
CAPÍTULO I

Introducción

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Algunas preguntas que se formulan después de oír y ver los cuantiosos daños provocados por un movimiento sísmico son: ¿Se ha incrementado la magnitud de los terremotos? o ¿Se han incrementado el número de ellos?, y la única respuesta es que no ha habido incremento en ninguno de los casos. Lo que ha sucedido es que las ciudades que se encuentran localizadas en zonas altamente sísmicas han crecido de una forma incontrolada, aumentando con esto el riesgo de sufrir grandes pérdidas de vidas humanas y materiales como consecuencia de un terremoto. Por otra parte el avance en las telecomunicaciones, la mejora de los equipos de detección y la reducción de su costo ha permitido detectar sismos que antes no eran posible, ya sea por su lejanía o por su baja magnitud, así como hacer que la información llegue en tiempo real a cualquier parte del mundo (Person, 1999; Nyffenegger, 1997). De acuerdo a estos investigadores, el número promedio anual de terremotos con magnitud (en escala Richter) entre 7 – 7.9, es aproximadamente 18 y terremotos con magnitud mayor a 8 es de 1, (Tabla 1.1). El número de terremotos fuertes (7 – 7.9) ocurridos en el año de 1999, estuvo dentro de la media anual, sin que ninguno superara la magnitud de 8, sin embargo, estas estadísticas no se reflejaron en el número de muertes causadas por los terremotos, ya que duplicaron el promedio anual al llegar a la cifra de 22.000. La causa de este gran incremento fueron las 17.000 muertes causadas sólo por el terremoto de Turquía el 17 de Agosto, cuya magnitud fue de 7.4.

Otros terremotos con grandes pérdidas en vidas humanas fueron el de Colombia el día 25 de Enero con una magnitud de 5.8, en el que murieron más de 1.180 personas; el de Grecia ocurrido el 7 de Septiembre, con una magnitud de 5.8, provocando 144 muertos; el de Taiwan

el 20 de Septiembre, con una magnitud de 7.6 (el de mayor magnitud registrado ese año) en el que murieron más de 2400 personas o el de Turquía el 12 de Noviembre con magnitud de 7.1, en el que murieron más de 830 personas. En el año 2000, se registraron 15 terremotos cuya magnitud fue superior a 7, de los cuales tres alcanzaron la magnitud de 8 entre ellos el de Sumatra al sudoeste de Indonesia ocurrido el 4 de Junio con magnitud de 8.0, el de la Región de Nueva Irlanda ocurrido el 16 de Noviembre con magnitud de 8.1 y el de la Región de Nueva Bretaña el 17 de Noviembre con magnitud de 8. Sin embargo, a pesar del tamaño de estos terremotos sólo se reportaron 213 víctimas, la mayor parte como consecuencia del terremoto de Indonesia. El año 2001, cumplió las estadísticas de la Tabla 2.1, aunque desgraciadamente duplicó el número de víctimas a causa del terremoto ocurrido en 26 de Enero en la India cuya magnitud de 7.7, ocasionó 20.000 muertes, o el de El Salvador el 13 de Enero con magnitud de 7.7, ocasionando 852. Uno de los terremotos más fuertes de estos últimos años se registró cerca de las costas de Perú, con una magnitud de 8.4, ocasionando 139 víctimas.

Desafortunadamente, todos los terremotos, además de las víctimas mortales que provocan, causan cuantiosos daños materiales y dejan miles de personas damnificadas. Ejemplos de ellos son el terremoto de Taiwan cuyos daños estimados se acercan a los 14.000 millones de dólares, dejando 50.000 damnificados y 53.000 edificios dañados; el de Turquía, provocó daños entre 3.000 y 6.500 millones de dólares con cerca de 600.000 damnificados y 82.000 viviendas dañadas o el de la India que además de las víctimas mortales provocó 166.836 heridos, destruyó cerca de 339.000 viviendas y dañó otras 783.000 en al área cercana al epicentro (USGS).

Descripción	Magnitud	Promedio Anual
Destructivo	> 8	1
Grande	7 - 7.9	18
Fuerte	6 - 6.9	120
Moderado	5 - 5.9	800
Ligero	4 - 4.9	6,200 (estimado)
Menor	3 - 3.9	49,000 (estimado)
Muy pequeño	< 3.0	Magnitud 2 - 3: cerca 1,000 por día Magnitud 1 - 2: cerca 8,000 por día

Tabla 1.1. Frecuencia de terremotos basados en observaciones desde 1900 (USGS).

Estos desastres dejan en evidencia que los programas de evaluación de Riesgo Sísmico no se han aplicado en estas zonas para poder evitar o en el mejor de los casos, mitigar estas pérdidas, a pesar del gran avance que se tiene de ellos. Esta situación se presenta en la mayoría de los países en vías de desarrollo (cuya peligrosidad sísmica en muchos casos es además alta), debido a la falta de recursos económicos en la mayoría de los casos y a una mala gestión del gobierno, lo que impide la realización de estos estudios.

El Riesgo Sísmico involucra dos conceptos fundamentales: la peligrosidad sísmica y el

comportamiento dinámico de las estructuras al estar sometidas a acciones externas accidentales. Desgraciadamente, el conocimiento actual de estos dos conceptos aun es limitado debido a la gran incertidumbre existente en la información y en los métodos para estudiarlos, principalmente cuando se pretende realizarlos a nivel urbano. Por ejemplo, para la peligrosidad sísmica, se tiene incertidumbre en la predicción, ubicación y cuantificación de la fuerza de un sismo, mientras que para el comportamiento dinámico de las estructuras la incertidumbre puede estar en el comportamiento mismo de la estructura, la calidad de los materiales de construcción, los procesos constructivos, la mano de obra, etc. Los trabajos recientes sobre riesgo sísmico se han enfocado al estudio del comportamiento dinámico de estructuras, gracias a que se ha alcanzado un importante avance en el desarrollo de métodos de análisis y diseño. Sin embargo, estos métodos sólo se pueden aplicar a estructuras nuevas que se van a construir o construcciones cuyo uso obliga a mantener su funcionamiento después de una crisis sísmica, siendo costoso o poco viable aplicarlos al resto de las construcciones. Por lo tanto quedan excluidas las construcciones existentes, que en su mayoría fueron diseñadas sin considerar normativa sísmica alguna y en el mejor de los casos, sólo se les aplicó algún método estático para determinar las fuerzas horizontales equivalentes, pero no se utilizó un diseño sísmico apropiado.

Actualmente existen métodos sofisticados para el estudio del comportamiento sísmico de las estructuras mediante análisis complejos como son los análisis no lineales utilizando registros reales o simulados (Wilson, 1992; Mena, 1993), análisis por elementos finitos tridimensionales (Wilson and Habibullah, 1992), análisis dinámicos considerando propiedades inciertas (Katafygiotis and Papadimitriou, 1996), análisis tomando en cuenta efectos de segundo orden (MacRae, 1996), en los que se involucra una cantidad de operaciones matemáticas importantes. Sin embargo, el propósito de la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas, es determinar posibles escenarios de daño para los cuales utilizar tales métodos implicaría costes muy elevados y un esfuerzo computacional muy grande, por lo tanto se recurre a métodos simplificados, que además de reducir costos permiten obtener resultados adecuados. Esta búsqueda debe estar además apoyada por estudios socioeconómicos, ya que la experiencia en algunos países que cuentan con medidas de mitigación de riesgo, han demostrado que aplicar una metodología muy refinada en zonas de baja peligrosidad, sólo lleva a la pérdida de dinero y tiempo, y en algunos casos inclusive es poco probable que se pueda implementar, por lo que una estimación de escenarios de daño sísmico rápidos pueden ser suficientes para identificar los principales factores que contribuyen al riesgo sísmico (Villacis *et al*, 2000).

Los métodos simplificados para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios son probablemente los más adecuados para poder implementarlos en zonas urbanas como lo han demostrado algunos trabajos existentes (OEA, 1993; Cella, 1994; Barbat, 1996; Yépez *et al*, 1995; Yépez, 1996; Mena, 1997a; Mena *et al*, 1997b; HMC, 1997; CSSC, 1999). De cualquier forma el grado de simplificación de cada método dependerá de los objetivos planteados en cada estudio y puede ser tan grande, como la determinación del índice de vulnerabilidad basándose en la información geométrica e histórica de cada edificio o tan pequeña como calcular la vulnerabilidad elemento por elemento.

Una herramienta relativamente reciente en este tipo de estudios son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos sistemas han venido a facilitar la implementación de las metodologías, el manejo de la información y, sobretodo, la visualización de los resultados, gracias a su capacidad georreferencial, lo que permite modelar los elementos de la zona de

estudio de una forma más real. Además la poderosa estructura en la que están contruidos los SIG facilitan el manejo de la gran cantidad de datos, de una forma sencilla y rápida. El uso de los SIG se ha incrementado de manera sustancial en esta última década como lo demuestran los estudios realizados por King *et al*, 1994; Polovinchik *et al*, 1994; Blais *et al*, 1996; Xie *et al*, 1996; Mena, 1997a; Mena *et al*, 1997b; SERGISAI, 1998.

1.2 Objetivo del trabajo

En los últimos diez años se ha alcanzado un avance importante en el estudio del Riesgo Sísmico en la ciudad de Barcelona, gracias a los trabajos realizados por la Universidad Politécnica de Cataluña, el Instituto Cartográfico de Cataluña y el Ayuntamiento de Barcelona, entre otras instituciones. Esto ha permitido mejorar la metodología propuesta para la evaluación de la calidad estructural de los edificios y evaluar los posibles escenarios de daño como consecuencia de un terremoto. Sin embargo, la falta de un sistema integrador entre la metodología planteada y la aplicación a la ciudad, unido a la falta de información de los elementos en riesgo ha limitado los estudios. Por esta razón y basándose en la propuesta realizada en el proyecto europeo SERGISAI para el estudio de riesgo sísmico en Barcelona, se han planteado los siguientes objetivos:

- Hacer una revisión del estado del arte de los estudios de riesgo sísmico actuales, así como su aplicación en los planes de emergencia o mitigación de desastres.
- Implementar la metodología del índice de vulnerabilidad sísmica de estructuras, así como las funciones de vulnerabilidad simuladas para la ciudad de Barcelona dentro del Sistema de Información Geográfica, ARCINFO.
- Construir la base de datos de los edificios de la ciudad de Barcelona en ARCINFO, necesaria para poder aplicar la metodología del índice de vulnerabilidad y proponer una estructura básica de información exportable a cualquier zona de estudio.
- Finalmente, elaborar los posibles escenarios de daño de la ciudad para diferentes intensidades, y obtener las conclusiones y recomendaciones respectivas del trabajo.

1.3 Contenido del trabajo

Este trabajo está dividido en 8 capítulos, en los cuales se describe de forma clara la problemática planteada para la realización de este trabajo, la metodología seleccionada para la evaluación del problema, la herramienta informática que sirve para la implementación de la metodología, así como la construcción de la base de datos de los elementos de estudio y el cálculo de los escenarios de daño. De esta forma, los capítulos de este trabajo tratan los siguientes aspectos:

El capítulo II hace una revisión de los aspectos generales del estudio de riesgo sísmico, es decir, la peligrosidad sísmica y la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Se hace una revisión del estado del arte de estos conceptos, para conocer la actualidad en cuanto a los estudios de vulnerabilidad sísmica, técnicas de evaluación y formas de aplicación a casos reales.

El capítulo III explica la metodología del índice de vulnerabilidad sísmico de las estructuras, haciendo una comparación con algunas metodologías existentes que sirven como recomendaciones por organismos internacionales.

El capítulo IV presenta una revisión de los Sistemas de Información Geográfica, mostrando las herramientas que servirán para implementar el índice de vulnerabilidad para la realización del estudio de Riesgo Sísmico.

El capítulo V muestra los procedimientos seguidos para la construcción de la base de datos de los edificios de la ciudad. Se hace hincapié en las fuentes de los datos, así como las consideraciones tomadas para la elección de los datos necesarios para su aplicación en este trabajo.

El capítulo VI muestra el cálculo de los parámetros del índice de vulnerabilidad para los edificios de mampostería y hormigón armado, así como el cálculo de los escenarios de daño para la ciudad de Barcelona.

En el capítulo VII se realiza una comparación de los resultados obtenidos en este trabajo, con otros estudios de riesgo sísmico realizados en la ciudad por diferentes autores. Aplicando metodologías como las del índice de vulnerabilidad o las escalas macrosísmicas MSK y EMS-92.

Y por último, en el capítulo VIII se hace un análisis de los resultados obtenidos, las conclusiones generadas de los resultados y finalmente las recomendaciones pertinentes para la utilización de los resultados, así como las futuras líneas de investigación.