
CAPÍTULO VIII

Resumen, Conclusiones y Recomendaciones

8 RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Introducción

En este último capítulo se hace una pequeña síntesis del estudio de Riesgo Sísmico realizado en la ciudad de Barcelona, explicando los principales objetivos planteados, la metodología empleada y las herramientas que se utilizaron para su evaluación. Así mismo, se recogen los principales resultados y logros de la tesis, que permiten llegar a las conclusiones más relevantes del estudio. Por último, el capítulo termina con las recomendaciones correspondientes para complementar el trabajo expuesto y se sugieren futuras líneas de investigación.

8.2 Resumen

El principal objetivo de este trabajo ha sido la estimación del riesgo sísmico de los edificios residenciales de la ciudad utilizando el método italiano que caracteriza la capacidad sismorresistente de los edificios mediante un índice llamado *índice de vulnerabilidad*. La evaluación del daño mediante este método, requiere la calibración de *funciones de vulnerabilidad* que permitan estimar de forma adecuada el daño esperado ante la ocurrencia de un sismo de determinadas características. Es decir, se ha tratado de predecir escenarios probables de daño sísmico para la ciudad de Barcelona.

Evidentemente, alcanzar el objetivo principal implica la consecución de objetivos parciales como la elaboración de la base de datos de los elementos de estudio ó su integración dentro de un Sistema de Información Geográfica. Para ello es imprescindible conocer el estado del arte de los estudios de Riesgo Sísmico que se realizan en la actualidad, para comparar y elegir el que mejor se adapte a la zona de estudio. Así pues, tras un primer apartado introductorio, se dedicó el segundo capítulo de la tesis a recoger los aspectos generales relacionados con la estimación del riesgo sísmico. En él se revisaron temas como la peligrosidad sísmica a nivel regional y local, con lo cual se obtuvo el valor probable de peligrosidad asignado a la ciudad de Barcelona. Éste al tratarse de una región de sismicidad entre moderada y baja se definió en términos de intensidad sísmica utilizando los grados de la escala MSK cuyo significado se describe en el Anexo A, además de otras escalas de intensidad utilizadas en el mundo. También en este segundo capítulo se mostraron los aspectos conceptuales de la vulnerabilidad y daño sísmico, y las principales técnicas que se utilizaron para su evaluación, llegando al problema fundamental de este estudio que es el riesgo sísmico, en él que se integra la peligrosidad, la vulnerabilidad y daño, lo que permite cuantificar las pérdidas esperadas como consecuencia de una crisis sísmica. Se efectuó una revisión de estudios relacionados al análisis de riesgo sísmico y se dedicó un apartado a la mitigación del riesgo entendido como *cualquier acción preventiva que se toma antes de la ocurrencia de un fenómeno natural para intentar reducir sus consecuencias*, mediante la propuesta de planes de emergencia.

El tercer capítulo se dedicó de forma intensiva al método del índice de vulnerabilidad revisando diferentes metodologías, para resaltar la importancia que tienen los métodos simplificados en los estudios de riesgo sísmico a nivel urbano, haciendo un especial énfasis en el que se aplica en este trabajo. El método del índice de vulnerabilidad fue propuesto por primera vez por Benedetti y Petrini (1984), para determinar la calidad estructural de los edificios mediante la suma ponderada de 11 parámetros y se adaptó posteriormente a Barcelona con ligeras modificaciones para tomar en cuenta las características constructivas más importantes de la ciudad (Caicedo, 1993; Yépez, 1996). En la metodología original, el índice de vulnerabilidad se relacionó con el daño de los edificios utilizando las curvas propuestas por Angeletti *et al*, (1988), que se utilizaron en este trabajo para compararlas con las curvas simuladas para los edificios de mampostería. Estas curvas (Yépez, 1996), se calibraron con la primera función de vulnerabilidad obtenida fuera de Italia (para una intensidad de VII en la escala MSK) con los datos de daños observados después de los terremotos de Almería en 1993 y 1994. Aprovechando la crisis sísmica de Mula ocurrida en Murcia en 1999 (con una intensidad calculada de VII) se recalibró la primera función de vulnerabilidad para los edificios de mampostería, alcanzándose una excelente correlación en ambas curvas. Sin embargo, tras la última simulación numérica, las curvas adoptadas por Yépez (1996) difieren de forma significativa de las calibradas, debido probablemente a las características específicas de la ciudad. Otra razón de esta diferencia puede venir referida a tipo de ajuste que se utilizó para obtener la curva *Vulnerabilidad – Daño*, es decir, Yépez (1996) escogió un tipo de ajuste polinómico de tercer grado que tiene la propiedad de ajustar suficientemente bien las nubes de puntos, obtenidos a partir de la simulación pero tiende a minusvalorar o sobrestimar el daño esperado en los extremos de la curvas. Este hecho queda claro en la Figura 3.5 de la tesis en la que además, puede observarse cómo la curva simulada correspondiente a intensidad VI tiene un mayor parecido con la curva calibrada en la Figura 3.3 para intensidad VII, con pequeñas diferencias a partir del 60% del índice de

vulnerabilidad. Estas observaciones son fundamentales puesto que determinan las estimaciones de los escenarios de daño diseñados para la ciudad de Barcelona y habrá que tenerlas presente en las comparaciones de este estudio con los resultados de otros trabajos realizados.

Barcelona es una ciudad grande, sin llegar a considerarse una *mega-ciudad* ya que como tales se entienden aquellas que tienen una población superior a los 8 millones de habitantes. Sin embargo, de acuerdo al anuario estadístico de la ciudad correspondiente al año 2002 (AB, 2002), Barcelona tiene una población de 1.505.325 habitantes, ocupando el segundo lugar de España y representa un ejemplo típico de ciudad mediterránea cuyo mayor crecimiento se produce desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, con una edad media de sus edificios del orden de 60 años, muchos de los cuales son superiores a los 100 años.

La mayoría de los edificios se construyeron sin considerar alguna normativa sísmica y con técnicas constructivas artesanales, lo que las convierte en estructuras con una alta vulnerabilidad sísmica. La división política y administrativa de la ciudad consta de 10 distritos que, a su vez, se componen de un total de 38 barrios. Cada distrito, y quizás incluso cada barrio, tiene unas características históricas y socio – económicas diferenciadas, por lo tanto, abordar un estudio del riesgo sísmico de la ciudad de Barcelona necesita un conocimiento amplio de dichas características, requiriendo una gran cantidad de datos para el estudio, lo que aconseja el uso de herramientas avanzadas para almacenar y tratar la información. Es por ello que se utilizó el Sistema de Información Geográfica ARCINFO bajo plataforma Unix SUN-OS, lo que en algunas ocasiones puede complicar el estudio, tanto más si se considera que se ha partido de cero. Es importante señalar que es el primer trabajo de estas características realizado en España y que ha permitido llegar a un nivel de detalle que no es posible utilizando otras técnicas simplificadas. Además ha permitido disponer de una base de datos única adaptada a las características del estudio de riesgo sísmico de la ciudad y con altas posibilidades de aplicación y explotación en proyectos futuros. Es por todo ello que se ha creído oportuno incluir el capítulo 4, dedicado a los sistemas de información geográfica poniendo un especial énfasis en los elementos y funciones que se aplicaron a la cartografía catastral y a otros datos de la ciudad. Un apartado de este capítulo se dedicó a las aplicaciones SIG en general y en particular a su aplicación al riesgo sísmico.

El capítulo 5 es importante, ya que si en el capítulo 3 se ha explicado las bases teóricas y las herramientas para la evaluación de la vulnerabilidad y daño de los edificios, en éste se organizó la información necesaria para su aplicación a la ciudad. La información está dividida en tres paquetes básicos que darán lugar a las coberturas más importantes del sistema de información geográfica: la cartografía catastral, la edad de los edificios y la tipología constructiva de los mismos. La cartografía catastral fue cedida por el Ayuntamiento de Barcelona, acompañada de otros datos complementarios, algunos de los cuales han sido de gran utilidad, y constituye la base para georreferenciar y asociar la información que procede de otros organismos. En este capítulo se describió con bastante detalle el contenido del SITEB o Sistema de Información Territorial de Barcelona que incluye otras muchas capas de información además de la catastral. La información catastral permite llegar al nivel de parcela como unidad básica elemental constructiva con un total de 80.726 parcelas, de las cuales 72.799 consta que están edificadas. Otro bloque importante de información que ha sido fundamental para estimar algunos de los parámetros que contribuyen al índice de vulnerabilidad es el que contiene la edad de los edificios. Un tercer bloque y quizás el más importante es el que permite estimar su tipología. Esta información define el material de

construcción utilizado en la estructura principal o sistema resistente, los muros o paredes, los forjados, el tipo de cubierta, la fachada y los pavimentos de los suelos. Es claro que toda esta información es fundamental para evaluar o matizar las características sismorresistentes de los edificios, desafortunadamente no existe para todas las construcciones, lo que obliga a realizar un análisis previo para identificar aquellas cuya información no existe o en el mejor de los casos este incompleta. No obstante, a pesar de estas construcciones se dispone de información suficiente para analizar la vulnerabilidad y el daño del 60% de los edificios que, se supone, representan bien los edificios residenciales de la ciudad. En la Tabla 5.9, se presenta una síntesis de la información disponible en la base de datos de las coberturas de las parcelas construidas para este estudio, en donde se detalla los datos obtenidos de cada fuente de información (catastro, edad de construcción y material que se utilizó en las principales partes del edificios), hasta obtener el número final de las parcelas cuya información se utilizó para aplicar la metodología del índice de vulnerabilidad. En el capítulo 5 también se construyeron otras coberturas de gran interés para este trabajo y, sobre todo para futuras aplicaciones. Por ejemplo, se incluyen los tipos de suelos y la topografía (x,y,z) de la ciudad, que permitieron cuantificar algunos parámetros que intervienen en el cálculo del índice. Afortunadamente, las tipologías de las que se dispone curvas de vulnerabilidad – daño representan más del 90% de los edificios de la muestra final, lo que permite la generación de los escenarios de daño sísmico de una forma completa de la ciudad.

El capítulo 6 constituye el corazón o núcleo de la tesis, ya que se dedica a la evaluación de los 11 parámetros de la metodología del índice de vulnerabilidad de las dos tipologías consideradas en el estudio: mampostería no reforzada y hormigón armado. La primera parte del capítulo se dedicó a la evaluación de los parámetros, utilizando un diagrama de flujo para indicar las consideraciones que se tomaron y los campos de la base de datos de las parcelas que se usaron. El esfuerzo de depuración y clarificación de los datos que se realizó en el capítulo 5 permitió evaluar 10 de los once parámetros necesarios para los edificios de mampostería no reforzada, y sólo uno se calculó suponiendo una distribución aleatoria, en este caso correspondió al parámetro 10 que hace referencia a los elementos no estructurales. Para el caso de los edificios de hormigón armado tres parámetros se calcularon de forma aleatoria, correspondiendo a las conexiones entre elementos críticos, elementos estructurales de baja ductilidad y elementos no estructurales (parámetros 8, 9 y 10). La segunda parte del capítulo se dedicó a la generación de los escenarios de daño de la ciudad de Barcelona, mediante dos tipos de estadísticas y mapas, los que proporcionan el índice de vulnerabilidad y los que presentan los índices de daño o escenarios de daño propiamente dichos. Para mostrar los primeros resultados se eligió el distrito Eixample, al considerarse el más emblemático de la ciudad y utilizarse como hilo conductor de las operaciones efectuadas mediante el Sistema de Información Geográfica. En general la vulnerabilidad de los edificios de Barcelona se encuentra entre mediana y alta, siendo mayor para los edificios de mampostería. Por ejemplo, para el distrito del Eixample, el 19% de los edificios muestran un índice de vulnerabilidad inferior al 40%, el 55% de los edificios se encuentran en el rango de 40 – 60% y más del 26% de los edificios están por encima de una vulnerabilidad del 60%. Para el caso de los edificios de hormigón armado del mismo distrito, la vulnerabilidad es ligeramente inferior, es decir, sólo el 4% de los edificios presentan un índice de vulnerabilidad superior al 60% si bien el 72% se halla en el rango entre el 40 y el 60%, y el 26 % presenta una vulnerabilidad inferior al 40%. Por lo que respecta a los índices de daño, en este capítulo se revisó los llamados estados de daño que cualifican distintos rangos del índice de daño y se establecieron unos estados de daño de referencia para el estudio que se califican como: *sin daño*, *daño ligero*, *daño moderado*, *daño considerable*, *daño fuerte* y *daño*

severo. Son por lo tanto 6 estados de daño cuyos rangos se muestran en la Tabla 6.7. Para tener una idea del nivel de daño esperado en el Eixample para un sismo de intensidad VI el 40% de los edificios tendrían *daños moderados*, lo que indica que podrían presentar daños importantes en los elementos no estructurales y daños estructurales menores. El 16 % sufrirían daños considerables y el 4% daños fuertes. Este grado de daño implica ya el riesgo de colapso del edificio, es decir, aunque no colapse inmediatamente, la estabilidad del edificio corre un grave riesgo y en el mejor de los casos las reparaciones pueden igualar el costo de reconstrucción, por lo que se aconseja la demolición del mismo. Para una intensidad VII el porcentaje de edificios en esta situación de daño fuerte aumenta al 24% y para una intensidad VIII la situación es grave en el 34%, en donde incluso el 29% colapsaría inmediatamente. El escenario de una intensidad IX es extremadamente grave con más del 50 % de edificios en situación de colapso. Estos porcentajes incluyen los edificios de mampostería y hormigón. El distrito más castigado por un terremoto sería la *Ciutat Vella* (distrito 1) con los mayores índices de daño medios que oscila entre el 15% (en la frontera entre daño moderado y considerable) para una intensidad VI y alcanzaría un daño medio del 74% (daño severo o colapso) para una intensidad IX. El distrito con menos daño es Les Corts (distrito 4), como se puede ver en la Tabla 6.9, en donde se resume los resultados por distritos y la Tabla 6.10 por barrios.

El capítulo 7 se dedicó a la comparación de los resultados de este trabajo con otros estudios que de forma parcial han abordado el análisis del riesgo sísmico de la ciudad de Barcelona. Los estudios previos son trabajos preliminares realizados por Caicedo (1993) y Yépez (1996) que, obviamente no disponían de las bases de datos que se utilizaron en este trabajo. Mañà (1997) realizó una aproximación de la vulnerabilidad y daño sísmico de la ciudad restringiendo su estudio al distrito de Ciutat Vella y núcleos antiguos, el Eixample, edificios nuevos construidos con ocasión de las olimpiadas de Barcelona y algunos barrios cuya definición no coincide con los barrios definidos en el SITEB; Además Mañà (1997) utilizó una clasificación de edificios inspirada en la clasificación de la escala MSK pero modificada para el estudio. Por lo tanto, la comparación no es inmediata haciéndose especial énfasis en la comparación entre los distritos del Eixample y de Ciutat Vella. Y finalmente Chávez (1998) dedicó el apartado 6.3 de su tesis al estudio de riesgo sísmico de Barcelona, utilizando las tipologías y clases de vulnerabilidad propuesta en la escala EMS-92, y unas matrices de vulnerabilidad – daño calibradas a partir de datos correspondientes al terremoto de Irpinia de 1980. A pesar de las diferencias metodológicas existente en los diferentes trabajos, en general los resultados son comparables, resaltando que los obtenidos por Mañà (1997) y Chávez (1998) predicen un daño inferior al hallado en este estudio, debido quizás a una excesiva penalización de los edificios de la ciudad de Barcelona en el trabajo de Yépez ó a la falta de consideración de las características estructurales mediante simulaciones dinámicas en los casos de Mañà (1997) y Chávez (1998). Esta diferencias deben profundizarse y eliminarse en trabajos futuros. Lo cierto es que el presente estudio utiliza datos específicos de la ciudad y funciones calibradas con edificios representativos, con las limitaciones que toda modelización implica. Por lo que consideramos que estos resultados representan mejor los escenarios sísmicos probables de la ciudad.

8.3 Conclusiones

Sin duda, los estudios de Riesgo Sísmico son un tema delicado por las graves

consecuencias que realmente conllevan las catástrofes sísmicas, ya que no sólo afecta al comportamiento de las estructuras, sino que causan la pérdida de vidas humanas, la paralización de la actividad normal de la ciudad y una gran cantidad de efectos colaterales. Por tal motivo, los resultados obtenidos en este trabajo se deben analizar cuidadosamente antes de tomar cualquier decisión, para evitar que los resultados que sobrestimen el daño induzcan a considerarlos exagerados mientras que resultados que subestimen conduzcan a una falsa confianza, con las consecuentes medidas de emergencia que pueden llegar incluso a ser nulas.

Los servicios de protección civil y las instituciones con responsabilidad en la planificación de emergencias deben hallar en los resultados de este tipo de estudios pautas para la correcta planificación de la emergencia y para su gestión. Por lo tanto es necesario documentar y afinar al máximo los resultados obtenidos estableciendo, en la medida de lo posible, márgenes de fiabilidad. Los terremotos ocurridos en zonas con poca preocupación por el fenómeno sísmico ponen de manifiesto que los daños superan lo que sería previsible.

A la vista del resumen expuesto en la primera parte de este capítulo se presentan aquí las principales conclusiones de este trabajo conclusiones que hacen referencia a la metodología empleada, a la herramienta informática utilizada, y a los escenarios de daño obtenidos.

Conclusiones referentes a la metodología empleada

- El método del índice de vulnerabilidad es adecuado para implementarlo en grandes ciudades (aplicación a nivel urbano), sólo en el caso que se disponga de la información mínima necesaria para evaluar la calidad sismorresistente de los edificios ó estructuras que se estudien.
- Para la evaluación del daño de los edificios es importante disponer de funciones de vulnerabilidad calibradas para la zona de estudio. Los resultados obtenidos aplicando funciones de otras zonas pueden inducir errores considerables, con el riesgo evidente en los resultados finales.
- Las curvas vulnerabilidad – daño calibradas para la ciudad de Barcelona a partir de simulación numérica apuntan hacia un daño esperado alto, para niveles de intensidad relativamente bajos o moderados. Este elevado daño esperado puede ser razonable debido a la ausencia de preocupación sísmica y hábitos constructivos en la ciudad.
- Con todo se aconsejan estudios con modelos más realistas para confirmar o rechazar la vulnerabilidad y daño esperados con las curvas desarrolladas por Yépez (1996).
- La disponibilidad de una excelente base de datos ha permitido aplicar el método del índice de vulnerabilidad a toda una muestra de los edificios residenciales representativa de la ciudad.
- A pesar que la aplicación de la metodología descrita permite asignar un índice

de vulnerabilidad y un índice de daño a cada edificio singular, no hay que perder de vista el sentido probabilista del método y de los resultados obtenidos.

Conclusiones referentes a la herramienta informática utilizada

- La aplicación de la metodología del índice de vulnerabilidad a todo el conjunto de edificios seleccionados de la ciudad, es inviable si no se dispone de una herramienta de almacenamiento, análisis y gestión de un volumen enorme de información.
- El Sistema de Información Geográfica ARCINFO, a pesar de su dureza y alto nivel, ha resultado ser una excelente herramienta para la manipulación y gestión de toda la información disponible.
- Con todo parte del estudio puede realizarse mediante herramientas más amigables y popularizadas como por ejemplo el ARCVIEW.
- Es importante diseñar la aplicación informática de forma abierta para permitir actualizar la información disponible e incorporar nuevas capas de información que permitan avanzar hacia evaluaciones integradas de riesgo que consideren otros muchos aspectos que complementan los estudios de riesgo de edificios residenciales.

Conclusiones referentes a los resultados obtenidos

- La ciudad de Barcelona es una gran ciudad con más de 1.500.000 habitantes en una zona relativamente pequeña que le confiere una elevada densidad de población.
- La base de datos disponible y los estudios metodológicos previos realizados por otros, ha permitido analizar el riesgo sísmico de los edificios residenciales de la ciudad de Barcelona permitiendo generar escenarios de daño para toda la ciudad.
- La vulnerabilidad de los edificios de la ciudad de Barcelona se encuentra entre moderada y alta debido a la falta de aplicación de normas sísmicas, a la edad de los edificios y a una falta de cultura sísmica. Esto se debe a la moderada peligrosidad sísmica de Cataluña, que incluso lleva a la normativa sísmica actual española a obviar su aplicación a la ciudad de Barcelona.
- La curvas obtenidas a partir de la modelización dinámica de los edificios de la ciudad ponen de manifiesto la fragilidad de estos edificios cuando se someten a acciones sísmicas relativamente bajas, haciendo esperar daños superiores a los previstos en las escalas de Intensidad. Con todo, modelizaciones más

avanzadas que representen mejor las características reales de los edificios de la ciudad deben ayudar a confirmar o matizar estos resultados.

- En consecuencia el escenario de daño sísmico esperado en la ciudad de Barcelona para una intensidad VI es preocupante dándose un índice de daño superior al 15% para el 20% de los edificios de la ciudad.
- El distrito con escenarios más desfavorables es el de Ciutat Vella mientras que el escenario con menos daño es el de Les Corts.
- Es fundamental transferir los resultados obtenidos a los organismos con responsabilidad de gestión de la protección civil y en la planificación y gestión de emergencias, para elaborar planes de emergencia viables.

8.4 Recomendaciones

De la experiencia recogida en este trabajo y en otros previos o relacionados con la evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Barcelona y en entornos urbanos se pone de manifiesto la dificultad de este tipo de estudios de riesgo sísmico a nivel urbano dado que requieren la colaboración de entidades involucradas en la obtención y mantenimiento de una gran cantidad de datos. Sin embargo a nuestro entender la rentabilidad potencial de este tipo de estudios es alta ya que apuntan directamente hacia la reducción del riesgo. La única herramienta disponible eficaz para reducir el daño sísmico reside en la disminución de la vulnerabilidad de las edificaciones y ello pasa por un conocimiento de la misma. Las principales recomendaciones y líneas de investigación sugeridas por el presente estudio se recogen en tres apartados como en el caso de las conclusiones incluyendo otros aspectos finales.

Recomendaciones referentes a la metodología

- En este trabajo se han analizado sólo edificios con estructuras de mampostería y de Hormigón armado. Es conveniente desarrollar funciones de vulnerabilidad para las restantes tipologías existentes en la ciudad de Barcelona y/o en otras ciudades mediterráneas. Ello permitiría ampliar la muestra de edificios a los que se aplicaría el método.
- Revisar mediante herramientas avanzadas las funciones de vulnerabilidad desarrolladas por Yépez (1996). Estas herramientas deben permitir la simulación 3-D de los edificios, considerando la interacción suelo – estructura, así estudiar el comportamiento conjunto de las estructuras monolíticas que componen muchas de las manzanas del Eixample y otros barrios de la ciudad.
- Analizar los efectos de acoplamiento de los edificios de tipologías diferentes.
- Aplicar metodologías más avanzadas de análisis de riesgo sísmico de edificios como por ejemplo HAZUS, para comparar los resultados. Estas metodologías

incorporan parámetros básicos de la acción sísmica más adaptados al estudio del comportamiento dinámico de estructuras, como por ejemplo la aceleración del suelo, los desplazamientos, aceleraciones y velocidades espectrales, o los desplazamientos permanentes, dependiendo del tipo de estructura o infraestructura.

- Desarrollar las funciones de fragilidad típicas de esta metodologías avanzadas para las principales tipologías de las ciudades del entorno mediterráneo europeo. Parte de esta recomendación ya se está realizando en el marco del proyecto europeo Risk-UE.

Recomendaciones referentes a la herramienta informática

Las principales recomendaciones referentes a la herramienta informática que se utilizó hace referencia a los datos. Realmente se trata de estar atentos a la evolución de los sistemas de Información Geográfica e incorporar las mejoras de software y equipos que permitan un tratamiento más amigable de la información y su exportación para ser utilizada en otros entornos. Pero lo que realmente permite este tipo de estudios es la creación y mantenimiento de bases de datos completas y fiables. Desgraciadamente, el seguimiento de la información disponible en las bases de datos referentes a las tipologías constructivas han puesto de manifiesto que estos datos se gestaron con fines de cuantificación de impuesto económico municipales de Hacienda. En la actualidad estos datos ya no se recogen puesto que se consideran irrelevantes o excesivos para cuantificar una tasa de un impuesto. Este es el principal motivo por el que ha sido imposible acceder a actualizaciones de la información. Otros aspectos importantes hacen referencia a una extensión del estudio para considerar otros aspectos fundamentales en la evaluación del riesgo sísmico como por ejemplo los edificios esenciales, el patrimonio histórico cultural y las líneas vitales así como la capacidad de respuesta de los servicios involucrados en la recuperación de una emergencia o catástrofe. Resumimos en puntos algunos aspectos relevantes concretos.

- Prestar atención al desarrollo de los SIG para adoptar sistemas más amigables y potentes.
- Incorporar equipos y plataformas amigables y seguras.
- Los datos son el núcleo de todo estudio de riesgo. Es imprescindible actualizar la información. Para ello hay que promover sistemas de actualización automática de las bases de datos aprovechando los mecanismos que la administración pública del estado, autonómica o municipal dispone para ello.
- Es muy conveniente involucrar a los organismos públicos y privados en la evaluación del riesgo sísmico para obtener su interés y complicidad en la obtención de datos necesarios para este tipo de estudios.
- Esta claro que el estudio aquí realizado es parcial puesto que sólo analiza edificios residenciales. A pesar de ello la estructura de la base de datos se ha diseñado abierta para incorporar otros tipos de datos. Es necesario avanzar en

esta línea para incorporar información que permita el análisis de los otros aspectos fundamentales del riesgo sísmico como las diferentes líneas vitales, los servicios y edificios esenciales, entre otros.

- Incorporar a las bases de datos información anual económica y de valor de las instalaciones, edificios y servicios para alimentar un módulo de evaluación de costo que permita re-evaluar el valor económico del daño de forma automática.
- Incorporar otra información sensible de tipo socio-económico como evolución de la población y su movilidad que permita establecer de forma automática escenarios de daño espacio-temporales.
- La ciudad de Barcelona es un núcleo urbano inmerso dentro de un área metropolitana importante. Por lo tanto es necesario expandir el estudio y las bases de datos para poder analizar el riesgo de la metrópolis constituida por la ciudad de Barcelona y las ciudades limítrofes.
- Dotar a las base de datos de una estructura que permita el análisis a nivel regional. Este aspecto es particularmente importante cuando se quieren incorporar aspectos referentes a las líneas vitales. Estas trascienden el entorno urbano.

Recomendaciones referentes a los resultados

Los resultados obtenidos hacen referencia a una muestra de dos tipologías típicas y mayoritarias de la ciudad de Barcelona. Las de mampostería no reforzada y las de hormigón armado. La muestra analizada ha permitido diseñar escenarios de daño razonablemente completos. Esto no impide que sea conveniente continuar estudios que permitan el análisis de las tipologías que, aunque ciertamente minoritarias, no han podido ser analizadas por causa de la ausencia de funciones de vulnerabilidad.

También es fundamental analizar los resultados obtenidos desde una óptica probabilista. Un daño del 90% asignado a un edificio concreto indica una probabilidad alta de colapso de aquel edificio pero no un colapso seguro, por esto los escenarios de daño diseñados adquieren sentido cuando se refieren a una colectividad suficiente de edificios. De hecho en las metodologías avanzadas actuales el aspecto probabilista adquiere una dimensión explícita. Hay que avanzar en esta dirección.

Otras recomendaciones

Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración del Ayuntamiento de Barcelona que ha facilitado los datos. Esta colaboración, y en general todas las colaboraciones, deben basarse en un interés mutuo contrastable. Los resultados de este trabajo pasaran a la disposición del Ayuntamiento que se halla desarrollando planes de emergencia sísmica. Esto significa que es importante implicar en este tipo de estudios a instituciones involucradas en aspectos relacionados con la temática que en ellos se aborda. Sin duda la

cantidad y calidad del trabajo hubiera aumentado con la participación o implicación de otras instituciones como por ejemplo el Colegio de Arquitectos. Otras instituciones destinatarias de algunos de los resultados del trabajo son las compañías de seguros. Para la ampliación de este tipo de estudios a otras estructuras o infraestructuras como las líneas vitales es imprescindible la implicación de las compañías privadas. El autor de la tesis ha tenido ocasión de participar en trabajos de análisis de riesgo de líneas vitales y la consecución de información es casi imposible debido a la escasa preocupación sísmica de las compañías de servicios y a la inseguridad o temor a un uso incorrecto de la información facilitada, pero sobre todo a una falta de interés. Hay que avanzar en la implicación de las empresas en estudios de riesgo sísmico haciéndoles ver que las principales beneficiadas son ellas mismas pues serán conocedoras de un riesgo real y su dimensión correcta permitiéndoles tomar las decisiones para su minoración. Es sólo así como se consolidarán los pequeños avances en la mejora del bienestar en la disminución de los riesgos a los que se halla expuesta la sociedad. Espero que esta tesis haya sido un paso más en esta dirección de progreso.