

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Las edificaciones esenciales son instalaciones de especial importancia que debido a la relevante función que desempeñan en la vida social de una comunidad, y sobre todo en la atención de la emergencia asociada al evento sísmico, imponen la necesidad de evaluar tanto su vulnerabilidad física como funcional, y crear un cuerpo de prescripciones específicas que permitan adecuar las existentes y construir las nuevas con requisitos compatibles a su nivel de importancia.

En la actualidad un alto porcentaje de edificaciones esenciales carecen de consideraciones sismorresistentes. Los códigos de diseño sísmico básicamente se han limitado a elevar los niveles de fuerzas de diseño como estrategia para reducir el nivel de riesgo de estas y otras instalaciones calificadas de importancia vital para atender situaciones de emergencia debido a un evento sísmico. La experiencia muestra cómo en los últimos terremotos un significativo número de estas instalaciones han sufrido daño, en mayor o menor grado, de manera que ha reducido su capacidad de prestar servicio generando un escenario crítico para la atención del desastre.

Por otra parte, las características de ocupación de estas instalaciones, el preponderante papel que ejercen durante la atención de una crisis sísmica, el carácter vital y estratégico de la preservación de su funcionalidad, las características de equipamiento y contenido, así como los elevados costos de reposición de daños hacen que las edificaciones esenciales requieran consideraciones especiales en relación con la mitigación del riesgo sísmico y que las estrategias hasta ahora adoptadas no han sido suficientes para reducirlo.

#### **1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO**

##### **1.2.1. Motivación**

Las experiencias recientes de sismos fuertes en diversos países (Turquía, Colombia, Taiwan, La India, El Salvador, E.E.U.U., etc.) y las ocurridas en las últimas décadas han puesto de manifiesto el alto grado de vulnerabilidad de las edificaciones esenciales, en el sentido que gran parte de estas instalaciones han colapsado estructural o funcionalmente, incapacitándolas para desempeñar las funciones de atención que deben prestar en situaciones críticas de emergencia.

Una revisión del estado del arte y de las prácticas asociadas a la concepción y diseño de estas edificaciones permite concluir que las prescripciones de diseño que han sido empleadas no son suficientes para garantizar el mantenimiento de sus funciones luego de un evento sísmico relevante, ni adecuadas para la importancia que revisten estas instalaciones. Atendiendo exclusivamente a requerimientos normativos estructurales, la práctica se limita a incrementar las acciones de diseño como mecanismo para reducir la vulnerabilidad de la edificación. En cuanto a la concepción de estos proyectos en zonas con moderado o importante nivel de amenaza sísmica, la práctica descuida aspectos fundamentales del

diseño concentrándose en aspectos funcionales que sólo toman en cuenta las condiciones ordinarias de operación, dejando muchas veces de lado las condiciones críticas a las que necesariamente se verá expuesta la edificación durante una situación de emergencia sísmica. Finalmente, desde un punto de vista filosófico, se evidencia una falta de coherencia en cuanto a los objetivos de diseño y al desempeño que se espera que tengan estas edificaciones durante un sismo.

En este sentido, el presente estudio pretende entre otras cosas poner de manifiesto la importancia de este tipo de edificaciones y la necesidad de crear un cuerpo de prescripciones específicas, cónsonos con la naturaleza de la función prestada, así como crear una plataforma que permita la revisión de la infraestructura nueva y existente.

### 1.2.2. Objetivos

Como objetivo general se pretende revisar los principios que sirven de fundamento para definir las instalaciones que deben considerarse como esenciales para la atención de la emergencia sísmica. Justificar su importancia relativa y la necesidad de establecer metodologías específicas para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales y su contribución al riesgo sísmico de una comunidad, con miras a crear una plataforma suficientemente amplia, que permita racionalizar los criterios de evaluación de estas edificaciones en concordancia con su importancia relativa, como una contribución a la prevención, mitigación y gestión del riesgo sísmico de una comunidad.

Entre los objetivos específicos, destacan;

- a. Revisar los antecedentes y reseñas de daños ocurridos en edificaciones esenciales en los últimos terremotos, los estudios anteriores y el estado del arte en materia de evaluación de su vulnerabilidad sísmica, así como el tratamiento que convencionalmente sigue el diseño de estas edificaciones a nivel normativo.
- b. Proponer una definición formal de edificaciones esenciales en concordancia con el espíritu que emplean la mayoría de estudios anteriores y describir sus principales características de manera que permita identificar los principales tipos de edificaciones esenciales y proponer una clasificación y jerarquización de acuerdo con la importancia relativa de su función en la atención de emergencias sísmicas.
- c. Describir los conceptos y metodologías asociados a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, haciendo énfasis en las nuevas estrategias para la evaluación y el diseño sísmico de edificaciones esenciales que proporcione un marco de referencia como fundamento para la toma de decisiones.
- d. Introducir el concepto de vulnerabilidad de sistemas como un enfoque para el análisis de la contribución de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales al riesgo sísmico.
- e. Desarrollar una metodología que permita evaluar el desempeño sísmico de un sistema sanitario sobre la base del enfoque de vulnerabilidad sistémica donde se evidencie el nivel de interrelación entre el sistema sanitario y otros sistemas o líneas vitales como los sistemas de comunicación, transporte, etc.
- f. Proponer índices que permitan cuantificar el desempeño sísmico de un sistema sanitario regional y de cada uno de sus componentes ante una crisis sísmica, que consideren los niveles de perturbación inducidos por causa del daño físico directo.

- g. Implementar aplicaciones sobre casos reales de instalaciones hospitalarias particulares y sistemas sanitarios regionales. En particular, aportar una serie de elementos de inventario generales y detallados de todos y cada uno de los hospitales de Cataluña.

### 1.2.3. Alcance

Así pues, el presente estudio pretende revisar los principales conceptos asociados a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y particularmente de aquellas calificadas como edificaciones esenciales que permita crear una plataforma de evaluación coherente con la importancia relativa de la instalación y el nivel de sismicidad esperado.

De esta manera, se persigue crear un marco conceptual suficientemente amplio que permita racionalizar los criterios de evaluación de estas edificaciones en concordancia con su importancia relativa, definiendo estrategias orientadas a optimizar el empleo de los recursos disponibles a fin de maximizar los resultados en lo relativo a la prevención, mitigación y gestión del riesgo sísmico asociado a una determinada comunidad.

## 1.3. CONTENIDO DE LA MEMORIA

El desarrollo del trabajo está estructurado en tres partes; la *Parte I* sirve de *introducción* al estudio, destacando sobre todo los antecedentes y el estado del arte en esta materia. El Capítulo 1, presenta una breve introducción descriptiva del estudio y la definición de la motivación, los objetivos generales, los objetivos particulares y alcance del mismo. El Capítulo 2, presenta una síntesis de daños observados en edificaciones esenciales como consecuencia de los principales terremotos ocurridos en las últimas décadas y una descripción del estado del arte con referencia a los estudios que anteceden al presente trabajo y que han servido de punto de partida, destacando, sobre todo, las iniciativas norteamericanas y europeas, así como otras experiencias de interés en ésta línea de investigación.

La *Parte II*, desarrolla en 6 capítulos los *conceptos y métodos* que sirven de fundamento del estudio. El Capítulo 3, se centra principalmente en la descripción de las edificaciones esenciales. Se puntualiza la definición y sus características fundamentales, destacando las principales diferencias con otras edificaciones y su clasificación según el uso, importancia y riesgo de fallo, tradicionalmente reconocido en los códigos. Finalmente se describen los aspectos normativos que los códigos de diseño sísmico atribuyen a las edificaciones esenciales, haciendo una evaluación crítica de los aspectos relacionados con la filosofía de diseño, el factor de importancia, los controles de desplazabilidad y las medidas de protección de sus componentes no estructurales.

La definición de la vulnerabilidad sísmica y su relación con conceptos como la amenaza y el riesgo sísmico están contenidos en el Capítulo 4, haciendo énfasis en la necesidad de su evaluación para las edificaciones esenciales. Se introducen los conceptos de vulnerabilidad funcional, no estructural y estructural, como parte indispensable de un análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. El capítulo 5, particulariza todos aquellos aspectos relativos a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica; las diferentes metodologías de evaluación, los parámetros característicos empleados, el concepto de daño sísmico y su cuantificación a través de los llamados estados de daño ó índices de daño, la cuantificación de la vulnerabilidad sísmica en términos de clases de vulnerabilidad y

matrices de probabilidad de daño, índices y funciones de vulnerabilidad y las curvas de fragilidad. El capítulo 6, introduce los conceptos asociados al desempeño sísmico según las propuestas del comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) y del ATC-40 (1996). Se describen algunas estrategias para la toma de decisiones respecto al comportamiento esperado de las edificaciones esenciales durante un sismo, fundamentadas en los niveles de desempeño de dichas instalaciones desde el punto de vista estructural y no estructural, para diferentes niveles de movimiento del terreno. Finalmente, se describen cualitativamente las diferentes acciones o intervenciones destinadas a reducir la vulnerabilidad sísmica de estas instalaciones.

El Capítulo 7, introduce los conceptos de sistemas y vulnerabilidad sistémica como un enfoque conveniente para cuantificar la contribución de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales al riesgo sísmico de una comunidad. Se presenta una sistematizada estrategia de evaluación, conforme con la importancia relativa de la función que desempeña la edificación, los niveles de amenaza regional y el desempeño sísmico esperado, desarrollada en tres niveles de evaluación; preliminar, general y detallado. Por su parte, el Capítulo 8, desarrolla la aplicación del enfoque de vulnerabilidad sistémica al estudio del desempeño sísmico del principal sistema de edificaciones esenciales; *el sistema sanitario*. Se implementa un modelo para la evaluación de la respuesta sísmica del sistema sanitario a escala regional. Para su cuantificación se introducen una serie de índices de desempeño del sistema y de los hospitales que sirven de base para discernir sobre su situación relativa y el nivel de contribución al riesgo sísmico de cada uno de estos elementos.

Finalmente, la *Parte III* contiene las *aplicaciones* de los modelos desarrollados sobre el sistema sanitario de Cataluña y sobre uno de los principales hospitales de la ciudad de Caracas (Venezuela). El Capítulo 9 se dedica exclusivamente a la preparación de los datos necesarios para la evaluación de la respuesta sísmica del sistema sanitario de Cataluña. Se describe la organización del sistema catalán de la salud con particular énfasis en los 64 hospitales que conforman la red de hospitales de utilización pública de Cataluña - XHUP (Xarxa Hospitalària d'Utilització Pública de Catalunya) que permitirá caracterizar la capacidad del sistema sanitario regional. Asimismo, se describe la distribución de la población y la peligrosidad sísmica de Cataluña, como elementos fundamentales para la definición de escenarios sísmicos compatibles con las características de la región, que permitirá estimar la distribución de heridos que representa la demanda potencial del sistema sanitario. El Capítulo 10 centra su atención en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los hospitales de Cataluña. Sobre la base del procesamiento de la información recopilada sobre los 64 hospitales que conforman la red de hospitales de utilización pública de Cataluña - XHUP (Xarxa Hospitalària d'Utilització Pública de Catalunya), se estima el daño potencial de cada hospital y su curva de fragilidad a través de la aplicación de uno de los métodos empíricos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, el método de categorización. Estos resultados preliminares han sido centralizados en una base de datos conformada por 64 fichas técnicas (uno por hospital) que resume las características generales de cada hospital y los resultados obtenidos tras la aplicación de diferentes criterios de clasificación de su vulnerabilidad. Asimismo se presenta el comportamiento sísmico esperado para cada hospital de acuerdo con los valores máximos de intensidad prescritos por el mapa de zonificación sísmica de la región y una definición preliminar de los rangos de intensidad sísmica para los cuales se esperan daños en las instalaciones que puedan comprometer la funcionalidad del hospital y que servirán como base para caracterizar la fragilidad de los hospitales en la evaluación del sistema sanitario regional.

El Capítulo 11, presenta los resultados de la aplicación del enfoque de vulnerabilidad sistémica a la evaluación de la respuesta sísmica del sistema sanitario de Cataluña. A través de una serie de evaluaciones de situaciones que van desde estudios de escenarios singulares (sismos históricos y simulados), estudios de pérdidas potenciales y estudios de riesgo, se pretende calificar el desempeño sísmico del sistema global y de cada uno de los elementos que lo componen. A través de una serie de gráficos y resultados concretos de cada situación considerada, se describe la respuesta del sistema en términos de la relación demanda-capacidad, lo cual ha permitido calificar el desempeño sísmico de cada uno de los 64 hospitales que conforman la red de hospitales de utilización pública de Cataluña y clasificar su respuesta como aceptable, intermedia o crítica. Esta jerarquización permite definir de manera eficiente y racional las acciones a tomar, delineando una estrategia optimizada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica a nivel general y detallado en los hospitales que realmente lo justifiquen.

El Capítulo 12 presenta un ejemplo de aplicación a nivel detallado de algunas de las técnicas propuestas para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales, clasificadas dentro de los llamados métodos experimentales y métodos teórico-analíticos y que deberían aplicarse a los hospitales de la XHUP de importancia relativa alta y muy alta que presenten un desempeño sísmico insuficiente o crítico. Esta aplicación se realizó sobre el Hospital Dr. Domingo Luciani, antes Hospital del Este y hoy conocido como Hospital de El Llanito, ubicado al este de la ciudad de Caracas, Venezuela, como un proyecto piloto que forma parte del programa de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de hospitales que viene adelantando la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS en el Distrito Capital. A través del procesamiento de los resultados de una serie de ensayos dinámicos de vibración ambiental y vibración libre, se identifican las propiedades dinámicas fundamentales del sistema que permiten calibrar un modelo estructural elástico capaz de predecir la respuesta lineal de la estructura ante la acción de un sismo. A través de la incorporación de consideraciones no lineales se estima la capacidad de respuesta estructural luego de la cedencia de algunos de sus elementos y se predice la respuesta estructural ante diferentes niveles de la amenaza sísmica, que permite calificar el desempeño sísmico de la estructura.

Finalmente, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.