakis, G.; Ubertini, F.; Cavalagli, N.; Hellmund, T.; Katsaveli, E.; Doukoumetzidis, A.; Lolou, M.; Elpida, A.; Psaroudaki, E.; Kavoulaki, F.; Soldovieri, G.; Grammatikakis, P.; Knezic, A., 'Deriverable D7.2: Methodologies for maintenance, conservation, and restoration', in *Official Report HERACLES* (2018), https://cordis.europa.eu/project/id/700395/results (acceso en 2023-12-20).
41. Cacciotti, R.; Drdácký, M., 'Deliverable D.T1.2.2.: Definition of a methodology for ranking vulnerability of cultural heritage, in *Strench* (2020). https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/STRENCH/CE1665-STRENCH-D.T1.2.2-Vulnerability-ranking.pdf (acceso en 2023-12-19).
42. Koc, E.; Yılmaz, Ö.; Küçük, E.; West, E.; Garcia, G.; Gandini, A.; Egusquiza, A.; Garcia, I., *Specific hazard risk assessment – Deliverable D2.5 Shelter*, online (2022), https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5e6e33982&appId=PPGMS (acceso en 2023-12-19).
43. Daly, C.; Purcell, C.; Donnelly, J.; Chan, C.; MacDonagh, M.; Cox, P., 'Climate change adaptation planning for cultural heritage, a national scale methodology', *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development* **11**(4) (2021) 313-329, https://doi.org/10.1108/JCHMSD-04-2020-0053.
44. Harkin, D.; Hyslop, E.; Johnson, H.; Tracey, E., *A Guia to climate change impact. On Scotland's historic environment*, Historic Environment Scotland, Edinburgh (2019), www.historicenvironment.scot/impacts-guide (acceso en 2024-03-03).
45. 'Historic Environment and Climate Change in Wales', in *Cadw* (2020), https://cadw.gov.wales/advice-support/climate-change/adapting-to-climate-change/historic-environment-and-climate-change (acceso en 2024-06-03).
46. Pastor, A., 'Reflexiones en torno a la socialización de la conservación preventiva arqueológica en España', *Conservar Patrimonio* **37** (2021) 133-147, https://doi.org/10.14568/cp2020017.
47. National Highways, *A303 Amesbury to Berwick Down | 1.4 Response to Bullet Point Four – Environmental Information Review*, National Highways publications, England and Wales (2022), https://nsip-documents.planninginspectorate.gov.uk/published-documents/TR010025-002232-A303.SoM%20Response.BP4%20Environmental%20Information%20Review-1.4.Final%2020220111.pdf (acceso en 2024-06-03).
48. 'Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente', *DOCE* **197** (2001) 30-37, https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2001-81821 (acceso en 2024-06-03).
49. 'Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente', *DOUE* **26** (2012) 1-21. https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2012-80072 (acceso en 2024-06-03).
50. García, E.; Díaz-Sierra, R., 'El patrimonio cultural en las evaluaciones de impacto ambiental', *Ge-Conservacion* **23**(1) (2023) 18-27, https://doi.org/10.37558/gec.v23i1.1148.

RECEIVED: 2024.1.24
REVISED: 2024.2.3
ACCEPTED: 2025.3.10
ONLINE: 2025.5.22

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.
Para ver una copia de esta licencia, visite
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es