



Revista de la Asociación Latinoamericana  
de Control de Calidad, Patología y  
Recuperación de la Construcción

E-ISSN: 2007-6835

revistaalconpat@gmail.com

Asociación Latinoamericana de Control  
de Calidad, Patología y Recuperación de

Maldonado, N. G.; Albiol, S.

Importancia de la evaluación de sismo seguido de incendio en Mendoza, Argentina

Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y  
Recuperación de la Construcción, vol. 3, núm. 1, septiembre-diciembre, 2013, pp. 71-81

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la  
Construcción, A. C.

Mérida, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639591007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



# Revista ALCONPAT

[http://www.mda.cinvestav.mx/revista\\_alconpat](http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat)



Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

## Importancia de la evaluación de sismo seguido de incendio en Mendoza, Argentina.

N. G. Maldonado<sup>1</sup>, S. Albiol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, Ciudad, Mendoza, República Argentina.

Email: [ngm@frm.utn.edu.ar](mailto:ngm@frm.utn.edu.ar)

<sup>2</sup>Escuela de IV Nivel, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, República Argentina

### Información del artículo

Artículo recibido el 15 de Marzo de 2013 y revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 19 de Abril de 2013. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores se publicará en el tercer número del año 2013 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2013

### RESUMEN

Los terremotos seguidos de incendios producen importantes pérdidas de vidas y perjuicios económicos. Para el centro-oeste argentino los registros de épocas indican que después de terremotos se produjeron daños ocasionados por el fuego, interrumpiendo los servicios. Se plantea la evolución del diseño sismorresistente incorporando otros riesgos y se analiza la situación del Gran Mendoza, Argentina, en función de los datos actuales y los daños esperados en las estructuras teniendo en cuenta el diseño arquitectónico y estructural, los materiales y las instalaciones. La evaluación de la antigüedad de la construcción y los servicios disponibles detectan una importante problemática en las construcciones existentes, la mayoría viviendas, que amerita la planificación en la prevención por parte de los usuarios y las autoridades responsables.

© 2013 ALCONPAT Internacional

**Palabras Clave:** sismo, fuego, daño, riesgo, pérdidas

### ABSTRACT

Fire following earthquakes produces significant loss of life and economic damages. For the central-western Argentina records show that earthquake damages caused fire and disruption of services. It is proposed the evolution of the resistant earthquake design incorporating other risks. Great Mendoza situation is analyzed in function of the current data and the estimated damages in the structures taking into account the architectural and structural design, the materials and the facilities. The evaluation of service life of construction and the available services detect an important problem in the existing buildings, most of them dwellings that warrants prevention planning by users and responsible authorities.

**Keywords:** earthquake, fire, damage, risk, losses

Autor de contacto: Noemí Graciela Maldonado.

### Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 3, No. 1, Enero - Abril 2013, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel. 5219997385893,

[alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web:

[www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista](http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista).

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2013-011717330300-203, ISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de última modificación: 30 de Abril de 2013.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de vidas por catástrofes en el mundo, registradas en los últimos años, indican que los terremotos ocupan un porcentaje importante, con la impronta de su impredecibilidad (Scawthorn, 2008).

El estudio cronológico de los terremotos muestra el efecto devastador que le suman los incendios posteriores, como están documentados en los terremotos en Lisboa, Portugal (1755), San Francisco, Estados Unidos (1906), Valparaíso, Chile (1906) que dieron nacimiento a la temática y ratificados en un resumen de terremotos e incendios posteriores: San Francisco (1906): 59 incendios, Long Beach (1933) 23 incendios, San Fernando (1971) 147 incendios, Whittier (1987) 38 incendios, Loma Prieta (1989) 58 incendios, Northridge (1994) 92 incendios .

En el terremoto de San Francisco de 1906 las pérdidas por incendios fueron diez veces el valor del daño causado por el terremoto (Scawthorn, 1987); en el terremoto de Kanto, Tokio (1923), el 77% de los edificios se perdieron por efecto del fuego ocasionando más de 100.000 muertos.

El crecimiento urbano también ha aportado a la problemática y lo han demostrado los terremotos de Estados Unidos de San Fernando (1971), Northridge (1994) donde entre el 20 al 50% de las pérdidas se debieron a los efectos de incendios generados por el uso de gas natural (Scawthorn et al, 1998). Después del terremoto de Loma Prieta (1989), el 40% de los incendios se originó en las instalaciones eléctricas. El terremoto de Kobe, Japón (1995) tuvo más de 350 incendios (INCEDE, 1995), demostrando que el terremoto afectó entre el 10 al 40% de los sistemas de protección ante el fuego (Scawthorn, 2008).

El riesgo de fuego post terremoto no es uniforme, abarcando todo tipo de construcciones, como fue el caso de la refinería Tüpracs, Turquía (1999) que afectó a la población cercana (Scawthorn, 2000).

El caso más reciente, es el terremoto de Tohoku, Japón (2011) donde se demostró nuevamente la problemática de falla de sistemas de protección, en este caso de la central atómica de Fukushima, donde se produjeron no sólo pérdidas económicas, sino un accidente nuclear de alcance grave, generado por terremoto más tsunami e incendio (Koshimura, 2011).

A nivel nacional la problemática deja las mismas evidencias del efecto del fuego posterior al terremoto. El terremoto de Mendoza del 20 de marzo de 1861 la destrucción queda descripta en pocas palabras “Y todas las casas, todos los templos, la ciudad toda quedaron en dos segundos destrozados y tendidos por tierra” (Verdaguer, 1931) a lo que se le suman estas frases “Un nuevo espectáculo aterrador viene a iluminar con sus resplandores siniestros la destrucción: el siniestro estalla en diversas tiendas a un tiempo, habiendo caído las lámparas de aceite encendidas bajo los techos, tres cuerdas arden, una inmensa hoguera empieza a alumbrar, como una tea funeraria, aquel inmenso cementerio”. Un informe del Dr. Wenceslao Díaz indica “El incendio que duró hasta el día 24, vino a completar las angustias de los que sobrevivieron”.

En un tiempo más cercano, el terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944 también tuvo la problemática de terremoto seguido de incendio (Healy, 2012).

Por lo expuesto, es necesario estudiar los terremotos asociados con los incendios generados por ellos. La Declaración y Plan de Acción de Yokohama de 1994 (IDNDR, 1994) estableció como principio básico que el análisis de riesgos es clave para lograr el éxito en la reducción de desastres.

El objetivo principal de este trabajo es aportar y discutir información para mejorar el conocimiento del riesgo al que está expuesto el núcleo urbano de Mendoza o Gran Mendoza, considerado con el mayor riesgo sísmico de Argentina (INPRES, 1989), su población, sus bienes

y actividades económicas y con ello permitir en un futuro cercano la elaboración de un plan de prevención y mitigación de los efectos de un terremoto ( $M \geq 7.5$ ) seguido de incendio.

## 2. CONCEPTO SOBRE PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGO

Se denomina peligro a la probabilidad de que se produzca un fenómeno natural potencialmente destructivo en un determinado lugar y tiempo. Este peligro no puede ser eliminado o reducido

Se denomina vulnerabilidad a los probables daños a ocasionarse, en la que influyen las características físicas, socioeconómicas de la zona. Se debe de tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una construcción es una propiedad intrínseca de cada edificación y, además, es independiente de la peligrosidad del emplazamiento.

En conclusión: el riesgo es la consecuencia de la combinación del peligro y la vulnerabilidad. Este factor tiene un impacto fundamental en todas las actividades de prevención y planificación de las emergencias.

En el caso de terremoto, el diseño de la construcción ante un único peligro, no permite apreciar cómo se puede mejorar el mismo frente a otros peligros que podrían presentarse simultáneamente. Entre los peligros se pueden mencionar no sólo los peligros por fenómenos naturales como inundación, vientos, sino los generados por el hombre como el fuego o el impacto. Según el tipo de obra, todos los riesgos deben ser evaluados; cada uno de ellos tiene diferentes probabilidades y consecuencias cuando se presentan.

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo de la problemática del terremoto seguido de incendio.

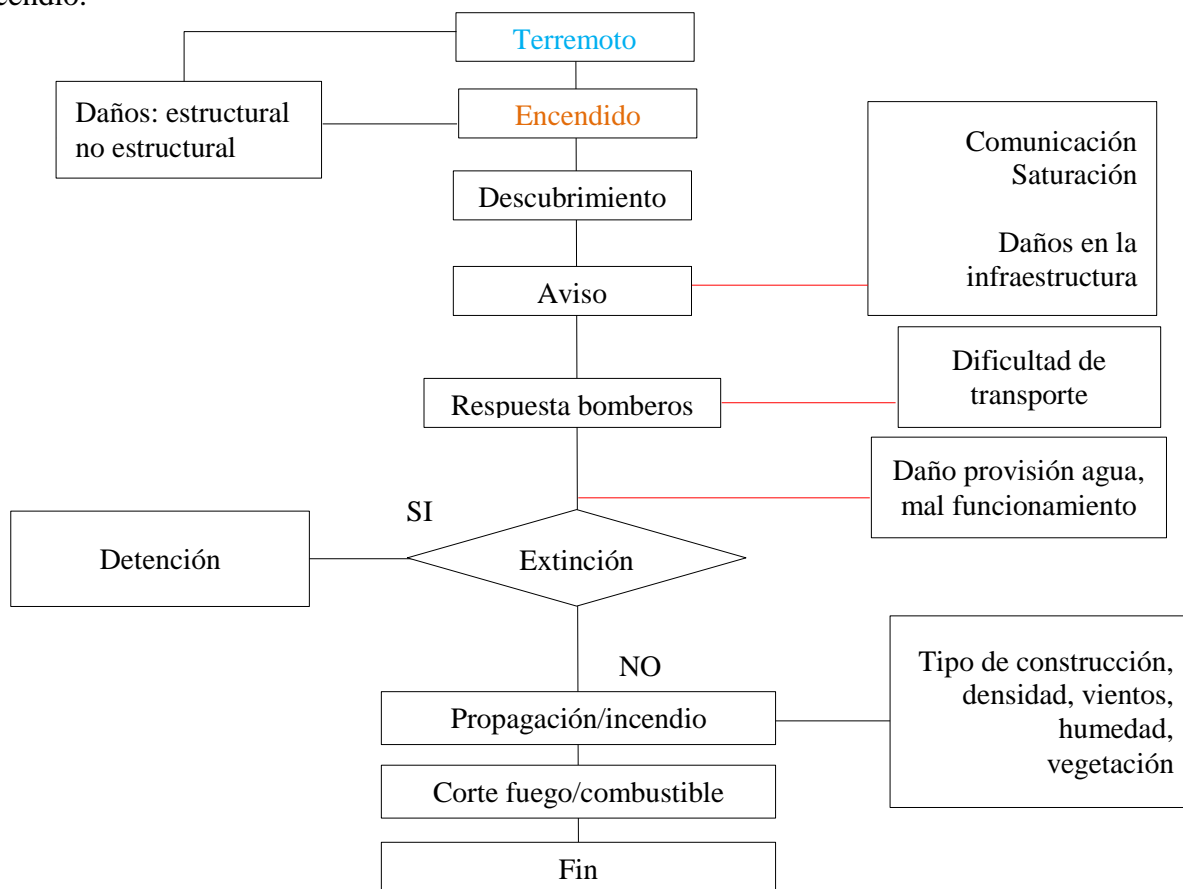


Figura 1. Problemática de terremoto seguido de incendio (Adaptado de Scawthorn, 2008).

Este riesgo tiene una baja probabilidad de ocurrencia pero tiene un altísimo potencial de consecuencias, donde puede ser factible que la preparación y la prevención no sean adecuadas y suficientes. Después del terremoto, los daños en las estructuras pueden provocar focos de incendios y en ese estado de caos con la saturación en las comunicaciones, dificultades en el transporte y las cañerías de agua averiadas, trabajar para la detención y la extinción del fuego se hace prácticamente imposible, de ahí que las condiciones locales de urbanización gobiernan la lucha contra el fuego (material y tipo de construcción, ancho de calles, disponibilidad de agua, cercanía de fuentes de ignición, etc).

### **3. SITUACIÓN LOCAL**

El Gran Mendoza, es el núcleo urbano del centro-oeste argentino expuesto al mayor peligro sísmico de Argentina (INPRES, 1989), que concentra el 62,5% de la población de provincia de Mendoza (Censo Nacional, 2010) que supera el millón de habitantes. Cuenta con una población activa de 702.600 habitantes con un índice de dependencia del 54%, dentro del cual 1/3 corresponde a mayores de 65 años.

El parque habitacional provincial está compuesto por 480.000 unidades con un 90% de casas y 10% de edificios de departamentos, estos últimos concentrados en el Gran Mendoza. El número de viviendas del Gran Mendoza alcanza las 346.000 unidades. El 20% de las casas tiene más de 50 años de antigüedad, 58% entre 11 y 49 años y 22% con menos de 10 años de antigüedad. Para los edificios, el 15% tiene más de 50 años, 53% entre 11 y 49 años y 32% menos de 10 años.

Respecto a los materiales de construcción utilizados, el 80% corresponde a materiales cerámicos, bloques y hormigón armado, 12% es de adobe, 1,7% es de madera, 0,3% de chapa de metal o fibrocemento y 0,6% de cartón, paja y otros materiales precarios.

Respecto a la provisión de servicios, el 94% de los hogares cuenta con servicio de disposición de aguas servidas en el Gran Mendoza, 96% dispone de energía eléctrica, 88% dispone de gas natural en Capital y Godoy Cruz, 76% en Guaymallén y entre 60-70% para el resto de los departamentos del Gran Mendoza de provisión de gas mediante red.

Esta información es de importancia a la hora de analizar el tema de riesgos simultáneos, ya que permite considerar los futuros escenarios y las medidas a priorizar ante un terremoto.

Un trabajo realizado (Doña et al, 2010) utiliza la aplicación del modelo suministrado por RADIUS99 para estimar los daños causados por los sismos para la Capital de Mendoza y poder ejecutar actividades similares como primera medida de gestión del riesgo sísmico. En este caso se utilizan los SIG que permiten la integración de números ilimitados de capas temáticas, usando diferentes algoritmos para llevar a cabo operaciones espaciales, permiten la representación gráfica de la información geográfica en formatos diferentes, incluyendo pero no limitándose a mapas temáticos, con la ventaja de la actualización periódica. El resultado muestra que las líneas vitales pueden resultar con daños severos, como ser las líneas más importantes de distribución eléctrica, ya que bordean la zona de mayor riesgo (Cuarta Sección) lo que sugiere que podrían presentarse problemas en el suministro eléctrico. En cuanto al suministro de agua no se observa con problemas pero de resultar dañada, los efectos negativos serían realmente graves. Lo mismo puede concluirse en cuanto a las vías de comunicación (puentes y accesos importantes) ya que de un total de 35 puentes, 7 resultarían con daños severos; y del total de caminos el 10% resultaría afectado, complicando esto las vías de escape o acceso a las zonas damnificadas. Si bien el trabajo mencionado no incluye específicamente el tema de incendio, el análisis de los resultados

de las provisiones de líneas vitales (electricidad y agua) y de vías de comunicación, indican la necesidad de un planteo adicional para el tema incendio.

Un análisis de los antecedentes de incendios evaluados para estudios de rehabilitación indican que aun siendo un único efecto el fuego, el nivel de destrucción alcanzado fue importante, por lo tanto, un escenario ante un terremoto de la máxima magnitud esperada en la zona, no es alentador en cuanto a la resolución del incendio o calidad de respuesta ante la emergencia (CeReDeTeC, 2007-2010). En la Figura 2 se muestran los resultados de los ejemplos mencionados. También en el último año se han presentado algunos eventos extraordinarios como aludes en la Cordillera de Los Andes que han dejado sin provisión de agua el Gran Mendoza durante más de 24 horas, lo que para un evento simultáneo de terremoto puede ser catastrófico (Diario Los Andes, 2013).



Figura 2. Resultados de incendios en el Gran Mendoza sobre las construcciones



#### 4. METODOLOGIA APLICADA

Históricamente los criterios de diseño frente a distintos fenómenos se han considerado como una especialidad y solamente toman en cuenta un único efecto.

Si bien los procesos de reglamentación tanto para el terremoto como para el incendio se iniciaron en Estados Unidos en 1906 con el terremoto de San Francisco, las formas de aplicación en el diseño de la construcción han sido casi independientes, por un lado las reglamentaciones sobre las estructuras (ASCE, ACI, UBC) y por otro los requerimientos para incendios (NFA). Es a partir del año 2000, con el International Building Code (IBC), que convergen en un único documento.

El primer tipo de diseño corresponde a un enfoque simple, prescriptivo y elemental donde el comportamiento del fuego y la estructura se ignoran. Las soluciones de diseño óptimo en seguridad y economía no siempre se alcanzan. Se utilizan tablas obtenidas de ensayos experimentales de exposición al fuego durante tiempos establecidos, que definen el grado de protección de las estructuras de hormigón armado a través de su recubrimiento y que mantienen las mayorías de las reglamentaciones de estructuras (CIRSOC 201, 2005).

Un enfoque ingenieril más avanzado analiza el fuego real más el comportamiento estructural para obtener mayor seguridad, resistencia y economía. En este caso el diseño de la estructura al fuego es independiente del diseño sismorresistente.

La respuesta estructural al fuego depende de la respuesta de toda la estructura y los cambios geométricos en los elementos estructurales por aumento de la temperatura que afectan la respuesta del sistema (IFC, 2011, Eurocode 2, 1996).

En este caso, el costo de protección ante el fuego es muy importante en estructuras de acero y el nivel de seguridad disponible frente al riesgo de estados límites es desconocido. El hito que genera un análisis comprensivo se presenta a raíz del atentado a las Torres Gemelas de Nueva York en 2001 (FEMA 403, 2002) y ha alcanzado importante desarrollo en los últimos quince años en la Universidad de Edimburgo y Manchester, Inglaterra, los Programas NIST-SoSAFE en Estados Unidos o COST C26 – WG1 (2008) en Europa.

La metodología basada en comportamiento PEER-PBEE (Performance Based Earthquake Engineering (PEER, 2008, FEMA 440, 2005) implica la necesidad de estudio e investigación para terremotos seguidos de fuego con el fin de lograr una valoración económica. Es imprescindible usar modelos para evaluar el comportamiento con distintos escenarios de fuego, distribución de temperaturas, propiedades mecánicas y térmicas de los materiales (antes y después del fuego). Esto implica que el concepto de daño representa el costo de restaurar los activos a su condición previa al daño y en el caso de un riesgo único, terremoto, la estimación de los daños a un activo se reduce a la modelación de su vulnerabilidad, es decir, el nivel de los daños debido a la intensidad del terremoto (Keshishian, 2012). Pero hay casos en que un solo evento puede causar múltiples daños a los bienes y es este caso, donde se mantiene la definición de daño, excepto que el costo debe incluir el costo total necesario para restaurar el daño de todos los peligros sin duplicar la contabilidad.

C. Arnold (FEMA 454, 2006) presenta la Tabla 1 para la valoración del diseño sismorresistente frente a la interacción de sistemas con riesgos múltiples, considerando los riesgos más significativos, donde (+) indica condición deseable o método para el componente o sistema diseñado, (-) indica condición indeseable, (0) indica poca o ninguna importancia y (+/-) indica que el significado puede variar según la combinación que se presente.

Tabla 1. Interacciones de riesgos múltiples en las consideraciones de diseño

| Sistema                           | Condiciones existentes o métodos de protección propuestos | Terremoto | Inundación | Viento | Impacto | Incendio |
|-----------------------------------|---|-----------|------------|--------|---------|----------|
| <b>1. SITIO</b>                   |   |           |            |        |         |          |
| <b>1.1</b>                        | Análisis de riesgo del sitio                              | +         | +          | +      | +       | +        |
| <b>1.2</b>                        | Dos o más vías de acceso                                  | +         | +          | +      | +       | +        |
| <b>2. ARQUITECTURA</b>            |   |           |            |        |         |          |
| <b>2.A</b>                        | Configuración   |           |            |        |         |          |
|                                   | Planta con entradas                                       | -         | 0          | -      | -       | 0        |
|                                   | Edificios encerrando patios                               | -         | 0          | +      | +/-     | 0        |
|                                   | Edificio con formas complejas                             | -         | -          | -      | -       | -        |
|                                   | Techos en pendiente o voladizo                            | -         | 0          | -      | -       | 0        |
| <b>2.B</b>                        | Cielorrasos   |           |            |        |         |          |
|                                   | Colgante con diagonales                                   | +         | 0          | +      | +       | +        |
| <b>2.C</b>                        | Particiones   |           |            |        |         |          |
|                                   | Bloque, ladrillo hueco                                    | -         | +          | -      | -       | +        |
|                                   | Conexiones dúctiles                                       | +         | 0          | +      | 0       | -        |
|                                   | Paneles de yeso   | +         | -          | -      | -       | -        |
|                                   | Bloque, ladrillo hueco en salidas y escaleras             | -         | 0          | 0      | +/-     | +        |
| <b>2.D</b>                        | Otros elementos   |           |            |        |         |          |
|                                   | Ladrillo visto, techos pesados                            | -         | 0          | -      | -       | +/-      |
|                                   | Parapetos   | +/-       | 0          | +      | -       | +        |
| <b>3. SISTEMA ESTRUCTURAL</b>     |   |           |            |        |         |          |
| <b>3.1</b>                        | Pesado: Mampostería armada, con acero                     | -         | +          | +      | +       | +        |
| <b>3.2</b>                        | Liviana: acero/madera                                     | +         | -          | -      | -       | -        |
| <b>3.3</b>                        | Mampostería sin armar                                     | +         | +          | +      | +       | +        |
| <b>3.4</b>                        | H°A° o paredes de bloques H°                              | +         | +          | +      | +       | +        |
| <b>3.5</b>                        | Piso blando   | -         | +/-        | -      | -       | -        |
| <b>3.6</b>                        | Camino indirecto de cargas                                | -         | 0          | -      | -       | -        |
| <b>3.7</b>                        | Discontinuidades horizontales y verticales                | -         | 0          | -      | -       | -        |
| <b>3.8</b>                        | Separaciones sísmicas                                     | +         | 0          | 0      | 0       | -        |
| <b>3.9</b>                        | Detalle dúctil de conexiones                              | +         | 0          | +      | +       | 0        |
| <b>3.10</b>                       | Diseño por levantamiento                                  | +         | 0          | +      | +       | 0        |
| <b>3.11</b>                       | H°A°, Bloques alrededor de escaleras y vías de escape     | -         | 0          | 0      | +/-     | +        |
| <b>4. ENVOLVENTE DEL EDIFICIO</b> |   |           |            |        |         |          |
| <b>4 A</b>                        | Revestimiento de paredes                                  |           |            |        |         |          |
|                                   | Mampostería en muros ext.                                 | -         | -          | -      | -       | 0        |
|                                   | Revestimiento liviano                                     | +         | 0          | 0      | -       | 0        |
|                                   | Paneles prefabricados                                     | -         | 0          | +      | +       | 0        |



| Sistema  | Condiciones existentes o métodos de protección propuestos | Terremoto | Inundación | Viento | Impacto | Incendio |
|--|---|-----------|------------|--------|---------|----------|
| <b>4 B</b>   | Aventanamiento  |           |            |        |         |          |
|  | Curtain wall (metal o vidrio)                             | +         | 0          | -      | -       | -        |
|  | Vidrio resistente al impacto                              | 0         | 0          | 0      | +       | -        |
| <b>5. SERVICIOS</b>                                  |   |           |            |        |         |          |
| <b>5.1</b>   | Anclados y bien arriostrados                              | +         | 0          | +      | +       | +        |
| <b>6. INSTALACIONES MECÁNICAS</b>                    |   |           |            |        |         |          |
| <b>6.1</b>   | Componentes del sistema bien anclados y arriostrados      | +         | 0          | +      | +       | +        |
| <b>7. INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS</b>          |   |           |            |        |         |          |
| <b>7.1</b>   | Componentes del sistema bien anclados y arriostrados      | +         | 0          | +      | +       | +        |
| <b>8. INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y DE COMUNICACIÓN</b> |   |           |            |        |         |          |
| <b>8.1</b>   | Componentes del sistema bien anclados y arriostrados      | +         | 0          | +      | +       |          |
| <b>9. SISTEMA DE CONTROL DE FUEGO Y ALARMAS</b>      |   |           |            |        |         |          |
| <b>9.1</b>   | Componentes del sistema bien anclados y arriostrados      | +         | 0          | +      | +       | +        |

En el caso de incendio también es aplicable el método de diseño basado en comportamiento (COST 26, 2008) que en principio se ha utilizado para grandes proyectos (centros de compras, aeropuertos, hospitales, estadios, etc) pero su uso se está incrementando. El principal problema para aplicar este criterio está en la falta de experiencia y confianza de la autoridad de aplicación, cómo definir los parámetros para el fuego de diseño y la falta de herramientas de diseño, aunque actualmente hay distintos software donde se puede modelar el efecto del fuego (Abaqus, Ansys, Oasys, LS-Dyna, etc).

## 5. RESULTADOS

El primer análisis de la problemática sísmica del Gran Mendoza se realizó en 1986 (INPRES, 1986) y concluyó en 1989 con el documento de la Microzonificación del Gran Mendoza. Dado el tiempo transcurrido, y con un crecimiento urbano de 10% cada diez años (Censo Nacional, 2010) se hace necesaria su actualización respecto a la valoración del daño esperado por los terremotos de origen local (fallamiento tipo near-source).

El manejo del riesgo de terremoto seguido de incendio requiere de un enfoque a dos niveles diferentes: a nivel de edificación y a escala global o regional. En ambos casos se trata de un trabajo interdisciplinario (FEMA 454, 2006).

El análisis de los probables daños en función de la antigüedad de la construcción existente señala una cantidad significativa de unidades habitacionales a dañarse ante un terremoto de la magnitud máxima esperada ( $M=7,5$ ), ya que fueron construidas con reglamentos que hoy se reconocen como obsoletos, a lo que se suma el envejecimiento propio de los materiales de construcción, con poco o nulo mantenimiento. El tipo de construcción tradicional de un nivel es de mampostería encadenada con hormigón armado y techos de livianos de madera para las viviendas sociales.

También puede encontrarse daño moderado en construcciones realizadas con reglamentos sismorresistentes no actualizados (1970-1985), a lo que debe sumarse el peligro de incendio, por las características de la provisión de gas y de energía, que no cuentan con diseños actualizados y que la salida de servicio puede ser compleja. Programas como HAZUS (2000) consideran en sus modelos de previsión de daño, que en caso de provisión de gas, se debería prever las conexiones flexibles, para evitar incendios.

En las construcciones posteriores a 1985, que podrían dañarse sin quedar fuera de servicio, el tema del daño por fuego probable es más significativo, en primer lugar porque corresponden a edificios en altura, con cargas de fuego significativas y cuyo incendio producirá daños importantes (Ortega et al, 2008).

Por lo tanto, la antigüedad de la construcción como la distribución de la infraestructura de servicios orientan sobre la probabilidad de daños y la valoración de los costos de reposición. Esta información es fundamental para el manejo de riesgo por parte de las autoridades.

Desde el punto de vista del usuario, las medidas más adecuadas se presentan en el cumplimiento de las reglamentaciones para construcciones sismorresistentes (INPRES-CIRSOC 103, 2005-12) y los códigos de edificación en cuanto a las medidas establecidas para prevención de incendios (Ley 19587) y en una cultura de prevención a través de la enseñanza y los medios de difusión.

A nivel regional se requiere la actualización de la base de datos, usando sistemas de información geográfica, que ayuden a tomar decisiones para asignar y optimizar la ayuda en la emergencia después del terremoto, considerando los focos de incendio y heridos y las instalaciones de respuesta a emergencias y la disponibilidad de accesos.

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo son:

- El análisis de los efectos por riesgos múltiples es un desafío para la evaluación de costos de la ingeniería en el Gran Mendoza, tema en el que se debe seguir trabajando.
- Si no se conoce la problemática local, el riesgo por incendio posterior al terremoto se potencia. Se consideran de utilidad el uso de sistemas de información geográficos por la facilidad de actualización y disponibilidad interdisciplinaria.
- Es necesario estudiar distintos escenarios en las zonas urbanas debido al crecimiento del número de habitantes y al incremento del valor financiero-comercial de las actividades debido a los incendios post-terremotos.
- Es conveniente instalar en la sociedad la cultura de la prevención de los dos riesgos simultáneos: terremoto + incendio.

## 8. REFERENCIAS

- ASCE/SEI/SFPE 29-99. (2003), *Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection*. American Society of Civil Engineers and Society of Fire Protection Engineers.
- CeReDeTeC. Memorias anuales 2007-2010.
- COST Action C26. (2008). *Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events*. Eds: Mazzolani F et al. Universidad de Malta
- Directrices para la Prevención de los Desastres Naturales, la Preparación para Casos de Desastre y la Mitigación de sus Efectos. Estrategia y Plan de Acción de Yokohama para un Mundo más Seguro (1994). Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales Yokohama, Japón, del 23 al 27 de mayo de 1994. pp.17
- Diario Los Andes (2013). *Una ONG local pide que se indemnice a usuarios afectados*. 16/02/2013.
- Doña, W. J.; Macaluzzo, G.; Silva, C. G.; Leiva; E. L.(2010). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Mendoza mediante un software específico*. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza Departamento Ingeniería Civil Proyecto Integrador. p. 213
- Eurocode 2 (1996). *Design of Concrete Structures – Part 1.2 General Rules – Structural Fire Design*, European. Committee for Standardisation (CEN), DD ENV 1992-1-2:1996.
- FEMA 403 (2002) *World Trade Center Building Performance Study*. Federal Emergency Management Agency
- FEMA 440 (2005) *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency
- FEMA 454 (2006) *Designing for Earthquakes: A Manual for Architects*. Federal Emergency Management Agency
- Healey M. *El peronismo entre las ruinas. El terremoto y la reconstrucción de San Juan*. Editorial Siglo XXI. 2012. p. 376
- <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- ICUS/INCEDE (1995). The First 55 Hours. Great Hanshin Earthquake, January 17, 1995. ICUS/INCEDE NEWSLETTER International Center for Urban Safety Engineering, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Special Issue. January 1995. pp.20
- IFC (2011). *International Fire Code*. International Code Council.
- INPRES-CIRSOC 103. (2005) *Reglamento Argentino de Construcciones Sismorresistentes*. INTI-INPRES-CIRSOC. V. 1,2,3,4
- INPRES. *Gran Mendoza, el núcleo urbano expuesto al mayor nivel de riesgo sísmico en la República Argentina*. Publicación Técnica N° 10. Setiembre de 1986.
- INPRES (1989). *Microzonificación sísmica del Gran Mendoza*.
- Keshishian P., Khater M., Khemici O, Chavez J. (2012). *The Problem of “Burnt Rubble” in Fire Following Earthquake*. Proceedings 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa,
- Koshimura S. (2011). *The 2011 Great East Japan Earthquake tsunami disaster: its impact and lessons for renovation*, ICUS/INCEDE NEWSLETTER International Center for Urban Safety Engineering, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo V. 11, n.3, oct-dec 2011.
- Ley 19587
- NIST GCR 04-872. *Fire Protection of Structural Steel in High-Rise Buildings*. Michael G. Goode, Editor. 2004. pp.88
- Ortega N.F., Señas L., Priano C. (2008). *Caracterización física-mecánica de hormigones expuestos a elevada temperatura*. III Congreso Internacional 17° Reunión Técnica Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Córdoba, Argentina, pp.193-200.

- PEER (2008). *Post Earthquake Fire in Tall Buildings and the New Zealand Building Code*. Fire Engineering. Research Report 03/6. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Scawthorn, C. (1987). *Fire following earthquake : estimates of the conflagration risk to insured property in greater Los Angeles and San Francisco*, All-Industry Research Advisory Council, Oak Brook, Ill.
- Scawthorn, C. (2000). *The Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report*, MCEER Tech. Rpt. MCEER-00-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, SUNY, Buffalo.
- Scawthorn, C.(2008) *The ShakeOut Scenario*. U.S.G. R. SPA Risk LLC, Berkeley CA  
[www.iccsafe.org](http://www.iccsafe.org)
- Scawthorn, C., Cowell, A. D., and Borden, F. (1998). "*Fire-related aspects of the Northridge earthquake.*" NIST GCR 98-743; National Institute of Standards and Technology Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, MD, v. 1.
- Scawthorn, C., O'Rourke, T. D., and Blackburn, F. T. (2006). "*The 1906 San Francisco Earthquake and Fire---Enduring Lessons for Fire Protection and Water Supply.*" Earthquake Spectra, 22(S2), S135-S158.
- Verdaguer, J.A.(1931) *Historia Eclesiástica de Cuyo*. Tomo I y II. Premiata Scuola Tipografica Salesiana, Milano, Italia.