

El análisis de riesgos del patrimonio histórico como herramienta de gestión

Vanessa Antúnez Perez; Pilar Ortiz Calderón; Jose Mária Martín Ramírez; Rocio Ortíz Calderón

Departamento de Sistemas Físico, Químicos y Naturales.
Universidad Pablo de Olavide

M. Auxiliadora Vazquez Gonzalez

Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla.

1. INTRODUCCIÓN

El Patrimonio Cultural se ve afectado por dos tipos de riesgos: el primero es una acción continua debido al paso del tiempo y el segundo se asocia a hechos o condiciones ambientales aisladas que puede llegar a causar grandes daños (contaminación, terremotos, inundaciones, riesgos antropogénicos, etc.). Un desastre reciente acaecido sobre una ciudad con un Patrimonio Cultural de relevancia es el terremoto de 5,8 grados en la escala de Richter que tuvo lugar el 5 de abril de 2009, con epicentro en L'Aquila, una ciudad amurallada situada cerca de Roma y la capital de la región de Abruzzo. También el terremoto y tsunami de marzo de 2011 en Japón ha causado numerosos daños al Patrimonio Cultural de ese país. En este sentido la Agencia de Asuntos Culturales de Japón (Bunka-Cho) ha emitido un informe donde se menciona que se han contabilizado, inicialmente, 246 lugares afectados entre los que se encuentran tesoros nacionales, sitios históricos especiales, monumentos naturales, etc. Otros ejemplos son las inundaciones de la República Checa en agosto de 2002 o el incendio del 25 de agosto de 2006 en la Catedral de la Santísima Trinidad de San Petersburgo, incluida en el "Centro Histórico de San Petersburgo y anexos monumental", de la UNESCO desde 1990 que causó el colapso de dos de las cinco cúpulas, incluida la principal. También los últimos acontecimientos y revueltas en el mundo árabe han llevado a alzar las voces de los responsables de la UNESCO para proteger el Patrimonio Histórico frente a estos riesgos.

Para reducir la acción de estos acontecimientos naturales o antrópicos es necesario tener un conocimiento profundo de los objetos, edificios y sitios, y los factores del medio ambiente que les rodea. Para ello, las directrices generales para la evaluación del riesgo de desastres naturales se presentan por la Organización de las Naciones Unidas de Socorro de Desastres de la UNESCO (UNESCO-UNDRO, 1979). El riesgo se corresponde con el valor esperado de la pérdida de elementos debido a los peligros y se puede expresar como el producto de:

Vulnerabilidad: el grado de pérdida de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno natural de una intensidad determinada.

Riesgos: la probabilidad de que un fenómeno, de una intensidad establecido, se puede producir en una zona determinada durante un período determinado de tiempo.

Hay aplicaciones y proyectos específicos que utilizan herramientas integradas para la evaluación de peligros y evaluación de riesgos (Rinaldi, 1992; Luvia, 2003; Andreo, 2006). Los sistemas de información geográficas (SIG) están siendo muy utilizados en una amplia variedad de campos para el estudio de los riesgos ambientales (Giuppani, 2006; Chiessi, 2010; Bolteanu, 2010). Cuando el número de riesgos considerados en el estudio es elevado la evaluación integral se logra mediante la aplicación de modelos probabilísticos, análisis multicriterio y superposición de mapas temáticos donde el método Delphi ocupa un lugar destacado (Coppolillo, 2004; Halpern, 2007; Asprone, 2010).

La aplicación de los SIG para el estudio de los riesgos vinculados al Patrimonio Cultural ha sido descrito en diversos artículos (Canuti, 2000; Lanza, 2003). La aproximación metodológica al análisis del riesgos del Patrimonio Cultural más completa realizada es la Carta o Mapa del Riesgos de Italia (Baldi, 1995), modelo en el que se basa el diseño de esta metodología.

El objetivo del presente trabajo es por tanto mostrar una nueva metodología para crear el mapa de riesgos de una Ciudad Histórica, la integración de datos alfanuméricos y cartográficos sobre el riesgo ambiental (natural y antrópico) y la vulnerabilidad de los monumentos en un sistema de información geográfica (SIG).

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la metodología de elaboración del mapa de riesgos de una Ciudad Histórica se toman las bases establecidas por el Instituto Central para la Restauración Italiano (Carta del Rischio, 2009). La cartografía final de riesgo se calcula como una función del mapa de vulnerabilidad y del mapa de peligrosidad:

$$\text{Riesgo} = f(\text{vulnerabilidad} * \text{peligrosidad})$$

Los mapas de vulnerabilidad evalúan el estado de conservación de cada monumento y los mapas de peligrosidad definen los agentes de alteración probables de la zona y la intensidad de un daño potencial.

Ambos mapas permiten generar el mapa de riesgo global de la ciudad mediante un sistema de información geográfica (SIG), donde la cartografía de peligrosidad se consigue con una metodología distinta a la del mapa de vulnerabilidad, ya que son términos que afectan a la ciudad de forma diferente. La peligrosidad es un concepto que alude a las características del territorio y por tanto su valor es susceptible de ser representado en cada punto de la superficie mientras la vulnerabilidad, sin embargo, es intrínseca al monumento y por tanto un valor puntual georeferenciado en la localización de este.

2.1. Evaluación de la peligrosidad

La peligrosidad, es el componente del riesgo que describe el proceso físico de deterioro de los bienes como consecuencia de la potencial agresión ejercida por los factores territoriales sobre la superficie de la obra o la estructura además del daño causado por actividades directas del hombre (Baldi, 1995). Para elaborar este mapa es necesario conocer y superponer la peligrosidad estático-estructural, ambiental-aire y antrópica.

2.1.1. Mapa de peligrosidad estático-estructural

Los factores de peligrosidad estático-estructural son aquellas características del territorio que condicionan la estabilidad global del monumento como las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas.

Para construir este mapa es necesario diseñar criterios y evaluar los siguientes parámetros:

- a) Sismicidad; en función de la clasificación de intensidades que podría alcanzar un movimiento de tierra en la zona.
- b) Deslizamientos; dependiendo de la geomorfología del área y sus alrededores.
- c) Desbordamientos e inundaciones; en función de la cartografía de ríos y arroyos, estudio de la hidrología y la probabilidad de inundaciones y desbordamientos, proyectos de defensa contra avenidas y/o de encauzamiento.
- d) Dinámica de los litorales; relacionada con la distancia al mar, las curvas de nivel e información histórica.
- e) Aludes; en función de la probabilidad de desprendimientos y proximidad a montañas.
- f) Actividad volcánica; dependiendo de la presencia de volcanes y su historico de erupciones.
- g) Datos geológicos, litológicos y geotécnia; tipo de materiales de suelo y subsuelo.
- h) Presencia de acuíferos; evaluación de su exitencia y localización y de la permeabilidad del suelo.

2.1.1 Mapa de peligrosidad ambiental

Este mapa considera la peligrosidad generada por las variables meteorológicas y la que pueden generar daños por erosión, ennegrecimiento, estrés físico, etc, para lo cual se evalúa:

- a) Variables meteorológicas; se estudian los registros de la termometría, dirección y velocidad del viento, punto de rocío y pluviometría (cantidad anual y torrencialidad).
- b) Variables de contaminación atmosférica; análisis de la concentración de dióxido de azufre (SO_2), partículas en suspensión, monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (en concreto NO_2), principalmente, así como las fuentes de emisión de contaminantes (red principal del tráfico, crecimiento demográfico, cercanía de centros atractores de vehículos, presencia de industrias).
- c) Otras variables que afectan a la erosión, como puede ser las crecidas de ríos y mareas.

En este mapa de peligrosidad hay que tener en cuenta aquellas variables que pueden minimizar el impacto ambiental como la protección climatológica (aislamiento frente a las inclemencias climáticas) y las barreras vegetales (minimizan el nivel de contaminación).

2.1.3. Mapa peligrosidad antrópica

Los parámetros considerados para el estudio del mapa de peligrosidad antrópica de una ciudad son:

- a) Incendios; atendiendo a las características inflamables de los materiales que rodean y constituyen el monumento y su entorno.
- b) Robos y vandalismo; en función de la accesibilidad.
- c) Presión turística; dependiendo del nº de visitas por monumento.
- d) Protección urbanística; análisis de la catalogación y protección bajo la que se encuentra cada monumento dentro de una ciudad. Este tipo de atención al monumento puede ser considerado desde diferentes puntos de vista, sin embargo, uno de los más evidentes, puede ser la conservación del elemento frente a nuevas remodelaciones urbanísticas, desde el inicio de los movimientos de tierra hasta el diseño de la estructura y estética de la edificación. Estos criterios de protección se establecen en los Planes Generales de Ordenación Urbanística (PGOU).
- f) Dinámicas de población; estudio de crecimientos inesperados de población y dinámicas de despoblamiento.

2.1.4. Valoración de factores

Los factores de peligrosidad tienen una frecuencia y una intensidad que varía en función del área y la ciudad estudiada. Estas frecuencias e intensidades de los peligros individuales se han diseñado utilizando una escala relativa que puede llegar a tener cinco niveles como máximo atendiendo a la agresividad que pueden alcanzar. La tabla 1 muestra varios ejemplos de valoración aplicados a la ciudad de Mérida (Antúnez et al, 2010).

Peligro	Justificación	Intensidad					
		+/-	1	2	3	4	5
Presencia de acuíferos	Según la permeabilidad de suelo	-	Impermeable		Semipermeable		Permeable
Lluvia	Según los ml de lluvia que se registren en España anualmente	-	0-400 ml	400-800 ml	800-1200 ml	1200-1600 ml	1600-2000 ml
Protección climatológica	Según la presencia de cubierta, medidas de aislamiento, etc.	+	Intemperie		Cubierta vertical		Aislamiento
Robo y vandalismo: accesibilidad	Según la accesibilidad al monumento	-	Inaccessible (valla alta)			Valla baja	Accessible

Tabla 1: Valores relativos para intensidades de algunos peligros en la ciudad de Mérida.

2.2. Evaluación de la Vulnerabilidad

El estudio del análisis de la vulnerabilidad implica conocer el estado de conservación. Para ello se ha diseñado una ficha de catalogación basada en estudios bibliográficos y evaluaciones in situ.

Cada una de estas fichas individuales consta de los siguientes apartados: figura general, localización, época, función que desempeñaba, materiales de construcción, descripción, excavaciones y/o restauraciones, protección urbanística, otras incidencias, Indicadores de alteración.

2.2.1. Análisis de la vulnerabilidad de un monumento

La vulnerabilidad se ha definido en función del nivel de exposición de un determinado bien a la agresión de los factores territoriales ambientales. Se valora a través de los datos catalogados de las obras y analiza el estado de la superficie, los elementos constructivos, las dinámicas de uso y la seguridad del bien. Para ello se llevan a cabo matrices de vulnerabilidad (MV) adaptadas a

los problemas de conservación del Patrimonio Histórico de acuerdo con la metodología de Galán et al (2006).

Estas matrices de vulnerabilidad enfrenta los parámetros ambientales y antropogénicos (agentes de alteración) con las modificaciones que pueden ocurrir en los materiales, estructura y estética del monumento (variables alteradas), como sistema de análisis del estado actual de conservación. Se trata de matrices causa-efecto de doble entrada donde se analiza la alteración que se produce sobre las variables estudiadas. Para este estudio se necesita un equipo multidisciplinar, compuestos en nuestro caso por dos geólogos, una arquitecta, una química y una licenciada en ciencias ambientales.

Este análisis conlleva la realización de una matriz de caracterización general de la ciudad. Posteriormente se cuantifican matrices de valoración individualizadas que resumen la incidencia del factor en un valor numérico. Para ello, es necesario realizar un estudio visual de las patologías de los monumentos describiendo la frecuencia de aparición y la intensidad del daño.

La frecuencia de aparición se clasifica en tres niveles:

Nivel de frecuencia 1 si el indicador de alteración es difícil de apreciar visualmente

Nivel de frecuencia 2 si se identifica con facilidad

Nivel de frecuencia 3 si su presencia es elevada.

La intensidad del daño causado por los indicadores de alteración es clasificado en cinco clases de acuerdo con los criterios de Fitzner (1995). El nivel cero, correspondería a zonas sin daños, organizado en cuatro clases los indicadores de alteración observados desde el valor 1 para zonas con daño leve al valor 4 para zonas con daño muy grave.

La frecuencia y el daño se combinan en la tabla 2 para obtener un valor numérico de la intensidad de los indicadores de alteración.

	Frecuencia baja (1)	Frecuencia media (2)	Frecuencia alta (3)
Daño leve (1)	1	2	3
Daño moderado (2)	2	3	4
Daño grave (3)	3	4	5
Daño muy grave (4)	4	5	6

Tabla 2: Intensidad de los indicadores de alteración

Una vez se ha realizado la matriz de valoración de cada monumento, la degradación de los materiales de construcción se evalúa mediante el índice de vulnerabilidad (VI%).

El índice de vulnerabilidad se calcula dividiendo el valor total de los indicadores de alteración (V_x) para cada monumento por la suma del valor total de los indicadores de alteración ($\sum vdp$) si su frecuencia fuera 3, que corresponde al caso más desfavorable.

$$VI = \frac{V_x}{\sum_{f=3} vdp} \times 100$$

Una vez calculado el índice de vulnerabilidad de cada monumento, el grado de vulnerabilidad y por tanto la evaluación numérica de su estado de conservación se obtiene mediante una clasificación de la evaluación de daños que se divide en cinco niveles de acuerdo con Galán et al (2006).

EVALUACIÓN DE DAÑOS	
<10%	Muy leve
10-25%	Leve
25-50%	Moderado
50-75%	Grave
>75%	Muy grave

Tabla 3. Calificación de la vulnerabilidad.

Los materiales de construcción pueden ser la causa del propio deterioro de un bien por lo que esta matriz debe evaluar los mapas

litológicos y la frecuencia de litotipos para poder dar un valor global.

A modo de ejemplo, la tabla 4 muestra el análisis de vulnerabilidad de tres monumentos de la ciudad de Mérida: el Arco de Trajano, el Acueducto de los Milagros y el Puente Romano (Antúnez, 2010).

		CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES											
		MATERIALES					ESTRUCTURA						
		COMPOSICIÓN QUÍMICA	TEXTURA	POROSIDAD	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	RESISTENCIA AL FUEGO	ALTERACIÓN SUPERFICIAL	DIRECCIONES	ESTRUCTURA	SISTEMA CONSTRUCTIVO	ESTÉTICA	TOTAL	
PELIGROS	CARACTERÍSTICAS TERRENO	-----											
	SELECCIÓN	-----											
	PRESENCIA DE ACUIFEROS	-----											
	DISTANCIA AL RÍO	-----											
	CLIMATOLOGÍA	VIENTO	-----					5	-----				5
		TEMPERATURAS	-----					5	-----				5
		ALUVA	4	4	4	4	4	10	-----				4
		PUNTO DE ROCIO	-----					4	-----				4
		FUNDAIONES	-----					4	-----				4
	RIESGOS NATURALES	-----											
	AGENTES CONTAMINANTES	-----											
	ACCIÓN ANTRÓPICA	DINÁMICA DEMOGRÁFICA	-----										
		PRESIÓN TURÍSTICA	-----										
		INTERFERENCIAS	-----					3	-----				3
	DINÁMICA DE USO	USO RECREATIVO O LUGAR DE OCHO	-----										
	SEGURIDAD DEL BIEN	ROBOS Y VANDALISMOS	-----					3	-----				3
		OTROS	-----					1	-----				1
	NOTA		1. Impactos físicos 2. cada fila está dividida en tres celdas, la primera pertenece al Arco de Trajano, la segunda al Acueducto de los Milagros y la tercera al Puente Romano.										

Tabla 4: Ejemplo de análisis de vulnerabilidad

2.3. Composición del mapa de riesgos.

Estos factores individuales de peligrosidad y la vulnerabilidad deben ser evaluados y valorados según su peso dentro de la estructura interna del mapa de riesgos, teniendo en cuenta el conjunto global para poder sumarlos en el SIG. En este diseño metodológico, esta valoración se ha realizado con la aplicación del método Delphi (Greiving, 2006).

El método Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos futuros. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Por lo tanto, la capacidad de predicción de la encuesta se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de participantes conocedores del tema (Astigarraga, 1999).

Para la realización de la encuesta se ha consultado un grupo multidisciplinar de siete expertos (un arqueólogo, tres geólogos, una química, un arquitecto y una ambientóloga) relacionados profesionalmente con algún aspecto del Patrimonio Histórico o con el análisis de riesgos. Además se ha llevado a cabo un cuestionario publicado en internet (www.delphimapariesgos.biz) que posibilita el acceso al cuestionario on-line (figura 1). La página web se ha presentado en la 8ª Conferencia de Universidades del Mediterráneo dedicada a los riesgos del Patrimonio Histórico y se ha hecho pública a todos los miembros de la Universidad Pablo de Olavide.



Figura 1: Interfaz de la encuesta de riesgo en Internet (www.delphimapariesgos.biz).

En nuestro caso los factores individuales de peligrosidad estático-estructural, ambiental-aire y antrópico y la vulnerabilidad del monumento están relacionados en la forma que se muestra en la figura 2 según los resultados del método DELPHI.

Esta cuantificación permite superponer y sumar las capas georreferenciadas de los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad.

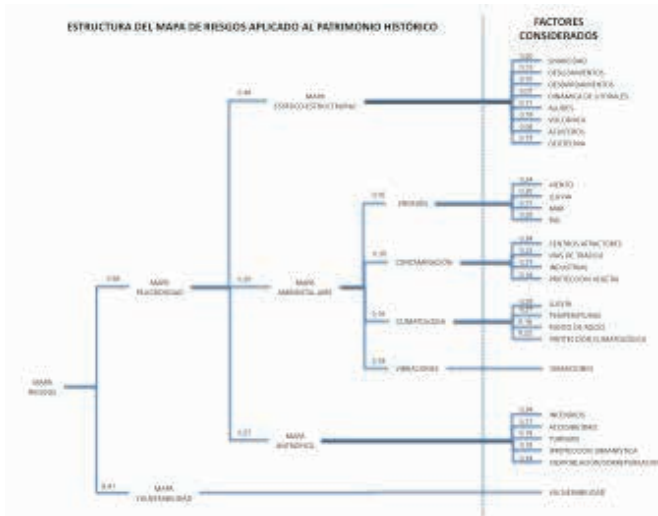


Figura 2: Estructura interna y relación de los factores de peligrosidad y vulnerabilidad en un mapa de riesgos de Patrimonio Histórico.

Los expertos han valorado con mayor peso el mapa de peligrosidad que el de vulnerabilidad dentro de la estructura interna del mapa de riesgos global. Al riesgo estático-estructural se le ha asignado el mayor valor dentro del mapa de peligrosidad seguido por el riesgo ambiental-aire y el antrópico.

La metodología descrita en este trabajo permite obtener un mapa de riesgos final como superposición ponderada, según los pesos del método Delphi, de los tres mapas de peligrosidad y el mapa de vulnerabilidad. Este diseño ayuda a identificar territorialmente las zonas de riesgos y evaluar la intensidad de los mismos para poder conservar correctamente el Patrimonio Histórico.

3. CONCLUSIONES

La metodología de análisis de riesgos planteada se presenta como una herramienta eficaz para conocer los peligros a los que se encuentran sometidos los monumentos de una Ciudad Histórica, y por consiguiente sirve de base para la toma de decisiones en la conservación preventiva del Patrimonio Histórico.

La aplicación de la matriz de vulnerabilidad para la evaluación del estado de conservación es una metodología sencilla y económica que permite diagnosticar la situación de los materiales frente a los factores de riesgo.

La aplicación de los sistemas de información geográfica en este tipo de análisis permite la superposición de los peligros individuales y la valoración de los mismos dentro del entorno estudiado.

El análisis mediante el método Delphi de las encuestas de riesgos realizadas por expertos indica que los factores de peligrosidad tienen mayor peso que la vulnerabilidad del edificio dentro del mapa de riesgos. El mapa estático-estructural es el que determina la peligrosidad de un área, mientras que el ambiental-aire y el antrópico se valoran en la misma medida.

El estudio del riesgo del Patrimonio Histórico es la base para que las medidas de restauración y conservación monumental sean efectivas y económicamente viables. Este proyecto presenta una metodología asequible y de bajo coste que permite conocer los principales peligros de una ciudad y las condiciones de conservación de los monumentos; y aporta una herramienta que ayuda a decidir qué factores del entorno ambiental deberían ser considerados más importantes en las labores de conservación preventiva.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido llevado a cabo gracias a los fondos del Proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía RIVUPH (HUM 6775).

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREO B. et al. "Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risks mapping in the Sierra de Líbar (Southern Spain)". *Science of the Total Environment*. 2006;357: 54-73.
- ANTÚNEZ, V., ORTÍZ, P., ORTÍZ, R., MARTÍN, J.M., VAZQUEZ, M.A., GALAN, E., CORDERO, T., MATEOS, P. "Vulnerability analysis and risk map of Cultural Heritage. The case of the historical town of Merida, Spain." En: *8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, (Patras, Grecia. Mayo 2010). pp 68.
- ASTIGARRAGA E. "El método Delphi". Universidad de Deusto, San Sebastián; 2002.
- ASPRONE D, JALAYER F, PROTA A, MANFREDI G. "Proposal of a probabilistic model for multi-hazard risk assessment of structures in seismic zones subjected to blast for the limit state of collapse". *Structure Safety*. 2010;32: 25-34.
- BALDI P, GIOVAGNOLI A, MARABELLI M. "Models and methods for the construction of risk maps for Cultural Heritage". *J. Ital. Statist. Soc.* 1995; 1-16.
- BOLTEANU D, CHENDE V, SIMA M, ENCIU P. "A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania". *Geomorphology*. 2010;124: 102-112.
- CANUTI P, CASAGLI N, CATANI F, FANTI R. "Hydrogeological hazard and risk in archaeological sites: some case studies in Italy". *Journal of Cultural Heritage*. 2000;1: 117-125.
- Carta del Rischio. Segretariato Generale. Descripción de la Carta del Riesgo aplicada al Patrimonio de Italia. Disponible en web: <http://www.cartadelrischio.it/spa/info.html>.
- CHIESSI V, et al. "Geological, geomechanical and geostatistical assessment of rockfall hazard in San Quirico Village (Abruzzo, Italy)". *Geomorphology*. 2010; 119: 147-161.
- COPPOLILLO P, GOMEZ H, MAISELS F, WALLACE R. "Selection criteria for suites of landscape species as a bases for site-based conservation". *Biological Conservation*. 2004; 115: 419-30.
- FITZNER B. Evaluation and documentation of stone damage on monuments. International Symposium of Stone Conservation, May 29, Seoul, Korea 2007; 25-30.
- GALÁN E, GONZALEZ JB, ÁVILA RM. "La aplicación de la