

Método integral de evaluación del riesgo sísmico del patrimonio arquitectónico menor

Natalia Jorquera Silva

Introducción: los riesgos del patrimonio menor y el problema del conocimiento

Gracias a la evolución semántica del concepto de patrimonio cultural, alguna vez exclusivo de las grandes obras de la humanidad, es que hoy aquellas formas construidas que dado su uso, difusión, relación con el territorio y con las identidades locales, son también consideradas un patrimonio cultural. Dicho patrimonio, que cuenta con diversas denominaciones, entre ellas “menor”, popular, anónimo o vernacular, “constituye el modo natural y tradicional en que las comunidades han producido su propio hábitat” (ICOMOS-CIAV, 1999) y es la manifestación viva de las formas de vida preservadas por las mismas sociedades.

Este patrimonio debe enfrentar hoy riesgos de diversa índole debido a los procesos de homogeneización cultural –empezados con la Revolución Industrial, consolidados durante el siglo XX y llevados a un extremo con la globalización– que han provocado profundos cambios económicos, sociales y ambientales, empujando a las poblaciones a emigrar de sus lugares de origen y a perder la capacidad de administrar su territorio y el ambiente construido. En este contexto, los fenómenos naturales (terremotos, aluviones, tsunamis, etc.) correctamente controlados en el pasado por las comunidades locales, hoy se han transformado en desastres naturales que amenazan con hacer desaparecer poblaciones enteras (Jorquera, 2012). Otras amenazas de origen antrópico, como el impacto ambiental provocado por las industrias, el agotamiento de recursos naturales, la llegada del turismo de masa en algunos casos y las deficientes políticas locales para la tutela de este patrimonio, han hecho que este se encuentre en un estado de extrema vulnerabilidad y deba enfrentar continuamente riesgos que amenazan con hacerlo desaparecer.

En este escenario la conservación del patrimonio menor en contextos de riesgo es compleja, pues no solo comprende la consideración de líneas de acción para preservar los objetos físicos, sino también incluir variables ambientales, sociales, productivas y los aspectos intangibles de dicho patrimonio, con una aproximación multidisciplinaria y sistémica que, además, involucre diversos actores.

En el caso del patrimonio arquitectónico menor la problemática es aún más compleja, pues este presenta tres grandes condicionantes: a) es el resultado de largos procesos de prueba y error, lo que significa que la configuración arquitectónica-tecnológica que ha llegado a nuestros días fue la me-



*Vivienda patrimonial en la comuna de
Chépica, región de O'Higgins, dañada
por el terremoto chileno del 2010*

Fotografía:
Natalia Jorquera

Método integral de evaluación del riesgo sísmico del patrimonio arquitectónico menor

Comprehensive method for assessing the seismic risk of the minor architectural heritage

Método integral de avaliação do risco sísmico do patrimônio arquitetônico menor

Natalia Jorquera Silva

nataliajorquera@uchilefau.cl

Departamento de Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile. Cargo de académica, profesora asistente.

Resumen

El riesgo sísmico constituye una de las principales amenazas para la preservación del patrimonio edificado, sobre todo para aquel considerado “menor”, “popular” o “vernacular”, el cual, a diferencia del patrimonio monumental, muchas veces no es identificado como un legado cultural y, por tanto, no cuenta con adecuadas políticas de conservación. Sumado a dicha falta de reconocimiento, este patrimonio –que en muchos casos representa la morada de miles de habitantes alrededor del mundo–, se encuentra en un mal estado de conservación debido a que sus propietarios no poseen los recursos económicos ni técnicos para realizar una mantención adecuada. Con cada terremoto desaparece parte importante de este patrimonio y se ponen en peligro la vida de miles de personas. En ese contexto, este artículo presenta un método integral para evaluar el riesgo sísmico del patrimonio arquitectónico menor, que forma parte de los resultados de la tesis doctoral de la autora titulada *Culturas constructivas en tierra y riesgo sísmico. Conocimiento de la arquitectura tradicional chilena y evaluación de su vulnerabilidad frente al sismo* (Jorquera, 2012). Dicho método, aplicable a diversos contextos, descompone el riesgo en “amenazas” y “vulnerabilidades”, y considera, además de las variables sismológicas, las vulnerabilidades ambiental y constructiva del patrimonio.

Palabras clave: patrimonio arquitectónico menor; arquitectura vernácula; riesgo sísmico; evaluación de riesgo sísmico

Abstract

Seismic risk is one of the main threats to the preservation of the built heritage, especially those considered “minor”, “popular” or “vernacular”, which, unlike the monumental heritage, is not often identified as a cultural legacy and therefore does not have adequate conservation policies. Added to this lack of recognition, this heritage which in many cases represents the abode of thousands of people around the world is in a bad condition because their owners do not have the financial or technical resources to perform appropriate maintenance. With every earthquake important part of this heritage disappears and the lives of thousands of people are endangered. In this context, this paper presents a comprehensive method for assessing the seismic risk of the minor architectural heritage, which is part of the results of the author’s doctoral thesis entitled *Earth Constructive Cultures and seismic risk. Knowledge of traditional Chilean architecture and evaluation of its vulnerability to earthquake* (Jorquera, 2012). This method is applicable to different contexts, it decomposes risk into “threats” and “vulnerabilities” and considers in addition to the seismic variables, the environmental and constructive vulnerabilities of the heritage.

Keywords: minor architectural heritage; Vernacular architecture; Seismic risk; seismic risk assessment

Resumo

O risco sísmico constitui uma das principais ameaças para a preservação do patrimônio edificado, especialmente para aquele considerado “menor”, “popular” ou “vernacular”, o qual, a diferença do patrimônio monumental, muitas vezes não é identificado como legado cultural e, portanto, não tem políticas adequadas de conservação. Somado a tal falta de reconhecimento, este patrimônio –que em muitos casos representa a moradia de milhares de habitantes ao redor do mundo–, acha-se em estado de conservação muito ruim devido a que seus proprietários não possuem os recursos econômicos nem técnicos para realizar manutenção adequada. A cada terremoto desaparece parte importante desse patrimônio e a vida de milhares de pessoas fica em perigo de extinção. Em tal contexto, este artigo apresenta método integral para avaliar o risco sísmico do patrimônio arquitetônico menor, que forma parte dos resultados da tese doutoral da autora intitulada *Culturas construtivas em terra e risco sísmico. Conhecimento da arquitetura tradicional chilena e avaliação da sua vulnerabilidade frente ao sismo* (Jorquera, 2012). Tal método, aplicável a diversos contextos, descompõe o risco em “ameaças” e “vulnerabilidades”, e considera, além das variáveis sismológicas, as vulnerabilidades ambiental e construtiva do patrimônio.

Palavras chaves: patrimônio arquitectónico menor; arquitetura vernacular; risco sísmico; avaliação de risco sísmico

doi: 10.11144/Javeriana.APC26-2.mies

Artículo de Investigación

Fechas de recepción:
1 de agosto de 2013

Aceptación del
artículo: 25 de
noviembre de 2013.

Disponible en línea
2 de enero de 2014

mejor respuesta a las condicionantes ambientales donde se originó; b) es construido con técnicas y materiales locales, muchos de los cuales han desaparecido, ya sea por agotamiento de los recursos naturales, como por la pérdida de los saberes constructivos; c) en la mayor parte de los casos se encuentra habitado y constituye el único hogar de miles de personas, las cuales a menudo poseen escasos recursos financieros y cognitivos para mantener sus viviendas.

A diferencia del patrimonio monumental, el cual muchas veces ha modificado su uso original para mantenerse vigente y cuya conservación se debe al esfuerzo de una sociedad interesada en mantener su legado, la conservación del patrimonio menor depende de cada habitante, quien intentará con su esfuerzo personal, mantener o modificar su vivienda, dependiendo sus necesidades cotidianas. Comunes son los casos de viviendas ampliadas o subdivididas si una familia crece, o parcialmente abandonadas, en el caso contrario, que al utilizar otras técnicas constructivas o cambiar la configuración original del inmueble, atentan contra los valores patrimoniales y, al mismo tiempo, comprometen la seguridad de sus habitantes, pues, en caso de sismo, incendio, aluvión, etc., el inmueble no estará preparado para responder como lo hacía originalmente, debido a que ha perdido las características físicas que daban cuenta de la experiencia acumulada sobre cómo administrar los riesgos.

A todo lo anterior se añade un problema fundamental que aparece cuando se trata de gestionar el patrimonio vernacular: la falta de conocimiento. El patrimonio menor adolece de reconocimiento (fuera del círculo de los especialistas), por lo cual, pocas veces se encuentra documentado y protegido; en raras ocasiones se conoce su origen exacto, su evolución histórica –pues puede rehacerse continuamente– y su autor –pues es anónimo o bien se considera que es fruto del trabajo de toda la comunidad–; no se cuenta con su planimetría ni especificaciones técnicas que den luces sobre cómo fue construido, y muchas veces, ni con catastros completos ni censos que indiquen el número exacto de inmuebles y su área de difusión territorial; las intervenciones no se han registrado y, salvo excepciones, se desconoce cómo mantenerlo adecuadamente. En resumen, para conservar adecuadamente este patrimonio existe un conjunto de conocimientos que es necesario recrear.

Numerosos son los ejemplos de asentamientos centenarios que habían sobrevivido a riesgos de diversa naturaleza y que improvisadamente, en un lapso muy breve, desaparecen como resultado de todos los cambios socioeconómicos mencionados anteriormente, pero también debido a vacíos en la cadena cognitiva que sustentaba la relación entre las comunidades y su ambiente construido: en esos casos la gestión del riesgo se transformó en un conocimiento perdido.

Con la llegada de la modernidad y los grandes cambios acontecidos en los sistemas productivos, uno de los mayores efectos negativos fue la pérdida de los conocimientos locales, propios de un lugar y de un grupo de personas en un determinado tiempo y base de enteros sistemas de desarrollo. Estos conocimientos locales poseen, además, la característica de no estar codificados, lo que hace más difícil su recuperación (Stiglitz, 1999).

En la tesis doctoral de la autora (Jorquera, 2012) se abordó la relación entre conocimiento local y patrimonio intangible como base para la sobrevivencia del patrimonio construido menor.

La comprensión del fenómeno riesgo y la gestión del riesgo del patrimonio

El riesgo se presenta bajo diversas formas: existen riesgos físico, económico, ambiental, social, técnico, etc. Se lo asocia con los conceptos de *incerteza*, *azar*, *accidente*, es decir, con todos aquellos términos que tienen en común la dificultad de no ser predecibles ni medibles (Jorquera, 2012). El término es muchas veces confundido con otras nociones asociadas como *amenaza*, *desastre* y *vulnerabilidad*, sin embargo, hoy se asume que un riesgo es “la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” (UNISDR, 2009, p. 29) por lo que se utiliza en la literatura científica a menudo la siguiente fórmula:

$$[\text{Riesgo} = \text{amenaza} \times \text{vulnerabilidad}]$$

Donde la amenaza es “Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales” (UNISDR, 2009, p. 5), y la vulnerabilidad

son “Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza” (p. 34).

Lo anterior significa que para que exista un riesgo debe existir una amenaza (por ejemplo, un terremoto, un incendio) que interactúa con una vulnerabilidad (constructiva, arquitectónica, social) en un determinado contexto espacial y temporal.

Muchas veces el riesgo no se puede eliminar pues no podemos hacer nada contra la amenaza, pero sí se puede disminuir, controlar o mitigar la vulnerabilidad identificada, lo que en su conjunto se conoce como “gestionar el riesgo”.

La gestión del riesgo empieza a ser una materia de interés para los gobiernos de todo el mundo en los años ochenta del siglo XX: ya en el famoso Informe *Nuestro futuro común*, de la ONU, más conocido como *Informe Brundtland* (WCED, 1987), se afirma en el punto “Evaluando los riesgos mundiales” que “el futuro –incluso un futuro duradero– se caracterizará por riesgos cada vez mayores” (WCED, 1987, p. 357) ya sean tanto de origen natural como asociados a la acción del hombre y a la llegada de las nuevas tecnologías, desde aquellos irreversibles, que afectan comunidades locales, como son la desertificación, la acidificación del suelo, la deforestación, hasta aquellos de impacto mundial, como es el cambio climático.

En el ámbito de la salvaguardia del patrimonio, los primeros precedentes en materia de protección del patrimonio cultural en contextos de riesgos –aunque no fuera exactamente ese el concepto utilizado– nacieron en la UNESCO, con la adopción de la Convención de la Haya (1954) después de la Segunda Guerra Mundial, cuyo objetivo fue establecer reglas para proteger los bienes culturales en caso de conflicto armado, y la adopción de la “Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural” (1972), donde, en su artículo 5, punto c), se llama a los Estados miembros a “desarrollar los estudios y la investigación científica y técnica y perfeccionar los métodos de intervención que permitan a un Estado hacer frente a los peligros que amenacen a su patrimonio cultural y natural” (UNESCO, 1972, p. 3), y se crea la “Lista del patrimonio en peligro”, en el artículo 11, parte 4.

No fue sino hasta mediados de los años noventa, cuando sucedió el verdadero cambio de

paradigma sobre la relación riesgo-patrimonio, luego de que eventos como los conflictos del Golfo Pérsico, al inicio de la década, y el terremoto de Asís, en 1997, evidenciaran cómo el patrimonio cultural está siempre sujeto a riesgos de distinta naturaleza. En esa década, entonces, nacieron numerosas iniciativas para preparar mejor la respuesta del patrimonio en contextos de riesgos:

- La creación, en 1992, de un grupo de trabajo interinstitucional que en el ámbito de la gestión del riesgo del patrimonio cultural, reunió, por cinco años, a expertos de la UNESCO, ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) e ICOM (International Council of Museums) para coordinar actividades de respuesta a la emergencia, capacitación, documentación y sensibilización en materia de preparación al riesgo (Stovel, 1998).
- La creación del ICBS (International Committee Blue Shield), en 1996, organismo equivalente a la Cruz Roja en materia de bienes culturales, cuyo objetivo es coordinar las acciones de respuesta en situaciones de emergencia, velar por el respeto de la Convención de la Haya, y promover la preparación al riesgo.
- La creación del primer manual de preparación al riesgo: *Risk Preparedness: a Management Manual for World Cultural Heritage*, de Herb Stovel, editado en conjunto por iccrom, unesco, icomos y el World Heritage Centre en 1996.
- La creación, en el año 2000, de la serie de publicaciones de ICOMOS, *Heritage at Risks*, vigente hasta hoy.

Estas acciones comienzan a consolidar una postura frente a la protección del patrimonio cultural: “prevenir” el daño más que curarlo una vez que este ya ocurrió, sabiendo que el patrimonio cultural es mucho más vulnerable que otros bienes, dados su edad, deterioro causado por el paso del tiempo y las condiciones atmosféricas, falta de mantenimiento, daños acumulados de otros desastres, por lo que frecuentemente debe enfrentar grandes riesgos, de orígenes natural o antrópico, que ponen en peligro la conservación de sus valores. La gestión de riesgos desplaza la atención centrada en la restauración y recuperación de bienes, hacia la creación de programas de prevención-mitigación del riesgo, con la intención de actuar a largo plazo y no solamente responder

a la emergencia luego de que ocurre un desastre, así se reducen costos, se conserva de mejor manera el patrimonio y, en el caso del patrimonio arquitectónico, se salvan vidas.

Actualmente, con el aumento de las tecnologías de la información y comunicación, la comunidad mundial está más consciente de los diversos tipos de riesgos que afectan constantemente a las distintas sociedades, al ambiente construido y al patrimonio cultural. La gestión del riesgo del patrimonio es una postura ya consolidada y vigente como principio para la conservación del patrimonio.

El riesgo sísmico del patrimonio menor

Entre todas las amenazas que pueden afectar adversamente al patrimonio construido, quizás la acción sísmica es una de las que representa un riesgo mayor. Aunque los terremotos forman parte del proceso natural de la mecánica geológica de la tierra, su naturaleza inesperada y los efectos que ellos provocan hacen que sean considerados como uno de los fenómenos más impactantes para las sociedades y para el ambiente construido. Si se tiene en cuenta que gran parte del patrimonio arquitectónico se encuentra construido con tecnologías hoy consideradas no antisísmicas (principalmente albañilería simple en sus diversas modalidades), y que dados la edad, estado de mantenimiento, etc., se entiende que la respuesta de los edificios históricos frente a las solicitaciones dinámicas provocadas por los terremotos no sea la óptima y estos presenten algún nivel de daño, o lleguen, en algunos casos, a la destrucción total. Solo por poner algunos ejemplos, basta recordar el daño provocado al patrimonio arquitectónico por los terremotos de Bam, en Irán, en 2003; de L'Aquila, en el centro de Italia, en 2009; o el de Haití, en 2010.

Se debe comprender que el fenómeno terremoto no representa un riesgo en sí mismo, sino una amenaza que se transforma en un riesgo exclusivamente cuando interactúa con áreas antropizadas donde puede provocar efectos negativos y, por tanto, su grado de destrucción depende tanto de las características del fenómeno natural, como de aquellas del asentamiento humano donde interactúa (Jorquera, 2012). Por lo tanto, recordando la fórmula [riesgo = amenaza x vulnerabilidad], diremos que [riesgo sísmico = terremoto x vulnerabilidad del ambiente antropi-

zado], por lo que un terremoto, incluso de muy alta magnitud, si interactúa en áreas deshabitadas, desérticas o donde se desplaza población nómada que vive en carpas, no representa un riesgo, al no ser dichas áreas vulnerables a la acción sísmica.

En otras palabras, el riesgo sísmico no depende solo de las características sismológicas que definen un terremoto, ya que dos terremotos de similares características pueden provocar efectos muy distintos en dos territorios con características de vulnerabilidad sísmica distinta. El riesgo sísmico, entonces, no es un problema de causa y efecto, sino un problema complejo donde interactúan muchos factores.

En el caso del patrimonio edificado, es en la interacción terremoto-edificio (o conjunto de edificios) que se puede generar una situación de riesgo: las ondas sísmicas pertenecen a las acciones dinámicas que solicitan a un edificio; estas, con sus aceleraciones, son transmitidas del suelo al edificio, provocando tensiones en su estructura que –dependiendo sus características– pueden transformarse en deformaciones, fisuras o colapsos parciales o totales. Esto quiere decir que, para conocer su respuesta, además de las características del terremoto, son esenciales las características del suelo y las del edificio: su morfología, estructura, tecnología, y en el caso del patrimonio, el estado de conservación.

Respecto al patrimonio menor, la comprensión del riesgo sísmico es aún más compleja pues a los factores mencionados se suman los problemas asociados a la fragilidad socioambiental y a la falta de conocimiento anteriormente mencionadas, que hacen a ese patrimonio mucho más vulnerable: el desconocimiento de su existencia, la falta de reconocimiento y protección, el desconocimiento de las técnicas constructivas, de su mantenimiento y mejoramiento, sumados a los problemas sociales, ambientales y productivos que han llevado al abandono de mucho de estos asentamientos, hacen que en el momento de enfrentar un sismo, las consecuencias sean devastadores. En esos casos, la gestión del riesgo sísmico debe originarse en una matriz holística que considere la interacción de todos los factores.

El terremoto que afectó la región de Tarapacá en Chile en 2005, produjo un nivel de daño al patrimonio arquitectónico que nunca antes se había visto, pues ese patrimonio menor ya se encontraba muy vulnerable, ambiental, social y constructivamente en el momento del sismo,



Figura 1:
Vivienda en la localidad de Putre en la Región de Arica y Parinacota. Es evidente su nivel de deterioro que acrecentó el daño sísmico durante el terremoto de 2005

Fotografía:
Natalia Jorquera

principalmente debido a su abandono y falta de reconocimiento (figura 1).

En la tesis de doctorado de la autora se planteó como hipótesis que “es la falta de conocimiento la que aumenta el riesgo sísmico del patrimonio menor” (Jorquera, 2012, p. 20), por tanto, para disminuirlo o controlarlo se debe realizar un levantamiento de información exhaustivo sobre todos los factores que interactúan en la creación de ese riesgo. El método integral que acá se mostrará cumple con los dos objetivos de levantar información sistemática, y de comprender a interacción de los distintos factores que componen el riesgo.

Construcción de un método integral de evaluación del riesgo sísmico

Para la construcción del método se sintetizaron los principales conceptos referentes al riesgo, a la acción sísmica, a la gestión del riesgo del patrimonio y al patrimonio menor, analizados en extenso en el marco teórico de la tesis de doctorado (Jorquera, 2012), y resumidos en los puntos precedentes. A ello se añadió el estudio de dos instrumentos normativos italianos, cuyo recorrido metodológico, con énfasis en la comprensión de la vulnerabilidad constructiva del patrimonio, resultaba especialmente interesante para la investigación: *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni* (Directrices para la evaluación y reducción del riesgo sísmico del patrimonio cultural con referencia a las normas técnicas para la

construcción) (Calvi, Cecchi, et al., 2006) y *Codice di Pratica per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto Umbro-Marchigiano del 1997* (Código de Práctica para la proyectación de intervenciones de reparación, mejoramiento sísmico y restauración de bienes arquitectónicos dañados por el terremoto Umbro-Marchigiano de 1997) (Doglioni, 1999). En el primer instrumento, el recorrido metodológico propuesto consta de tres partes: “Definición de la acción sísmica del territorio”, “Conocimiento del edificio” y “Evaluación de la seguridad sísmica”. En *Codice di Pratica*, el recorrido metodológico posee dos grandes partes: “El levantamiento del edificio para el análisis de su comportamiento estructural en el tiempo” y “El diagnóstico de la vulnerabilidad y el proyecto de daño” del edificio.

Con estas premisas, y retomando las fórmulas [riesgo = amenaza x vulnerabilidad], y [riesgo sísmico = terremoto x vulnerabilidad del ambiente antropizado], se define que para la evaluación del riesgo sísmico del patrimonio menor se utilizará la siguiente expresión de base:

$$[\text{Riesgo sísmico} = \text{terremoto} \times \text{vulnerabilidad del patrimonio menor}]$$

Entendiendo que la vulnerabilidad del patrimonio menor depende de muchos factores, se define que ella estará compuesta por la suma de dos grandes vulnerabilidades: la ambiental y la constructiva. De este modo el desarrollo de la expresión es:

$$[\text{Riesgo sísmico} = \text{características del terremoto en un territorio determinado} \times (\text{vulnerabilidad ambiental} + \text{vulnerabilidad constructiva}) \text{ del patrimonio menor}]$$

O bien:

$$\text{Riesgo sísmico} = [A \times (B+C)]$$

Donde “A” corresponde a las características que presenta la amenaza sísmica en un determinado territorio, dentro de límites bien acotados que permitan establecer una microzonación sísmica, donde se sumarán la peligrosidad global y la local (Macau, 2008): la primera de acuerdo con los parámetros normativos (en el caso de Chile establecidos por la Nch433.96) y la segunda dependiente de las características mecánicas del suelo y la topografía y de los datos estadísticos

que arrojen los estudios histórico sobre los terremotos ocurridos con anterioridad en ese lugar en específico.

“B” es la vulnerabilidad de un ambiente específico (un asentamiento pequeño, un poblado con características culturales en común), comprendiendo que el ambiente incluye tanto los factores físicos, como económicos, productivos y sociales que van a influir negativa o positivamente en la conservación del patrimonio. Una sociedad con pocos recursos, baja cohesión social, donde sus miembros emigran para buscar fuentes laborales, no podrá hacerse cargo de su ambiente construido y, por tanto, su patrimonio estará en un mal estado de conservación: consecuentemente será más vulnerable frente a la acción sísmica.

“C” es la vulnerabilidad específica de un edificio o conjunto arquitectónico con características unitarias. Esta vulnerabilidad dependerá de las características arquitectónicas, constructivas y estructurales, además de las posibles modificaciones que haya sufrido el edificio con el tiempo, las intervenciones, su estado de conservación y el posible daño acumulado.

De esta manera, la evaluación del riesgo sísmico de un determinado edificio dependerá de sus características intrínsecas (C), de la vulnerabilidad del ambiente al cual pertenece (B), y de la amenaza que acecha su micro-territorio (A) (figura 2).

Una vez determinada esta forma general, fue necesario buscar indicadores para A, B y C que permitieran asignar un valor a cada uno de los factores. Estos indicadores se buscaron a partir del análisis de su repetición en la literatura científica presentada en el marco teórico.

Así, por ejemplo, algunos indicadores que dan cuenta de la vulnerabilidad constructiva (C) de la edificación histórica en relación con la acción sísmica, son: “modificaciones estructurales y geométricas del edificio”, “calidad de los materiales empleados”, “presencia de patología”, etc. Otras características generales del edificio, dependiendo el contexto, pueden también hacer que este se transforme en un objeto vulnerable: “modo de agrupamiento (aislado, continuo)”, “relación del edificio con sus vecinos”, “uso del edificio”, etc.

Para la vulnerabilidad ambiental (B), los indicadores fueron de naturaleza mucho más variada (lo que indica que este factor podría descomponerse en la sumatoria de otros tipos de vulnerabilidad): ubicación del asentamiento,



aislamiento o cercanía a otros centros habitados, disponibilidad de recursos naturales, actividades productivas, características socioeconómicas de la comunidad, densidad demográfica, uso o abandono del asentamiento, etc.

La caracterización de la amenaza sísmica (A) depende de: frecuencia de los terremotos, magnitud recurrente, intensidad recurrente, aceleraciones del suelo (PGA) medias, características del suelo, características topográficas, etc.

Luego de haber obtenido un número importante de indicadores, se clasificaron, jerarquizaron y eligieron los 10 más determinantes de cada factor. Con ellos se construyó una tabla independiente para A, B y C con sus respectivos indicadores. Para B y C se asignó el valor 1 si el indicador “representa vulnerabilidad” y valor 0 si “no presenta vulnerabilidad” (figura 3).

En la figura 3 se muestran algunos de los indicadores de la vulnerabilidad constructiva con

Figura 2: Esquema de la relación entre las vulnerabilidades y la amenaza que condicionan el riesgo sísmico

Fuente: Jorquera (2012)

Figura 3: Extracto de la tabla C, donde se muestran 4 de los 10 indicadores de la vulnerabilidad constructiva

Fuente: Jorquera (2012)

INDICADORES DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA	
Indicador 1 MORFOLOGIA DEL EDIFICIO	<input type="checkbox"/> 0 Presenta morfología simétrica. <input type="checkbox"/> 1 Presenta morfología asimétrica.
Indicador 2 CALIDAD DE LOS PARAMENTOS	<input type="checkbox"/> 0 Paramento homogéneo, con mortero e hiladas dispuestas correctamente y elementos transversales que ayudan a la trabazón. <input type="checkbox"/> 1 Paramento deshomogéneo, resulta difícil identificar las hiladas y se aleja de las reglas del buen construir.
Indicador 3 CALIDAD DE LOS MATERIALES	<input type="checkbox"/> 0 Los materiales empleados son los adecuados y no presentan señales de degradación. <input type="checkbox"/> 1 Los materiales empleados no son adecuados y/o presentan señales de degradación.
Indicador 4 DAÑO ACUMULADO	<input type="checkbox"/> 0 El edificio no ha sufrido daños con los terremotos anteriores. <input type="checkbox"/> 1 El edificio sí ha sufrido daños con los terremotos anteriores.

FACTOR A		INDICADORES DE LA AMENAZA SÍSMICA	
Indicador 1	FRECUENCIA DE LOS TERREMOTOS	0,5	Superior a 70 años
		1,0	Entre 30 y 69 años
		1,5	Entre 1 y 29 años
Indicador 2	MAGNITUD RECURRENTE	0,5	Inferior a M ~5
		1,0	Entre M ~5 e ~7
		1,5	Superior a M ~7
Indicador 3	INTENSIDAD RECURRENTE	0,5	Inferior a IV
		1,0	Entre V y VIII
		1,5	Entre IX y XII
Indicador 4	DISTANCIA EPICENTRAL RECURRENTE	0,5	Superior a 150Km
		1,0	Entre 50 y 150Km
		1,5	Inferior a 50Km

Figura 4: Extracto de la tabla A, donde se muestran 4 de los 10 indicadores de la amenaza sísmica

Fuente: Jorquera (2012)

sus respectivos valores 0 o 1. La lista de indicadores puede ampliarse y estos pueden adaptarse a las realidades locales del patrimonio menor que se desee analizar.

Para los indicadores de la actividad sísmica (A) se eligieron valores de 0,5, 1 y 1,5 que indican amenaza menor, mediana y alta respectivamente. En este caso no se podía optar por el valor 0 pues siempre existe la amenaza de terremoto ya que esta metodología es aplicable en contextos sísmicos (figura 4).

En la figura 4 se muestran 4 de los 10 indicadores de la amenaza sísmica con sus respectivos valores. En ese caso, los intervalos elegidos para determinar un valor bajo (0,5), mediano (1) y alto (1,5) guardan relación con la realidad chilena y, por tanto, se basaron en el registro histórico estadístico del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile. En otros contextos estos intervalos pueden cambiar, pues la frecuencia de los terremotos puede ser siempre superior a 70 años, o porque nunca se han alcanzado magnitudes superiores a 7, por citar un ejemplo.

De este modo, las vulnerabilidades ambiental (B) y constructiva (C) fluctúan entre 1 y 10 (pues siempre existirá al menos un elemento del listado que indique vulnerabilidad). Las vulnerabilidades, por tanto, serán más bajas mientras más se acerquen a 1 y más altas en la medida que se acerquen al 10. Respecto a la amenaza sísmica (A), los valores fluctúan entre 5 y 15, según la suma de los valores más bajos o más altos respectivamente.

De acuerdo con lo anterior, el valor comprensivo del riesgo sísmico variará entre 10 en el

caso más bajo y 300 en el más alto, de acuerdo con lo siguiente:

$$\text{Riesgo sísmico más bajo} = [5 \times (1+1)]$$

$$\text{Riesgo sísmico más alto} = [15 \times (10+10)].$$

A partir de la permutación de los tres factores se determina que:

- si el valor total fluctúa entre 10 y 50, el nivel de riesgo es bajo;
- entre 51 y 120, el nivel de riesgo es medio;
- entre 121 y 300, el nivel del riesgo es alto.

El método demuestra que incluso en un nivel de amenaza sísmica alta (valor 15), el riesgo puede ser bajo, si la vulnerabilidad ambiental y constructiva son bajas (si, por ejemplo, suman 2), ya que el producto sería 30; viceversa, ante una amenaza sísmica mediana (8) pero frente a altas vulnerabilidades ambientales y constructivas (si, por ejemplo, suman 20), el riesgo sísmico puede ser alto.

En el contexto chileno, un aporte de este método es que introduce las variables de vulnerabilidad (B y C) a la evaluación del riesgo sísmico, las cuales hasta ahora no son tomadas en consideración en ningún instrumento normativo. En el ámbito internacional, el método añade a la evaluación del riesgo sísmico la consideración de la vulnerabilidad ambiental (B) –ya que, como se mostró, varios métodos consideran la vulnerabilidad constructiva–, la cual como se mencionó, podría descomponerse en más “sumandos” que permitirían una evaluación más específica.

Aplicación del método a dos casos de estudio del patrimonio chileno construido en tierra cruda

El territorio chileno es uno de los más sísmicos del planeta: los sismos que superan los 7° de magnitud suceden en promedio cada 10 años; según el registro histórico del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, se han registrado más de 100 terremotos superiores a dicha magnitud desde 1570 hasta la fecha. Esta sismicidad se debe a que el territorio chileno “se encuentra ubicado sobre la placa Sudamericana, cercano al margen convergente que la divide de la placa de Nazca, ubicada al oeste”, por lo cual sufre el fenómeno denominado subducción, donde ambas placas convergen entre 8 a 9 cm al año, pero al estar

“estas placas trabadas, acumulan energía hasta que finalmente, esta energía es liberada causando un terremoto” (Centro Sismológico Nacional). Aun con estas condiciones geológicas, gran parte del patrimonio arquitectónico de origen colonial y un rico patrimonio menor, aún habitado, se han conservado hasta nuestros días. De este último, alrededor del 50% se encuentra construido en tierra cruda, en coincidencia de las zonas donde predomina el clima árido-desértico –en el extremo norte del país– y templado –en el centro–. En esos 2.000 km de patrimonio menor construido en tierra, existe una gran variedad tipológica y tecnológica que da cuenta de la variedad geográfica, climática y cultural de Chile (Jorquera, 2012).

Como ejemplos de aplicación del método de evaluación del riesgo sísmico se eligieron dos casos de estudio de ese patrimonio menor construido en tierra cruda, que geográficamente fueran antípodas y que culturalmente fueran también muy distintos, lo que se traduce en importantes variaciones arquitectónicas, tecnológicas y también de estado de conservación: la arquitectura del norte andino altiplánico, en el extremo norte de Chile, y la arquitectura del Valle Central chileno, en el centro del país.

Una primera operación para conocer la amenaza sísmica (A) de ambos casos, fue identificarlos territorialmente en la NCh433.Of 1996, Norma Chilena Oficial Diseño Sísmico de Edificios. En esa norma el territorio chileno se divide en tres zonas sísmicas (1, 2 y 3) a modo de franjas paralelas a la línea de la costa, con intensidad decreciente del océano a la cordillera: esto quiere decir que en la zona 3, junto al océano, los terremotos son percibidos con mayor intensidad, mientras en la 1, sobre la cordillera, la intensidad es menor. Según esta división, la arquitectura andina pertenece a la zona 1 y la del Valle Central, a la zona 3.

Evaluación del riesgo sísmico del poblado de Guatacondo en la zona Andina

Al haber determinado la pertenencia de Guatacondo (figura 5) a la zona sísmica 1, la NCh433 entrega algunos valores útiles a la construcción de los indicadores de la amenaza sísmica (A): las aceleraciones máximas de suelo son de 0,2 g, el tipo de suelo predominante es de características rocosas con alta presencia de grava (suelos de clasificación I y II) que atenúan la velocidad de la onda sísmica. El registro histórico del Centro

Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, en cambio, arrojó datos estadísticos sobre la frecuencia, magnitud, intensidad y distancias a los epicentros. Al aplicar la tabla de evaluación con los 10 indicadores, el valor de la amenaza sísmica encontrada fue = 9.

Para la evaluación de la vulnerabilidad ambiental del poblado se contó principalmente con información recogida en terreno, a partir de la cual se constató la poca accesibilidad y conectividad con otros centros habitados (que significa, entre otras cosas, la poca disponibilidad de servicios básicos como hospitales, colegios, etc.), la escases de recursos (tanto de aquellos naturales utilizados como material de construcción, como de aquellos básicos asociados a la subsistencia), la falta de empleo que empuja a la comunidad a abandonar su lugar de origen; a todos los indicadores se les asignó el valor 1, es decir, que representan una vulnerabilidad. Los indicadores que fueron evaluados con vulnerabilidad “0” son: la baja densidad demográfica (menos denso el asentamiento, más bajo el riesgo sísmico), y la ubicación del asentamiento en un lugar seguro. Con estos indicadores, el valor de la vulnerabilidad ambiental encontrada fue = 8.

Respecto a la evaluación de la vulnerabilidad constructiva (C), cabe mencionar que toda la arquitectura de la zona Andina posee específicas vulnerabilidades intrínsecas asociadas a su tecnología y a la calidad de los materiales empleados. Los indicadores evaluados con 1 (que presentan vulnerabilidad) fueron: la calidad de los paramentos, la calidad de los materiales empleados, la presencia de patología, el daño acumulado, etc.



Figura 5:
Poblado de Guatacondo en la zona Andina
Fotografía:
Natalia Jorquera



Figura 6:
Poblado de Guacarhue,
Valle Central
Fotografía:
Natalia Jorquera

Los aspectos valorados con 0 (sin vulnerabilidad) fueron: la morfología simétrica del edificio, la baja esbeltez de los muros, y las cortas longitudes de los muros. Con esos datos, la vulnerabilidad constructiva obtuvo un valor = 7.

Llevando estos valores a la fórmula [Riesgo sísmico = $A \times (B+C)$], se llega a un total de 135, que corresponde a un nivel de riesgo medio-alto.

Este resultado pone en evidencia que aunque existe una amenaza sísmica no extremadamente alta (9 de 15), es muy alto el riesgo sísmico del poblado de Guatacondo debido a su alta vulnerabilidad ambiental y constructiva. Esto quiere decir que si lo azota un terremoto, incluso de mediana intensidad y duración, seguramente el grado de destrucción será alto, en proporción directa a las vulnerabilidades identificadas. Esto se confirma con los daños registrados durante el terremoto de 2005, con epicentro en la región de Tarapacá.

Evaluación del riesgo sísmico del poblado de Guacarhue, la arquitectura del Valle Central

Sin explicar en detalle la repetición de todo el procedimiento anterior, para Guacarhue (figura 6) se determinaron los siguientes valores: amenaza sísmica de 13; vulnerabilidad ambiental de 2, y vulnerabilidad constructiva de 4, lo que da como producto un nivel de riesgo sísmico medio bajo = 78.

Este resultado evidencia que no obstante exista una amenaza sísmica muy alta (13 de 15), el riesgo total no es alto porque son bajas la vulnerabilidad ambiental y la vulnerabilidad constructiva.

Esto se explica por el hecho que los poblados del Valle Central están habitados por una comunidad viva, y eso se refleja en el estado conservación de su arquitectura, la que, además, presenta menos defectos constructivos intrínsecos que la hagan vulnerable a la acción sísmica.

Esta evaluación comparativa demuestra cómo el establecimiento de zonas sísmicas, basadas únicamente en los parámetros sismológicos no es suficiente: es necesario integrar la vulnerabilidad de cada territorio para obtener un mapa del riesgo sísmico. En el caso del patrimonio construido, y sobre todo de aquel menor y habitado, la evaluación de las vulnerabilidades sísmicas en cuanto a lo ambiental, lo social y lo constructivo permitiría que se establecieran medidas de prevención del riesgo tanto en el ordenamiento territorial como en el mejoramiento de aspectos constructivos, para preparar de mejor manera tanto a la población como a sus construcciones a enfrentar el terremoto, lo que da como resultado reducir costos, salvar vidas y conservar el patrimonio.

La prevención del riesgo sísmico del patrimonio requiere de la creación de normativas locales que permitan actuar anticipadamente allí donde se identifican las vulnerabilidades más altas y, a la vez, donde se considere importante preservar el patrimonio.

El método propuesto es, en este momento, una construcción teórica, que de transformarse en un verdadero instrumento de evaluación requeriría de la participación de un equipo multidisciplinario para construir los indicadores respectivos y evaluar las diversas vulnerabilidades. En ese caso el método debe ser aplicado a un número mucho mayor de casos, para “calibrar” los indicadores, y sobre todo, para establecer intervalos intermedios de riesgo.

Reflexiones finales

Para prevenir el riesgo sísmico del patrimonio menor es necesario un largo recorrido que debe fundarse en el levantamiento exhaustivo y sistemático de información, y en la coordinación de diversas iniciativas e instituciones. En países como Chile existe mucha información científica sobre las características geológicas del territorio y sobre el fenómeno sísmico en general, en cambio, sobre el patrimonio hay muy poca debido a la poca inversión estatal, a un marco legislativo obsoleto y a la falta de valoración del

mismo como un legado cultural importante para ser preservado.

Solo después de que se realicen catastros y documentación locales y nacionales del patrimonio, a la par de proyectos de sensibilización y educación, se puede pensar a la implementación de un plan de prevención del riesgo sísmico. Esos catastros, desde un primer momento, deberían registrar, además de las características arquitectónicas y los valores patrimoniales, la vulnerabilidad intrínseca de las obras, de manera que se pueda tener identificado para cada bien inmueble el aspecto por el cual este puede fallar en caso de sismo y respecto al cual se deberían concentrar las acciones de prevención del riesgo.

Registrar la vulnerabilidad constructiva permitirá establecer intervenciones prioritarias, planificadas en el tiempo y en fases parciales, con lo cual se reduce la inversión económica y la mano de obra especializada. Si, por el contrario, no hay ninguna preparación ante la posible llegada de un sismo, se obliga a responder a la emergencia y a la destrucción con un gasto enorme de recursos financieros y humanos, y muchas veces perdiendo el patrimonio y vidas humanas. En síntesis, se pasa de la restauración-reconstrucción pos desastre, a la prevención-control del riesgo sísmico, recordando que una sociedad en un territorio sísmico se encuentra siempre “entre dos terremotos” y también que el patrimonio es un recurso no renovable, y que en el caso del patrimonio menor, este es también el hogar de miles de habitantes. Estas acciones deben estar adecuadamente coordinadas con base en la identificación y control de la vulnerabilidad ambiental y social que, como se ha visto, es determinante en el momento de aumentar el riesgo: los frecuentes terremotos chilenos han demostrado que siempre sufren más daños las poblaciones más vulnerables socialmente.

Recuperar el conocimiento local sobre las técnicas constructivas, las actividades productivas y, en general, sobre la administración del propio territorio, es una acción a largo plazo que podría ayudar a reducir el riesgo sísmico y a recuperar un verdadero desarrollo anclado en el propio patrimonio.

Referencias

Calvi, M. e Cecchi, R. et al. (2006). *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico*

del patrimonio culturale. Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Roma: Gangemieditori.

Doglion, F. (1999). *Codice di Pratica. Linee guida per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto Umbro-Marchigiano del 1997*. Marche: BollentinoUfficiale della Regione.

ICOMOS-CIAV (1999). Charter of the Built Vernacular Heritage. Recuperado el 05 de enero del 2010, de <http://www.icomos.org/en/component/content/article?id=164:charter-of-the-built-vernacular-heritage>.

Jorquera, N. (2012). *Culturas constructivas en tierra y riesgo sísmico. Conocimiento de la arquitectura tradicional chilena y evaluación de su vulnerabilidad frente a los sismos*. Tesis para optar al título de doctor en Tecnología de la Arquitectura. Florencia: Universidad de Florencia, Italia.

INN, Instituto Nacional de Normalización de Chile (2009). *NCh433.Of 1996, Norma Chilena Oficial Diseño Sísmico de Edificios*.

Macau, A. (2008). *Microzonación sísmica. Contribución a los estudios de peligrosidad sísmica a escala local en zonas rurales y urbanas*. Tesis para optar al título de doctor. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica.

Stiglitz, J. (1999). *Scan Globally, Reinvent Locally: Knowledge Infrastructure and the Localization of Knowledge*. Bonn: Proceedings of the First Global Development Network Conference.

Stovel, H. (1998). *Risk Preparedness: a Management Manual for World Cultural Heritage*. Roma: ICCROM / UNESCO WHC / ICOMOS.

UNESCO (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. Recuperado el 05 de enero del 2010, de whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf

UNISDR (2009). Terminología sobre reducción de riesgo de desastres. Recuperado el 29 de julio del 2013 de http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

WCED, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (1987). Nuestro futuro común (Informe Brundtland). Recuperado el 28 de julio del 2013, de www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427.