

## **PATRIMONIO HISTÓRICO: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU CONSERVACIÓN EN ENTORNOS URBANOS CAMBIANTES Y SITIOS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA**

**Gea, Susana <sup>(1)</sup>, Demergassi, Carlos <sup>(2)</sup>, Toledo, Mario <sup>(1)</sup>, Gea, Gabriel <sup>(1)</sup>**

*(1) Consejo de Investigación – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Salta*

*(2) Dirección Nacional de Arquitectura, Distrito Noroeste.*

### **RESUMEN**

El ambiente urbano, cambiante en el tiempo, modifica el entorno en el que fueron construidos edificios de valor patrimonial. Estos cambios, en general, afectan tanto a su estructura como al terreno sobre el cual asientan sus fundaciones.

La ciudad de Salta, situada además en zona de elevada peligrosidad sísmica, alberga edificios de mampostería que han sido declarados monumentos históricos nacionales. A partir de las investigaciones realizadas para desarrollar estudios de vulnerabilidad sísmica de la iglesia Nuestra Señora de La Candelaria de la Viña en esa ciudad, surge una propuesta metodológica para realizar monitoreos periódicos y sostenidos en el tiempo, con el fin de poder realizar acciones tempranas en los edificios que inician su deterioro, aún antes de que este sea perceptible.

El presente trabajo describe dicha propuesta metodológica, la cual incluye la incorporación de técnicas no destructivas, como lo son la fotogrametría digital, el monitoreo estructural con acelerógrafos y el empleo de georradar y se concluye que este tipo de estudio de carácter científico tiene, por otra parte, bajos costos de realización.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Medio urbano versus Patrimonio

Los edificios de valor patrimonial existentes en la región del noroeste argentino han sido silenciosos testigos del transcurso del tiempo desde el siglo XVIII a la fecha, evidenciando la acción climática, como también el avance tecnológico y crecimiento de la urbe.

Estas edificaciones fueron construidas con una tecnología simple en un entorno de calles de tierra sin mayor infraestructura de servicios.

Con el paso del tiempo esas calles fueron adoquinadas y más tarde pavimentadas las vías circundantes, generando una cobertura impermeable anexa a las edificaciones, modificando así las condiciones naturales de ventilación y absorción que tiene el terreno.

El desarrollo de la ciudad demandó luego la incorporación de una infraestructura de redes subterráneas de agua potable, desagües cloacales y pluviales, e incluso gas natural. Estos sistemas externos se encuentran conectados a subsistemas internos, los cuales fueron incorporados a los monumentos bajo tierra y también, en mayor o menor medida, dentro de sus masas murarias.

Los sistemas subterráneos han ido envejeciendo y su deterioro no fue detectado inmediatamente por estar cubiertos por la epidermis de los pavimentos y veredas. También se ha producido deterioros en los subsistemas internos, los cuales en algunos casos han sido fáciles de detectar y en otros no tanto.

La rotura de las instalaciones que transportan líquidos genera manifestaciones patológicas en las construcciones debidas a asentamientos diferenciales de la fundación por fallas en terrenos cohesivos y a la presencia de humedades ascendentes. En la mayoría de los casos, ante los primeros síntomas los problemas en los edificios patrimoniales no son solucionadas rápidamente, sino que se trata de procesos de larga duración que van incrementando el deterioro en distintas partes, como muros, pisos, revestimientos e incluso pinturas murales. En algunos casos llegan a producirse daños irreversibles, perdiéndose parte de la memoria del patrimonio.

Otro factor de daño lo constituyen las descargas de las tormentas eléctricas cuando falla el sistema de pararrayos del edificio, ocasionando fisuras y hasta roturas en los sectores aislados altos sobre las cubiertas (torres o cúpulas).

El mero crecimiento de la ciudad, por sí mismo, también genera otros factores de deterioro a la edificación patrimonial. En primer lugar, el incremento del tránsito vehicular en su entorno inmediato, especialmente el de carga y de transporte público, produce: a) gases de combustión que actúan como agentes agresivos de materiales de revestimientos; b) vibraciones que actúan sobre el terreno y se transmiten al edificio, incrementando los asentamientos diferenciales y con ello, el deterioro estructural en un proceso permanente y dilatado en el tiempo. Por otra parte, construcciones colindantes que superan en altura al monumento compiten visualmente con el mismo; en muchos casos las nuevas edificaciones, en su proceso constructivo en la etapa de excavación, contribuyen al daño en pisos y muros del edificio patrimonial.

Las inclemencias del tiempo, que generan naturalmente desgastes en los monumentos: la amplitud térmica entre el día y la noche provoca dilataciones y

contracciones no deseadas en pisos, revestimientos y pinturas al exterior. El período de lluvias tiende, en los últimos años, a extenderse; no se trata de un cambio menor si se tiene en cuenta lo ya mencionado sobre las lesiones que vienen sufriendo las distintas edificaciones con muchos puntos vulnerables para el ingreso de agua de lluvia, con sistemas de desagües existentes superados y produciendo absorción de agua en los techos. Esto último provoca deterioro de cielorrasos y ornamentaciones; en mamposterías, el deterioro de revoques y acabados, llegando en el caso de muros de tierra a su desintegración. Con el incremento de la humedad ha comenzado la proliferación de colonias de bacterias y hongos en las superficies horizontales de cornisas y molduras que manchan las caras inferiores de las mismas, tornándose difícil su restauración.

### **1.2 Patrimonio construido en zona sísmica**

En cuanto a condicionantes de sitio, la región del noroeste de Argentina se encuentra en zonas de moderada a elevada peligrosidad sísmica; la ciudad de Salta, por ejemplo, en zona de elevada peligrosidad sísmica, por siglos ha venido soportando movimientos telúricos a baja escala en forma permanente y con picos muy intensos en momentos específicos; algunas edificaciones antiguas han sido dañadas por sismos que provocaron asentamientos diferenciales de su fundación, fisuras en muros y cubiertas, rotura y desprendimientos de molduras y pérdida de continuidad en las aislaciones basales y en cubiertas

Es conocido que los probables eventos sísmicos de intensidad elevada pueden, sin previo aviso y en pocos segundos, destruir sitios con gran valor patrimonial, edificios que no debieran desaparecer nunca, ya que son referentes que nos permiten escribir la historia pasada, presente y futura. Los daños de estos referentes, muchas veces irreparables, provocan una pérdida de identidad y un sentimiento de desarraigo cayendo en el olvido; tómese como ejemplo la ciudad de Esteco (provincia de Salta), destruida por un sismo de intensidad IX en 1692.

Si bien los movimientos sísmicos desastrosos son de escasa frecuencia, aquellos de menor intensidad y de mayor ocurrencia generan daños como los descriptos más arriba y es sabido que un edificio que presenta daños (fisuras, deterioro del suelo, presencia de humedad en paredes de adobe y en terrenos cohesivos) será más vulnerable frente a la acción del próximo sismo que aquel cuya estructura conserva su integridad. De allí la importancia vital que tiene la preservación de la integridad estructural del patrimonio en la región.

### **1.3 Motivación para una propuesta metodológica**

Por su naturaleza la conservación del patrimonio es primordial para la memoria de las comunidades que lo albergan y sus futuras generaciones y es un fin ineludible para la preservación de su legajo cultural. Pero, como vimos en el apartado anterior, los entornos urbano y natural son potencial o activamente agresivos y la sumatoria de patologías debilita al conjunto.

Los problemas del edificio patrimonial son cada vez más complejos, y al mismo tiempo se requiere que las intervenciones en el mismo deban ser mínimas, por lo tanto demandan de un profundo estudio previo a fin de establecer diagnósticos precisos para la propuesta de su posible solución.

El presente trabajo muestra una serie de estudios que dan lugar a una propuesta metodológica orientada a sistematizar la evaluación de parámetros indicadores de deterioro, tanto del terreno como de las estructuras y fundaciones de los edificios patrimoniales.

Esta propuesta surge a partir de un trabajo realizado para el Distrito Noroeste de la Dirección Nacional de Arquitectura de la Nación, que tiene a su cargo la conservación de los edificios declarados monumentos nacionales.

Dicha institución encargó a especialistas miembros del Proyecto de Investigación N° 1700 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta el estudio de la vulnerabilidad sísmica de la Iglesia Nuestra Señora de la Candelaria de La Viña, situada en la ciudad de Salta (Figura 1). Esta iglesia es, sin duda, uno de los más notables ejemplos de la arquitectura clasicista italiana en la Argentina [1] y fue declarada Monumento Histórico Nacional en 1982. Su construcción comenzó hacia 1853 y fue terminada en 1884. El frente del templo debió ser refaccionado tras los daños que sufrió por el sismo del 5 de febrero de 1908.

La característica más interesante del trabajo realizado, es que el edificio no tiene aún patologías que afecten su integridad estructural, aunque sí aparece potencial de daños debidos a humedad excesiva en el terreno arcilloso que lo sustenta.

Las detalladas investigaciones realizadas para la evaluación permitieron apreciar la importancia de los estudios preventivos del patrimonio, de carácter no destructivo, valorando la rapidez y reducidos costos que se requieren para llevarlos a cabo.



Figura 1: Planta, corte transversal y vista de la Iglesia Ntra. Sra. de la Candelaria de la Viña [2]

## 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL BIEN PATRIMONIAL

La amenaza sísmica, como se vio anteriormente, pone en riesgo los elementos ornamentales del patrimonio, por lo que resulta de gran interés resguardar información que permita una fiel reconstrucción en caso de daños.

Con el propósito de generar bancos de información sobre estos detalles constructivos, se emplea un programa que está diseñado para la reconstrucción de objetos y escenas en tres dimensiones a partir de fotografías, a fin de ser empleado en la ortorrectificación, relevamiento, digitalización y archivo de elementos arquitectónicos en edificios [3].

Se presentan como ejemplo las tomas fotográficas realizadas para trabajar sobre una moldura ubicada en la fachada del edificio (Figura 2). El lugar fotografiado se caracteriza por la inaccesibilidad para su relevamiento a una cota de 20 metros, y a una distancia aproximada de 27 metros del punto donde se tomaron las fotografías. Dado que del mismo no existen planos relevados de detalle se utiliza la fotografía ortorrectificada para la creación de planos de relevamiento de detalle con CAD.

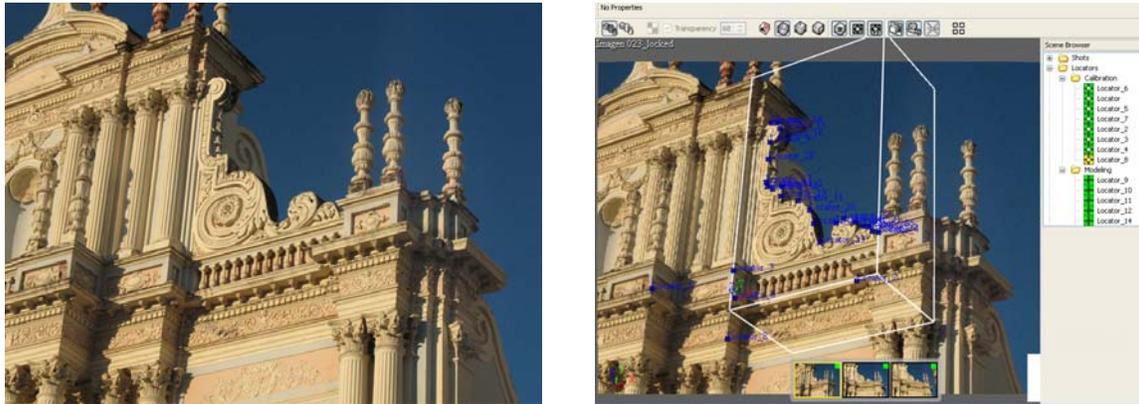


Figura 2: Fotografía y construcción de puntos de control y prisma 3D para extracción de imagen plana [3].

Se emplea una cámara digital compacta semiprofesional de 8.1 MP, sin ningún accesorio adicional. En primer lugar se efectúa un modelado 3D, para el cual el software está diseñado, y posteriormente se exporta las imágenes planas que el mismo genera a fin de mapear o revestir el modelo 3D. La comprobación y el análisis de estas imágenes son incorporados a un programa CAD, con el que se verifican las dimensiones, sus errores y deformaciones en relación al relevamiento realizado en el sitio (Figura 3).

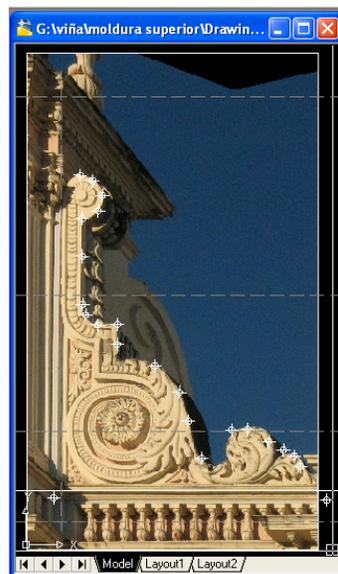


Figura 3: Sobredibujado (overlay) de detalles en CAD sobre foto ortorrectificada [3].

La metodología resulta eficaz, con la ventaja, entre otras, del empleo de cámaras fotográficas estándares, para relevar detalladamente elementos arquitectónicos complejos, en muchos casos de difícil acceso y de valor artístico y patrimonial.

### 3. REGISTRO DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL

Cada edificación posee frecuencias propias de vibración, como característica inherente a su configuración en planta y elevación, a sus materiales y a su interacción con el terreno. Dichas características pueden ser evaluadas a partir de los registros de acelerógrafos con la sensibilidad adecuada.

A efectos de la determinación experimental de estas características dinámicas del edificio de la iglesia, fueron realizados ensayos de vibración ambiental [4]. Se midieron las aceleraciones a nivel de cubierta en: nave principal, naves transversales, cúpula, muros de fachada y contrafuerte, muros laterales y ábsides.



Figura 4: Acelerógrafos triaxiales [4]

El equipo utilizado para los ensayos incluyó una registradora digital de doce canales y cuatro acelerómetros triaxiales de balance de fuerzas (Figura 4).

En la Figura 5 se muestra la disposición de los acelerómetros triaxiales.

Cuando las condiciones del edificio cambian; por ejemplo si sufre algún tipo de daño, las características dinámicas se modifican.

Luego, si se evalúan periódicamente las frecuencias de vibración de un edificio patrimonial y se comparan los registros, será posible detectar tempranamente la aparición de patologías que pueden o no evidenciarse a simple vista.

### 4. INVESTIGACIONES EN EL EDIFICIO Y EL SUBSUELO

El conocimiento detallado de la estructura interna de la mampostería de los monumentos históricos es la clave para su restauración. En general, este tipo de estructura está compuesta por diferentes tipos de mampuestos: ladrillo, piedra, con insertos de madera y metal. El espesor, profundidad y tipo de fundación constituyen información útil para planificar las tareas de conservación. Más importante aún es la

posibilidad de reconocimiento de fisuras, crucial para verificar la estabilidad de los edificios.

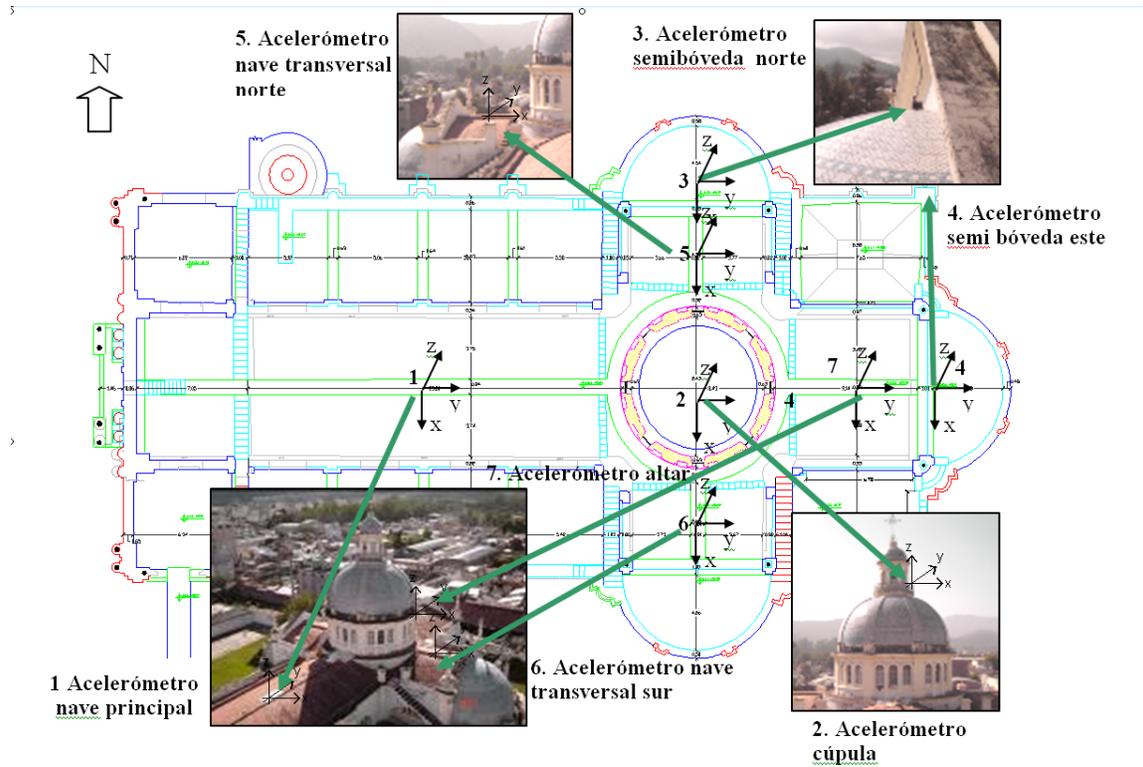


Figura 5: Localización de algunos acelerómetros triaxiales [4]

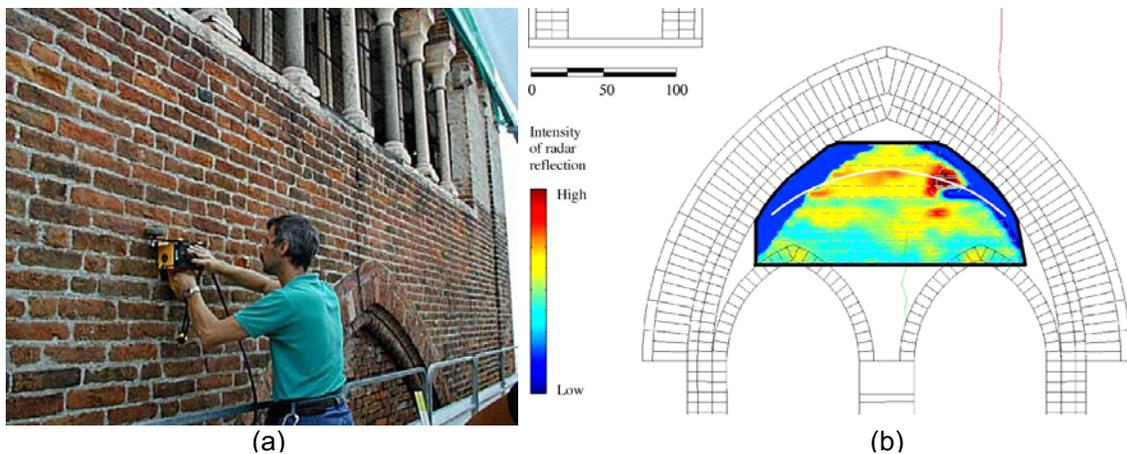


Figura 6: (a) Uso de georradar; (b) Imagen de radar que muestra la reflexión en la profundidad de un aparente arco oculto [5]

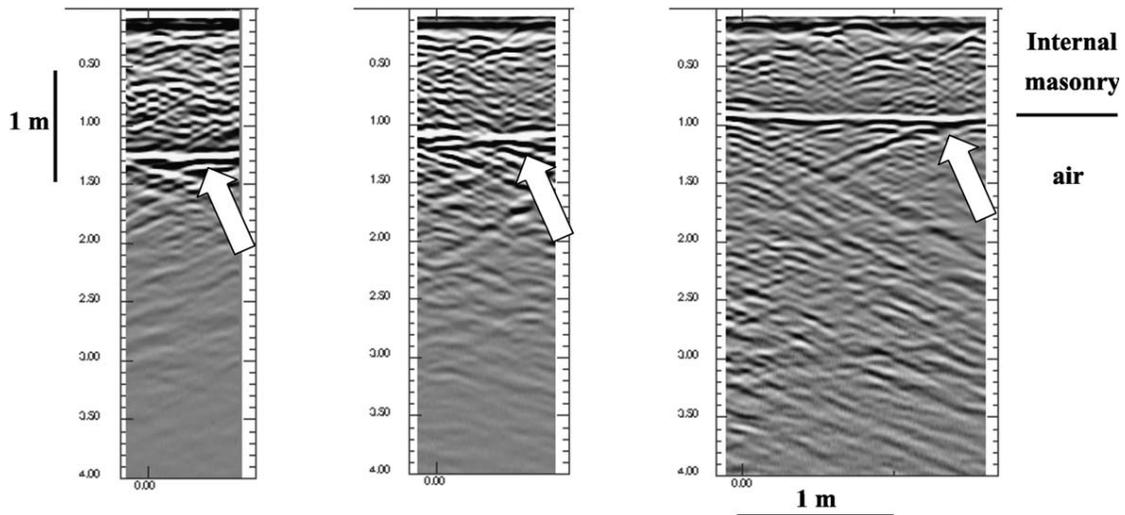


Figura 7: Radargramas que muestran los espesores y las interfaces de aire en el muro [6]

Obviamente, se debe dar preferencia a técnicas no destructivas por sobre las destructivas, como el cateo y excavaciones o perforaciones. Estas últimas deben minimizarse, especialmente cuando los edificios en estudio están muy deteriorados o son muy antiguos.

La característica principal de los métodos no destructivos reside en su capacidad para investigar un sitio o una estructura en forma no invasiva. Uno de ellos consiste en el empleo del georradar (o GPR, por sus siglas en inglés) que es uno de los equipos para ensayos no destructivos que provee los resultados más interesantes, pues la configuración de la estructura de un edificio obtenida con GPR hace posible planificar actividades de monitoreo estructural, conservación, restauración y estabilización. (Figuras 6 a 9)



Figura 8: Observación de un sector del muro descarnado de la iglesia La Viña

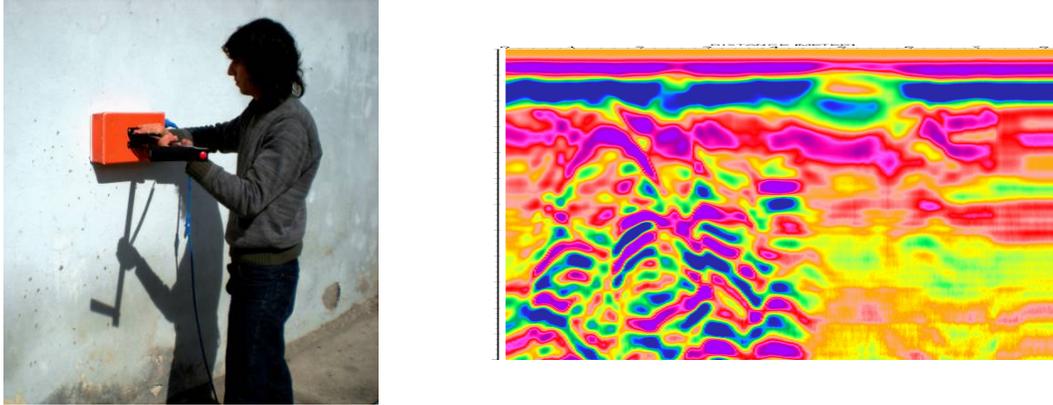


Figura 9: Verificación de los componentes de la mampostería en el resto del muro de la Figura 8 [9]

El ingreso de agua y el movimiento de la humedad dentro de la estructura son importantes en términos de la durabilidad estructural, como se mencionó anteriormente. Similares consecuencias tiene el ingreso de humedad por capilaridad desde la fundación del edificio. Es importante conocer la altura real del nivel de humedad dentro de los muros (el cual es en general mayor que el que se observa en la superficie externa de la pared). Estas determinaciones pueden también lograrse con el GPR (Figura 10)

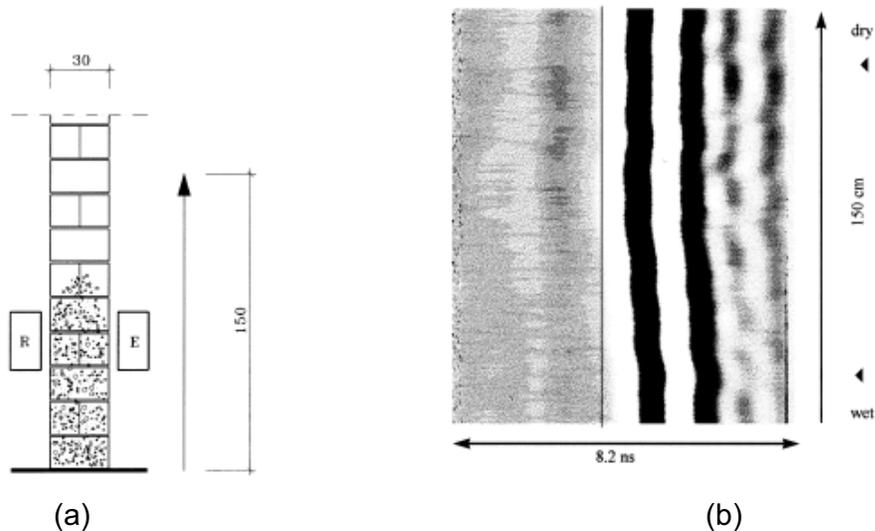


Figura 10: (a) Procedimiento experimental y (b) radargrama en presencia de humedad [7]

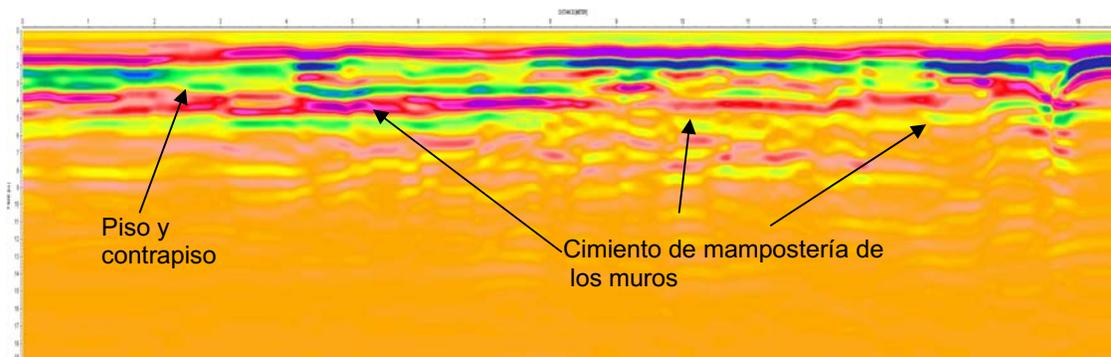
Por último, cabe remarcar la aptitud del GPR para efectuar exploraciones en el terreno y la fundación de las edificaciones, sin necesidad de realizar excavaciones que pueden dañar pisos de valor [8]. En la Figura 11 se muestra la aplicación en la iglesia La Viña [9].



(a)



(b)



(c)

Figura 11: (a) y (b) Evaluación del subsuelo de la iglesia La Viña con GPR; (c) radargrama [9]

## 5. PROPUESTA METODOLÓGICA

### 5.1 Objetivo

Tomando como base el texto de la convención sobre el patrimonio Mundial Cultural y Natural promovida por la UNESCO realizada en noviembre de 1972, iniciativa donde la mayoría de las naciones se comprometían a "identificar, conservar, proteger, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el Patrimonio Cultural y Natural situado en su territorio", es que se realiza la propuesta que se detalla a continuación.

Han sido aquí descritas técnicas potentes en cuanto a su carácter no destructivo, a su rapidez de aplicación y a la profundidad de investigaciones que permiten realizar.

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, el objetivo de la metodología consiste en minimizar la inversión de recursos que la comunidad destina a la conservación del patrimonio construido en zona sísmica. Por un lado, la detección precoz de daños estructurales evita posteriores intervenciones que además de costosas,

pueden resultar invasivas al bien cultural. Por otra parte, está demostrado que por cada unidad monetaria que se destina a la prevención de daños, son miles de estas unidades las que esa comunidad ahorrará en pérdidas de edificaciones históricas, cuando no de vidas humanas que están expuestas dentro de estas construcciones y en sus áreas circundantes ante un evento sísmico.

## 5.2 Metodología de prevención para la conservación

1. Las actividades de conservación no deben estar supeditadas a los vaivenes políticos y económicos que acontecen con el transcurso del tiempo, por lo cual, una vez que el edificio es declarado monumento histórico, la administración que tiene a su cargo la preservación también asumirá la responsabilidad del cumplimiento de la ejecución de un protocolo para su conservación a través de la prevención.
2. El protocolo mencionado se adecuará a las características del edificio en particular, y debe detallar la forma en que se efectuará la prevención, conteniendo la siguiente información:

Institución que realizará los estudios de prevención y la forma como se garantizará la ejecución de dichos estudios a lo largo del tiempo.

Listado de los detalles a relevar con fotografía digital. Soporte y respaldo en el que se almacenará la información. Conservación de la información.

Proyecto de relevamiento de características dinámicas con acelerógrafo: localización de sensores en planta y elevación, frecuencia de toma de datos, soporte y respaldo de los registros. Análisis de la información y su evolución en el tiempo. Conservación de la información.

Puntos de monitoreo de las condiciones del terreno de fundación con GPR para detectar cambios en las condiciones de humedad. Soporte, respaldo y conservación de la información.

Posibilidad de incorporar técnicas actualizadas de acuerdo a nuevos desarrollos tecnológicos.

## 6. CONCLUSIONES

El patrimonio construido en zonas urbanas con amenazas naturales sufre cambios permanentes junto a los del dinámico entorno que lo alberga. La responsabilidad ineludible de preservarlo está ligada directamente a los estudios que, por medio de técnicas no destructivas, permiten la evaluación y diagnóstico temprano de patologías. Así, la conservación resultará posible con una muy buena optimización en el uso de recursos. La propuesta procedimental expuesta en el presente trabajo constituye una primera aproximación a lo que seguramente podrá seguir perfeccionándose en la medida en que se continúe trabajando con este tipo de técnicas, a la vez que se incorporen las que la tecnología desarrolle en el futuro.

## REFERENCIAS

- [1] "Candelaria de La Viña", (2005), *Parroquia Ntra. Sra. de la Candelaria de La Viña*.
- [2] Martínez, E. y Giles, B., (2005), "Patrimonio Urbano Arquitectónico". *Ministerio de Educación de la Provincia de Salta*.
- [3] Gea, G. y Gea, S., (2009), "Fotogrametría de bajo costo para relevamiento de edificios de valor patrimonial". *1er. Congreso Iberoamericano y VIII Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio*, La Plata.
- [4] Toledo, M., Gea, S. y Nallim, L., (2009), "Características dinámicas de una iglesia del siglo XIX". *VIII Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción*, Mendoza (Argentina).
- [5] Ranalli, D., Scozzafava, M. y Tallin, M., (2004) "Ground penetrating radar investigations for the restoration of historic buildings: the case study of the Collemaggio Basilica (L'Aquila, Italy)", Vol 5, pp. 91–99.
- [6] Binda, L., Zanzi, L., Lualdi, M., Condoleo, P., (2005), "The use of georadar to assess damage to a masonry Bell Tower in Cremona, Italy", Vol 38, pp. 171–179.
- [7] Binda, L., Lenzi, G., Saisi, A. (1998), "NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries". *NDT&E International*, Vol. 31, No. 6, pp. 411–419.
- [8] McCann, D.M. y Forde, M.C., (2001), "Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures", *NDT&E International*, Vol 34, pp. 71–84.
- [9] Aldana, G. R., Ceballos, M. A., Gea, S., (2011), "Experiencias con GPR en los Procesos de Evaluación de Estructuras". *7º Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras*. Fortaleza, Brasil.