

## CAPÍTULO 2

### ANTECEDENTES y ESTADO DEL ARTE

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

La especial importancia que tienen las edificaciones esenciales para hacer frente a situaciones de emergencia de cualquier índole, y en particular, la necesidad que dichas instalaciones estén preparadas para actuar en caso de crisis sísmicas, ha sido puesta de manifiesto por terremotos históricos y recientes. La experiencia de sismos pasados, ha demostrado que las edificaciones esenciales y en especial los hospitales, pueden ser altamente vulnerables a dicho fenómeno, al no poder responder adecuadamente ni garantizar su normal funcionamiento tras la ocurrencia de un evento sísmico.

Las estadísticas muestran cómo sólo en América, durante las dos últimas décadas, más de 100 hospitales han sido afectados por terremotos, con diferentes niveles de daño, que van desde daños menores que han reducido su capacidad funcional, hasta daños severos que incluso han provocado su colapso total. Esto ha representado importantes pérdidas de vidas humanas y un alto coste económico que en términos de salud pública, ha representado la desaparición de más de 10.000 camas hospitalarias, cuyo valor de reposición a los costes actuales ascendería a más de 700 millones de dólares (OPS, 1993).

#### 2.2. SÍNTESIS DE DAÑOS OBSERVADOS

A continuación, se presenta una recopilación de daños producidos en edificaciones esenciales, como consecuencia de algunos de los principales terremotos ocurridos en las últimas décadas: (Safina, 1998)

- Terremoto de Chile, 22 Mayo 1960 (Magnitud 8.4)

Daños graves en el *Hospital Traumatológico* y el *Hospital de Valdivia*. (OPS, 1993)

- Terremoto de Skopje, Macedonia, Julio 1963 (Magnitud 6.2)

Colapso de la *Estación Central del Ferrocarril*.

- Terremoto de Alaska, USA, 28 Marzo 1964 (Magnitud 7.9)

Colapso del *Hospital Elmendorf*. Un significativo número de edificaciones educacionales fueron afectadas, entre las que destacan las escuelas *Denali Grade School*, *Anchorage High School*, *Government Hill Grade School*, entre otras. Muchos daños fueron asociados a grandes deslizamientos, que interrumpieron los servicios de agua, gas, electricidad y teléfono (Hu, Liu y Dong, 1996).

- Terremoto de Caracas, Venezuela, 29 Julio 1967 (Magnitud 6.9)

Colapso de varios edificios. Se produce un importante nivel de daños estructurales y no estructurales, fundamentalmente en edificaciones residenciales y una característica

concentración de daños en sectores como *Los Palos Grande, Altamira, Caraballeda y San Bernardino*. En *San Bernardino* y sus alrededores, se concentra la mayor parte de la infraestructura sanitaria de la ciudad capital, con algunos daños (FUNVISIS, 1978).

- Terremoto de Perú, 31 Mayo 1970 (Magnitud 7.7)

Este devastador terremoto, uno de los mayores ocurridos en el hemisferio sur, provocó el colapso de casi todos los edificios escolares de la población de *Casma*. Ocurrieron importantes daños en la mampostería y en la estructura de un centro de salud construido recientemente y aún no ocupado, con daños en aquellos equipos médicos que aún no habían sido anclados (EERI, 1970). Curiosamente, el *Centro de Salud de Huarmey* fue levemente dañado, mientras que un diseño idéntico en la población de *Casma* colapsó, poniendo en evidencia el riesgo de estandarizar proyectos.

- Terremoto de San Francisco, California, USA, 9 Febrero 1971 (Magnitud 6.8)

Varios hospitales sufrieron daños importantes de manera que no pudieron operar y dar atención a los afectados por la crisis sísmica. Las reseñas del terremoto destacan cómo irónicamente la mayoría de las víctimas de la catástrofe acudieron a dos de estos hospitales colapsados, complicando el escenario de atención primaria a las víctimas del terremoto. Entre los hospitales dañados destacan; el colapso del *Olive View Hospital*, una nueva instalación abierta al público apenas tres meses antes del terremoto. El *Indian Hill Medical Center*, que no pudo entrar en funcionamiento hasta una semana después del sismo. Severos daños estructurales sufrió el *Holy Cross Hospital* y tuvo que ser demolido (Rutenberg, 1994). El colapso de una de las alas del *Veterans Administration Hospital* provocó la muerte de 49 pacientes, exhibiendo sus muros un agrietamiento diagonal importante (Rutenberg, Jennings y Housner, 1982). También colapsó el *Sylmar Hospital* de reciente construcción (Staehlin, 1997). Graves daños sufrió el *Santa Cruz Hospital*. Pasarelas de peatones colapsaron y se produjeron daños en servicios públicos de todo tipo. Numerosos accesos fueron bloqueados por deslizamientos y desprendimientos de rocas.

El colapso del *Veterans Administration Hospital*, propició la modificación de los criterios de diseño sísmico por parte de esta administración, al punto que en la actualidad, representa uno de los criterios de diseño sísmico más estrictos en el mundo, y deben ser usados para el diseño de hospitales en California. Con estos criterios se proyectó y construyó el nuevo *Veterans Administration Palo Alto Medical Center*.

- Terremoto de Managua, Nicaragua, 23 Diciembre 1972 (Magnitud 6.5)

El *Hospital General* fue severamente dañado, siendo necesario evacuarlo para posteriormente demolerlo; todas las columnas del primer piso fallaron (OPS, 1992). El *Seguro Social* y el llamado *Reformatorio* también sufrieron daños importantes al igual que el *Hospital Militar*, aunque este último con menor severidad. La caída del segundo piso del edificio de dos plantas del *cuerpo de bomberos* atrapó las máquinas, haciendo imposible la extinción de incendios que proliferaron sin medida. Asimismo, el edificio del *Distrito Nacional*, el *Ayuntamiento* y la *Sede del Gobierno Local de Managua*, fueron afectados, sufriendo por segunda vez los efectos devastadores de un terremoto. *La Fortaleza del Vigía* y la propia *Casa Presidencial* fueron bastante afectadas, al igual que el edificio principal del *Aeropuerto Las Mercedes* que finalmente constituyó la principal puerta de entrada de las ayudas internacionales. Muchos planteles educativos fueron seriamente dañados e

incluso algunos colapsaron, entre los que destacan, dos de los tres pabellones del *Colegio Pureza de María*, el *Instituto Pedagógico*, el colapso del *Colegio Americano*, el colegio *La Divina Pastora* y el *Instituto Ramírez Goyena*, así como el *Centro Don Bosco* y el edificio (aún en construcción) del Campus de la *Universidad Centroamericana*. También destacan el colapso de lugares de reunión pública, como el trágico desplome del Cabaret y la caída del techo de una de las graderías del *Estadio Somoza* (Estrada, 1973).

- Terremoto de Guatemala, Guatemala, 1976 (Magnitud 7.5)

Varios Hospitales fueron evacuados como consecuencia del terremoto, complicando el escenario sísmico. Un total de cuatro hospitales resultaron afectados, de los cuales dos debieron ser demolidos posteriormente (Grases, 1992).

- Terremoto del Friuli, Italia, 5 Mayo 1976 (Magnitud 6.2)

El viejo *Hospital de Gemona*, un edificio de mampostería de tres niveles sin previsiones sísmicas sufrió una falla parcial de su techo de madera y daños en los muros de carga. Asimismo, un hospital nuevo de 10 niveles de hormigón reforzado sin previsiones sísmicas, sufrió severos daños y debió ser demolido (Di Pascuale et al., 1997).

- Terremoto de Irpinia, Italia, 23 Noviembre 1980 (Magnitud 6.8)

Colapso completo del nuevo *Hospital de San Angelo dei Lombardi*, un edificio de hormigón armado de 7 niveles diseñado con consideraciones sísmicas (Di Pascuale et al., 1997).

- Terremoto del Táchira, Venezuela, 18 Octubre 1981 (Magnitud 5.4)

Agrietamiento en la mampostería del *Centro Clínico* (de reciente construcción) y del *Hospital Central de San Cristóbal*. También se observó este tipo de daños en el *Hospital de San Antonio* y en el *Hospital del Instituto Colombiano del Seguro Social en Cúcuta*. Daños considerables y caída de elementos ornamentales del *Edificio de la Gobernación* y de la *Policía Técnica Judicial de San Cristóbal*. Daños severos en juntas viga-columna y tabique-columna del *Grupo Escolar Manuel Felipe Rugeles* y daños estructurales en el *Liceo Manuel Díaz Rodríguez*, ambos en la ciudad de San Antonio del Táchira. También se produjeron daños importantes en la iglesia, la prefectura, la medicatura y el grupo escolar *La Frontera de Ureña*, en la frontera Colombo-Venezolana (Malaver et al., 1982).

- Terremoto de Pompayán, Colombia, 1983 (Magnitud 5.5)

La interrupción de servicios y los daños estructurales y no estructurales, redujeron la capacidad de funcionamiento del *Hospital Universitario San José* (OPS, 1993).

- Terremoto de Mendoza, Argentina, 1985 (Magnitud 6.2)

Más de una docena de instalaciones de la salud fueron afectadas, una de las cuales fue desalojada y otras dos fueron posteriormente demolidas. El total de camas disponibles fue reducido en más de un 10% a consecuencia del terremoto (OPS, 1992).

- Terremoto de Chile, 3 Marzo 1985 (Magnitud 7.8)

Más de 180 muertes, 2500 heridos y aproximadamente 140.000 viviendas dañadas. Diferentes niveles de daños en más de docena y media de instalaciones sanitarias, entre las que destacan las fallas estructurales del *Hospital de San Antonio*, que presentó un fuerte agrietamiento en las columnas del primer piso. Importante daño en los *Hospitales de Melipilla, Rengo, Enrique Deformes, Psiquiátrico, las Residencias Médicas y Maternidad*. Numerosas escuelas afectadas, así como daños cuantiosos en líneas vitales. Fallas en varios puentes que cortaron las principales vías de comunicación (CERESIS, 1985).

- Terremoto de ciudad de México, México, 19 Septiembre 1.985 (Magnitud 8.1)

El sistema hospitalario de la ciudad de México sufrió notables daños. Colapsaron 5 instalaciones médico-asistenciales y otras 22 sufrieron daños mayores. Al menos 11 instalaciones de la salud tuvieron que ser evacuadas (OPS, 1992). Entre las instituciones de salud que fueron seriamente afectadas destacan; el *Centro Médico Nacional* donde posteriormente fue necesario demoler varios edificios, el *Hospital General de la Secretaría de la Salud* donde murieron 295 personas entre funcionarios y pacientes con el colapso del pabellón de Ginecología-Obstetricia y la residencia de estudiantes, el *Hospital Benito Juárez* donde murieron 561 personas por causa del colapso de un pabellón de varios pisos entre cuyas víctimas se encontraban pacientes, médicos, enfermeros, personal administrativo y recién nacidos (OPS, 1987). Colapso total del *Hospital Médico Militar*. A consecuencia del terremoto el escenario de atención primaria fue dramáticamente distorsionado al producirse una reducción significativa de camas que superó las 5.800 unidades entre las destruidas y las que fue necesario evacuar (Ríos et al, 1986).

Muchos edificios escolares de la más vieja tipología constructiva que se caracterizaban por presentar altas concentraciones de cargas en columnas relativamente pequeñas con insuficiente capacidad resistente al corte, colapsaron. Un número importante de escuelas quedó en malas condiciones, mientras que otro tanto, se desplomaron del todo. La hora a la que ocurrió el sismo permitió que la vida de muchos escolares se salvara (Sarria, 1986).

- Terremoto de San Salvador, El Salvador, 1986 (Magnitud 5.4)

A pesar de ser un terremoto de magnitud moderada, más de una docena de instalaciones hospitalarias sufrieron daño o fueron afectadas, de las cuales 10 fueron desalojadas y se perdieron algo más de 2.000 camas para la atención de la emergencia sísmica. Una de estas instalaciones, el *Hospital Bloom* se perdió totalmente (OPS, 1992).

- Terremoto del Pilar, Venezuela, 11 Junio 1986 (Magnitud 5.9)

Fisuración en tabiquerías y separación tabique-columna de la escuela primaria de la población de *Tunapuy*. Daños en la tabiquería del *Hospital Central de Carúpano* el cual ya había sufrido daños no estructurales en sismos pasados. También se registraron daños en una edificación escolar de *Cumaná* (Malaver et al., 1988).

- Terremoto de Bihar-Nepal, India, 21 Agosto 1988

Daños severos en el *Medical College Old Hospital* y el *Surgical Ward-Medical College Hospital*, en *Darbhanga*, con fuertes niveles de agrietamiento en tabiquería. Este último permaneció en servicio a pesar de los daños por ser el principal hospital para atención de emergencias. *The L. R. Girls High School* fue severamente dañado y posteriormente abandonado. El edificio de Telecomunicaciones sufrió importantes daños.

- Terremoto de Armenia, USSR, 7 Diciembre 1988 (Magnitud 6.9)

La ciudad de *Spitak* fue totalmente devastada; todas sus escuelas, hospitales, servicios públicos y la mayoría de casas fueron destruidas. El número de heridos fue considerable. Más de 18.000 afectados necesitaron atención hospitalaria. El colapso de las edificaciones educacionales hace que las muertes producidas por este sismo sean especialmente de la población escolar, pues el sismo ocurre a las 11.41 a.m., solo 4 minutos antes que los niños abandonen las aulas de clase. También la ciudad de *Leninakan* fue testigo del colapso de modernos edificios residenciales, escuelas, edificaciones institucionales e industriales, entre las que destaca, el colapso parcial del edificio principal de *The Technical University*, donde un número elevado de estudiantes quedaron enterrados.

- Terremoto de Loma Prieta, USA, 17 de Octubre 1989 (Magnitud 7.1)

Daños significativos en edificios de mampostería. Interrupción de los servicios de transporte y comunicación. Numerosos daños en vías, sobre todo en el *Cypress Street Viaduct of Interstate 880*. Las significativas pérdidas económicas por interrupción del funcionamiento de instalaciones y de líneas vitales, ha sido quizás la más importante lección enseñada por este terremoto. *The Palo Alto Medical Center* sufrió significativos daños estructurales y posteriormente fue sustituido por una nueva edificación. También sufrió importantes daños la estación de bomberos *Gilroy Firehouse*, un edificio histórico de dos niveles que fue evacuado y posteriormente rehabilitado (Gallegos y Rios, 1990).

- Terremoto de Piedras Negras, Costa Rica, 1990

*El Hospital San Rafael* sufrió fallos graves requiriendo su evacuación (OPS, 1993).

- Terremoto de Eastern, Kazakh, 14 Junio 1990

Un hospital de cuatro niveles fue severamente dañado. Cuatro escuelas presentaron diferentes niveles de daños, de las cuales tres fueron posteriormente reparadas y reforzadas y una demolida.

- Terremoto de Luzon, Islas Philipinas, 16 Julio 1990 (Magnitud 7.8)

Daños severos en escuelas y en otras instalaciones educacionales y sanitarias.

- Terremoto de Erzincan, Turkey, 13 Marzo 1992 (Magnitud 6.8)

Un número significativo de edificaciones colapsaron o fueron severamente dañadas. Los servicios permanecieron inactivos por un largo período de tiempo manteniendo la ciudad en un estado de emergencia permanente.

- Terremoto de Northridge, USA, 17 Enero 1994 (Magnitud 6.7)

Colapso de líneas vitales. Problemas en vialidad, autopistas y vías elevadas. Sufrió daños considerables *the Barrington Medical Building*, evidenciando fuerte agrietamiento de corte en columnas, por lo que fue necesario evacuarlo y posteriormente demolerlo. *The Indian Hills Medical Center* sufrió agrietamiento en sus muros y, aunque en la primera evaluación rápida fue declarado como inseguro, permaneció operativo al determinarse después de una pronta y exhaustiva inspección que los daños no eran significativos como para cerrar la instalación. *The St. John Hospital en Santa Mónica* fue evacuado y cerrado. En *Los Angeles* y en las cercanías del epicentro, varios hospitales fueron severamente dañados por sus bajos requerimientos de diseño y/o insuficiente refuerzo. De hecho, la mayoría de estos hospitales fueron puestos fuera de servicio debido a la cantidad de daños en componentes no estructurales y daños en el sistema de rociadores de agua contra incendio. El reconstruido *Olive View Hospital* resistió sin serios daños estructurales aunque su contenido fue severamente dañado, presentando daños no estructurales (Çeleri, 1996) al igual que *the Holy Cross Medical Center*, *the Granada Hills Community Hospital* y *the Northridge Hospital Medical Center*, los cuales se vieron obligados a cortar sus servicios y evacuar a los pacientes (Goltz, 1994). Eidinger y Goettel (1997), presentan un resumen de daños sobre componentes estructurales y no estructurales en Hospitales.

*The University of Southern California Teaching Hospital (USC Hospital)* y *the Los Angeles Fire Command and Control Facility (FCCF)*, dos de las estructuras sísmicamente aisladas, no presentaron ningún tipo de daños permaneciendo completamente operativas durante y después del evento (Nagarajaiah y Sun, 1996). Varias edificaciones educacionales sufrieron severos daños obligándoles a cerrar sus actividades. Entre las más severamente afectadas estaban dos escuelas superiores, cuatro escuelas medias y dos elementales. De las 75 escuelas dañadas, 33 permanecieron cerradas más de una semana (Goltz, 1994).

- Terremoto de Kobe, Japón, 17 Enero 1995 (Magnitud 7.2)

Cuantiosos daños en estructuras y su equipamiento. Problemas severos con el sistema de transporte, sobre todo con las líneas de ferrocarriles, los puentes y las autopistas elevadas. Varios incendios se mantuvieron hasta por dos días. Más de 80.000 edificios fueron afectados por el sismo y miles destruidos por incendios posteriores. Varias edificaciones esenciales fueron afectadas en mayor o menor grado, sin embargo, la más importante fue una de las alas del *Hospital de Kobe* (EQE, 1995) que colapsó. Se evidenciaron diferentes modalidades de fallas en prácticamente todas las tipologías estructurales, en edificios tanto de hormigón armado como metálicas, de vieja y nueva data, y de diferentes alturas. Cabe destacar el excelente desempeño de una escuela de hormigón armado de cuatro niveles, ubicada en el área epicentral de Rokkomichi que no sufrió daños y que por el contrario fue utilizada como un centro de refugio durante las semanas siguientes al sismo.

- Sismo de Cariaco, Venezuela, 9 Julio 1997 (Magnitud 6.9)

El colapso de dos unidades educacionales de la población de *Cariaco* fue responsable de que el principal número de víctimas fuera de la población estudiantil, todos ellos niños y jóvenes estudiantes de la *Unidad Escolar Valentín Valiente* y del *Liceo Raimundo Centeno Martínez*, cuyas estructuras colapsaron tapiando a todos los alumnos que se encontraban en su interior. También se registraron daños severos en el liceo *Pedro*

*Arnal de Cumaná.* Entre la gran cantidad de daños reportados, destaca el colapso total de un edificio de 6 pisos en *Cumaná* donde funcionaban oficinas de la Gobernación. Daños no estructurales en diversos dispensarios médicos y sobre todo, en el *Hospital Antonio Patricio de Alcalá*, también conocido como el *Hospital Central de Cumaná*, el más importante complejo sanitario de la región noreste de Venezuela que fue desalojado aunque sólo sufrió daños menores no estructurales; la evacuación de los pacientes fue traumática y no pudo atender víctimas del sismo pues el colapso funcional se extendió hasta por dos semanas (Guevara y Alvarez, 2000). Asimismo, algunos ambulatorios urbanos presentaron daños menores. En Cumaná, paredones de diversas escuelas se derrumbaron e incluso cayó el edificio de la *Comandancia de la Policía* provocando una fuga masiva de presos. Las comunicaciones fueron afectadas, así como tuberías de suministro de agua, carreteras, puentes, etc. (FUNVISIS, 1997; Schwarz et al., 1998).

- Sismo de Umbria-Marche, Italia, Septiembre-Octubre 1.997 (Magnitud 5.8)

Una sucesión de al menos 5 eventos con magnitudes similares al evento principal, provocaron importantes daños estructurales y no estructurales en al menos una docena de hospitales de la región afectada, evidenciando un pobre desempeño de estas instalaciones tomando en cuenta los bajos niveles de intensidad de los eventos, lo cual trajo como consecuencia la clausura de varios hospitales. El más afectado fue el *Hospital de Assisi* que mostró daños en las columnas, con agrietamiento y colapso de muros que impidió el funcionamiento del mismo. Otros como el *Hospital de Trevi, Tria, Foligno y Camerino* sufrieron niveles de daño que limitaron su funcionalidad. Finalmente *los Hospitales de Gualdo Tadino, Gubbio, Montefalco y Spello*, sufrieron daños menores que les permitió mantener sus funciones (Di Pascuale et al., 1997).

- Sismo del Quindío, Colombia, 25 Enero 1.999 (Magnitud 6.0)

En Armenia, colapso parcial del *cuartel central de la policía*. Colapso de la *estación de bomberos*. Daños severos en la *Escuela Santa Teresa de Jesús*. Importantes daños en las líneas de agua, teléfono y electricidad. Interrupción en las principales rutas de acceso. Los edificios gubernamentales de esta ciudad fueron evacuados limitando la capacidad de manejo de la crisis. Colapso de los *Hospitales de Circasia y Córdoba*. El *Hospital de Calarcá* sufrió un colapso parcial. Se estima alrededor de 900 muertos y más de 4.000 heridos. La ciudad de Pereira facilitó la infraestructura básica para la atención de la emergencia debido a su experiencia en el manejo de crisis sísmicas adquirida en sismos anteriores, lo que demuestra la importancia de la preparación como alternativa para la mitigación sísmica (Pujol et al., 1999).

- Sismo de Izmit, Turkia, 17 Agosto 1.999 (Magnitud 7.4)

Colapso de varios miles de edificios y decenas de miles sufrieron importantes niveles de daño. La gran mayoría de estos edificios eran de reciente construcción y diseñados incorporando sofisticadas prescripciones sismorresistentes. Investigaciones posteriores evidenciaron deficiencias tanto en los materiales como en los controles. Entre los aspectos más significativos de este sismo destacan los cuantiosos daños inducidos a edificios por su proximidad a la traza de la falla, los daños en la *refinería Tüpras* en Korfez y otras plantas petroquímicas, con los incendios posteriores. Importante número de víctimas y afectados, con más de 15.000 muertos y aproximadamente 24.000 heridos hospitalizados, debido principalmente al colapso en edificaciones. Daños en la *subestación eléctrica de*

*Adapazari, el acueducto de Izmit, la base naval en Gölcük*, así como en puentes, autopistas y carreteras que limitaron las labores de rescate y de atención a la emergencia (EQE, 1999a; MCEER, 1999).

- Sismo de Atenas, Grecia, 7 Septiembre 1.999 (Magnitud 5.9)

Daños limitados sobre todo a edificios residenciales. Una escuela de tres niveles en Thrace Macedodis perdió el primer nivel. Afortunadamente, no se encontraban alumnos en ese momento en las instalaciones (EQE, 1999b).

- Sismo de Chi-Chi, Taiwan, 21 Septiembre 1.999 (Magnitud 7.6)

El *Hospital de Veteranos* en Puli sufrió significativos daños tanto estructurales como no estructurales, a pesar de ser el edificio más nuevo del centro médico. El número de afectados se estimó en 2.400 muertos y 10.420 heridos, de los cuales aproximadamente 1.000 presentaban un estado tal que requerían hospitalización (EERI, 1999). Daños en puentes y otras infraestructuras de comunicación. Se destaca la coordinación y actuación de los sistemas de emergencia que se encuentran integrados en una sofisticada red digital sísmica que proporciona información en tiempo real de los efectos del sismo (Goltz, 1999).

- Sismo de Gujarat, India, 26 Enero 2.001 (Magnitud 7.5)

Colapso de más de 80 edificaciones con un estimado de 750 heridos. A pesar que la mayoría de las edificaciones fueron construidas con posterioridad a la introducción del código sísmico vigente, las condiciones locales fueron determinantes en los niveles de daños inducidos sobre las edificaciones. Se reportaron fallas en las conexiones de una edificación prefabricada donde funcionaba la *escuela primaria de Kukma en Bhuj*. Una de las lecciones más relevante aportada por este sismo es la necesidad que las escaleras de emergencia deben ser diseñadas con mayores fuerzas que las correspondientes a otras partes de la edificación (Goyal et al, 2001). La atención de la crisis sísmica fue considerada caótica pues a pesar de conocerse muy bien el importante nivel de vulnerabilidad sísmica del distrito de Kutch, no se contaba con un plan de emergencia que pudiera controlar la situación y la acción se complicó por tratarse de un día de fiesta nacional, que perturbó la organización y traslado del personal gubernamental y de rescate. Los principales daños en edificaciones esenciales se reportan en las escuelas, donde los niños se preparaban para actos oficiales y sufrieron el colapso de estas edificaciones. Colapso de las líneas de comunicaciones y servicios telefónicos. El edificio de *Telecom* colapsó con la pérdida de importantes equipos de telecomunicaciones. La vialidad del distrito de Kutch fue severamente dañada limitando el traslado de la gran cantidad de heridos. La atención de las víctimas se concentró fundamentalmente en el *Hospital Militar de Ahemdabad*. La limitada capacidad de atención médica fue cubierta posteriormente por unidades médicas móviles aportados por la ayuda internacional, especialmente de Israel, Noruega, Japón y Corea (EERI, 2001a).

- Sismos de El Salvador, 13 Enero y 13 Febrero 2.001 (Magnitudes 7.6 y 6.6)

Gran cantidad de víctimas y daños materiales. Más de 1.100 muertos como consecuencia de los dos eventos principales. Interrupción de servicios públicos. Las líneas vitales de las áreas rurales experimentaron un comportamiento pobre. Interrupciones por deslizamientos de tierra limitaron la capacidad de movilización por carreteras y autopistas

(EERI, 2001b). Como consecuencia del primer evento, fueron afectadas 113 instalaciones de salud, entre los que se encontraban 19 hospitales (63% de la infraestructura hospitalaria), quedando fuera de servicio aproximadamente 2.021 camas que representan el 40% de la disponibilidad. El segundo evento agravó la situación en el sistema de salud, afectando 46 instalaciones de salud, entre los que se encontraban 7 hospitales (23%), de los cuales fue necesario evacuar a tres de ellos, quedando otras 273 camas fuera de servicio. Todas estas instalaciones de salud experimentaron distintos grados de daño, pero ninguno alcanzó a colapsar estructuralmente (OPS, 2002).

- Sismo de Afyon, Turkia, 3 Febrero 2.002 (Magnitud 6.2)

Colapso de más de un centenar de edificaciones, con 54 muertes y 174 heridos. Daños menores en instalaciones esenciales, aunque se presentó una situación de caos en el manejo de la emergencia sísmica (EERI, 2002).

- Otras referencias de interés:

Grases, J. (1992) presenta un resumen del desempeño de instalaciones sanitarias de 13 países del continente americano que durante las décadas entre 1971 y 1991, han sufrido daños como consecuencia de 22 sismos. La Tabla 2.1, tomada de la citada referencia, ilustra como más de 126 instalaciones han sufrido algún grado de daño, de las cuales 15 colapsaron o fueron dañadas de manera que se consideraron irreparables.

Tabla 2.1. Instalaciones sanitarias afectadas por sismos en América (1971-1991)  
Tomada de Grases, J. (1992)

Sismo	Total afectados	Colapsados o irreparables
San Fernando, 1971	9	6
Managua, 1972	2	1
Antigua, 1974	1	0
Guatemala, 1976	4	2
San Juan, 1977	(a)	-
Manizales-Charco, 1979	8	1
Cúcuta, 1981	2	0
San Isidro, 1983	1	0
Popayan, 1983	1	0
Mendoza, 1985	10	2
Chile, 1985	18	2
México, 1985	22	6
San Salvador, 1986	9	1
Carúpano, 1986	1	0
Whittier N., 1987	18	1
Quebec, 1988	2	0
Loma Prieta, 1989	7	0
Cóbano-Puriscal, 1990	4 (b)	-
Limón, 1991	6	1
Pochuta, 1991	1	1

(a) Pérdidas en el sector de salud estimadas en varios millones de USD.

(b) Uno de ellos estaba en proceso de reforzamiento durante el evento.

### 2.3. ESTUDIOS ANTERIORES

A pesar de la importancia que revisten las edificaciones esenciales en la atención de la emergencia sísmica, las reseñas de los daños en sus instalaciones tradicionalmente no ha sido objeto de especial atención por parte de los investigadores, razón por la cual es limitada la información disponible sobre el desempeño de los sistemas de atención de la emergencia durante la crisis sísmica. Sin embargo, algunos autores conscientes de la importancia de este hecho, han llevado adelante algunos estudios específicos sobre el comportamiento durante un sismo de instalaciones calificadas como esenciales, e incluso se han desarrollado modelos simplificados que permiten simular la respuesta de un determinado sistema ante un evento sísmico, con miras a calificar y cuantificar su capacidad de respuesta ante una crisis sísmica.

#### 2.3.1. Iniciativas Norteamericanas: FEMA, ATC, otros.

Entre los primeros estudios realizados destaca por su importancia y aplicabilidad, la evaluación de daños sísmicos en instalaciones de California, USA, desarrollados por “the Federal Emergency Management Agency – FEMA” y “the Applied Technology Council – ATC” (ATC-13, 1985). En este trabajo, el inventario y procesamiento de datos, pérdidas y daños se fundamentó en la experiencia y juicio de reconocidos expertos, con la aplicación de metodologías coherentes que han permitido sistematizar los resultados en matrices de probabilidad de daño para 91 tipos de instalaciones. Se reconoce que el impacto que los daños en las instalaciones tienen sobre una comunidad deben ser determinados considerando la función social que desempeñan, por lo que introducen una clasificación funcional en la que destacan de manera específica las instalaciones destinadas a prestar servicios de salud, educación, servicios de emergencia, entre otros. Presentan además, interesantes estadísticas que permiten ratificar diferencias significativas en la importancia relativa de las edificaciones en términos de densidad ocupacional, equipamiento, costos de reposición, etc. La información contenida en este reporte representa un importante aporte, pues por primera vez y de manera sistematizada se presenta una recopilación de datos observados y procesados metodológicamente, constituyéndose en una referencia obligada para los sucesivos estudios de estimación de impacto de daños sísmicos sobre comunidades.

Siguiendo esta línea de investigación y sobre la base de la metodología y datos contenidos en el citado reporte, el FEMA promueve el desarrollo de una serie de herramienta fundamentadas en un modelo de simulación por ordenador, para la estimación de los daños y pérdidas sísmicos conocido como FEDLOSS (FEMA Earthquake Damage and Loss Estimation System) (Moore et al. 1985) y para la estimación del impacto económico conocido como FEIMS (FEMA Earthquake Impacts Modeling System). Estos modelos han continuado evolucionando, integrando sobre todo nuevas herramientas para el procesamiento de datos geográficos que han permitido el desarrollo del conocido HAZUS.

HAZUS es la principal herramienta del FEMA para la estimación de pérdidas debido a sismos potenciales. Constituye una metodología estandarizada basada en Sistemas de Información Geográfica (GIS) y orientada a promover la mitigación del riesgo sísmico y ayudar a las administraciones locales a prepararse para reducir el impacto de un sismo. Constituye una herramienta integrada que parte de la definición de un sismo hipotético. Una vez identificado la localización y el tamaño, el modelo estima las características del movimiento del terreno, el número de edificaciones dañadas, el número de víctimas, los daños en los sistemas de transporte, las interrupciones en los servicios de electricidad y

agua, el número de personas desplazadas y el costo estimado de reparación de los daños proyectados y otros efectos. Los datos requeridos por el sistema varían con el nivel de evaluación deseado; se contemplan tres niveles de evaluación. Los resultados fundamentalmente están orientados a estimar las pérdidas debidas a sismos (FEMA, 1999).

También es importante destacar el estudio conjunto NCEER-ATC sobre fragilidad de edificios (Anagnos et al., 1995), que constituye un importante complemento a los aportes del ATC-13 (1985), en el sentido que amplía y puntualiza la descripción de las clases de edificios realizada por el ATC-13, calibra las matrices de probabilidad de daños con los datos observados disponibles y desarrolla expresiones analíticas de las funciones de fragilidad asociadas a dichas matrices.

La efectividad de cualquier modelo de estimación de daños debe necesariamente venir acompañada de una verificación que exige contar con la capacidad y herramientas necesarias para realizar el reconocimiento de daños producidos por un evento sísmico y de las cualidades más relevantes de las edificaciones, lo que a su vez permitirá reajustar los modelos empleados. En este sentido, se han propuesto un significativo número de métodos para evaluar de manera rápida el nivel de riesgo sísmico de los edificios (FEMA 310, 1998). Una importante recopilación y evaluación comparativa de estos métodos se presenta en el ATC-21 (1988) que recomienda un formato verdaderamente simplificado, de fácil implementación, que ha servido de base para el levantamiento de información en diversos estudios y que se ha convertido en una referencia obligada en este tipo de actividades. Su aplicación se ha extendido inclusive a evaluar edificaciones esenciales, prueba de ello es el estudio realizado sobre más de 340 escuelas de la ciudad de Quito, Ecuador (Fernández et al., 1996) y la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones esenciales que incluyen, 202 escuelas, 22 hospitales y 74 estaciones de bomberos de los condados de Memphis y Shelby, Tennessee (Chang et al., 1995). De la misma manera ATC-20 (1989) presenta una metodología para la evaluación de la seguridad de edificios después de un evento sísmico que ha sido aplicada a diversas instalaciones esenciales entre las que destacan hospitales, edificios gubernamentales, etc. (ATC-20-3, 1989).

En cuanto al desempeño, diseño y reforzamiento sísmico de componentes no estructurales, destacan las iniciativas tomadas por la legislación norteamericana como consecuencia de los cuantiosos daños debidos al sismo de San Fernando, 1971 (Stahlin, 1997) para reducir el riesgo ante daños significativos en instalaciones esenciales tales como Hospitales. A través de una sucesión de disposiciones legales (OSHPD, 1998) se define una política de adecuación de la infraestructura existente, fundamentada en diferentes estándares de desempeño sísmico estructural y no estructural, que persigue como objetivo principal elevar el desempeño sísmico de “todas las instalaciones de salud” para garantizar antes de año 2.008, la seguridad de la vida de todos sus ocupantes y antes del año 2.030, la capacidad de las instalaciones de permanecer operativas después de un evento sísmico (Thiel et al., 1997).

En esta línea, diferentes iniciativas han sido desarrolladas en reconocimiento de la necesidad de desarrollar una nueva generación de procedimientos de diseño que garantice el apropiado desempeño sísmico de las edificaciones y en particular de las edificaciones esenciales. Una descripción y comparación de las diferentes metodologías se desarrolla en el reporte final del llamado *Comité VISION 2000* (SEAOC, 1995), donde entre otras cosas se puntualiza la definición de los niveles de desempeño, los niveles de la acción sísmica y los objetivos de diseño para instalaciones básicas, esenciales y críticas. En particular para

instalaciones esenciales (hospitales, estaciones policiales y de bomberos, centros de comunicación, centros de control de emergencias, etc.) se recomienda como objetivos de diseño que las instalaciones se mantengan en un estado de total operación ante sismos de naturaleza frecuentes a ocasionales, en un estado de operación aunque con daños ligeros ante un sismo de rara ocurrencia y que se garantice la vida de sus ocupantes aunque con daños moderados ante un sismo de muy rara ocurrencia. Un enfoque similar es desarrollado por el ATC-40 (1996) con la particularidad que la definición del nivel de desempeño sísmico de la edificación es función del nivel de desempeño de los componentes estructurales y no estructurales que le integran. Ambos enfoques exigen lo que se ha denominado un diseño por multi-objetivo, donde se espera la satisfacción de determinados niveles de desempeño para diferentes niveles de excitación sísmica. Sobre esta misma línea y en particular para edificaciones esenciales destacan las exigencias contenidas en el CBSC (1995) conocidas como el Título 24 del Código de California para escuelas, universidades y hospitales y las guías para el diseño sísmico de instalaciones esenciales del llamado Tri-Service (Freeman et al., 1984).

### **2.3.2. Iniciativas Europeas:** EC-Project SERGISAI, RISK-EU.

Diferentes grupos de trabajos europeos han focalizado sus esfuerzos hacia la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios y la evaluación del riesgo a diferentes escalas geográficas. En este sentido, reconociendo que la experiencia de sismos pasados y la evaluación de sus daños es fundamental en la definición de criterios de reforzamiento de viejos hospitales y en el diseño de nuevas instalaciones, una de las primeras tareas del programa sobre riesgo sísmico y mitigación en instalaciones hospitalarias (DGXII, 1997) fue emprender una amplia investigación sobre daños en hospitales debido a sismos importantes.

EC-SERGISAI (1998) representa uno de los principales aportes en esta línea de investigación. El proyecto desarrolla un modelo que permite implementar y sistematizar una metodología para el cálculo del riesgo sísmico a diferentes escalas geográficas. Ha sido aplicado a escala regional, en la región Toscana, Italia; a escala sub-regional en el área Garfagnana en Toscana, Italia y a escala local en parte de la ciudad de Barcelona, España. Las diferentes fases del análisis permiten obtener mapas que muestran el lugar y la intensidad de las pérdidas estimadas debidas a un sismo esperado. El carácter innovador del enfoque empleado es la introducción del concepto de vulnerabilidad sistémica y la idea de integrar los diferentes modelos de evaluación a través del uso de sistemas de información geográfica (GIS) y técnicas de inteligencia artificial, para obtener una eficiente herramienta de cálculo del riesgo sísmico que pueda ser usada por las administraciones en la prevención y mitigación sísmica (Zonno et al., 1998).

El reporte final del proyecto EC-SERGISAI (1998) presenta una aplicación a escala sub-regional en el área Garfagnana (Italia), para evaluar el desempeño de su sistema sanitario que está integrado por cuatro hospitales que totalizan 1025 unidades de cuidado. El sistema simula de manera bastante realista los sucesos durante la emergencia en el área, donde las víctimas acuden al hospital más cercano hasta su saturación, momento a partir del cual el paciente es remitido a la siguiente instalación. Se reportan mapas temáticos sobre la base de la reproducción de un sismo histórico ocurrido en el área Garfagnana en 1.920, así como parámetros relativos al desempeño de los hospitales, tales como, máximo tiempo de llegada al hospital, unidades de cuidados utilizadas, tiempo de saturación, etc.

En la actualidad y bajo el auspicio de la Comunidad Europea, se desarrollan importantes iniciativas en esta materia entre las que destaca, el proyecto Europeo actualmente en curso RISK-UE, que pretende crear una metodología general y modular para la evaluación de escenarios sísmicos, similar a la implementada con Hazus, pero específica para Europa, es decir, teniendo en cuenta las características particulares de las ciudades y pueblos del viejo continente. Aunque no dedica ningún apartado especial a los edificios esenciales, presta especial atención a las edificaciones que forman parte del patrimonio histórico. La metodología toma en cuenta de una manera sistemática la tipología de los elementos bajo riesgo y un análisis de su valor relativo y vulnerabilidad con miras a identificar los puntos frágiles del sistema urbano. Los resultados de cada escenario permitirán describir a través de figuras concretas el daño directo e indirecto para cada sismo posible que facilitarán el desarrollo de programas de gestión del riesgo sísmico que involucren la participación de diferentes instituciones (RISK-UE, 2001). El programa contempla la integración de varios equipos de trabajo europeos para aplicar la metodología desarrollada a siete ciudades de la unión europea y del este de Europa, caracterizadas por diferentes niveles de sismicidad (moderada, alta e intensa) para lo cual se han seleccionado las ciudades de Barcelona (España), Bucares (Rumania), Catania (Italia), Sofia (Bulgaria), Bitola (Yugoslavia), Thessaloniki (Grecia) y Niza (Francia).

De manera específica, el proyecto se fundamenta en las características particulares de las ciudades europeas establecidas sobre la base de la información aportada por organizaciones especializadas en el estudio del riesgo, gestión de la emergencia y manejo de la respuesta en caso de un evento sísmico, con particular atención en las características de los viejos centros urbanos donde generalmente se concentran los monumentos y edificios históricos y se densifican las redes de transporte. Partiendo de una apropiada identificación de las tipologías de las construcciones se pretende crear un inventario que permita clasificar las edificaciones de acuerdo con sus particularidades estructurales. Asimismo se pretende incorporar las líneas vitales (transporte, telecomunicación, agua, energía, etc.) en la evaluación de las pérdidas económicas indirectas, directas e individuales que no han sido consideradas en los estudios anteriores. La integración de estas bases de datos y su manejo a través de sistemas de información geográficos (GIS) fundamentadas en el enfoque sistémico del problema, constituyen los elementos más relevantes de este proyecto en desarrollo.

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios destacan como aportes relevantes los trabajos de Benedetti y Petrini (1984) que dan origen al llamado método del índice de vulnerabilidad, concebido para ser aplicado en edificios de mampostería no reforzada y extendido a edificios de hormigón reforzado no dúctiles. El método consiste en identificar los parámetros más importantes que controlan el daño en edificios causados por acciones sísmicas, calificados individualmente sobre una escala numérica y afectados por un factor de peso que trata de enfatizar la importancia relativa del parámetro. Este método ha sido desarrollado y aplicado extensiblemente en varias zonas sísmicas de Italia y está basado en una gran cantidad de datos observados. De hecho, ha sido adoptado por el “Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti” como el procedimiento oficial para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios en Italia (GNDDT, 1990). Este procedimiento contempla un reconocimiento de las edificaciones a través de dos formatos de evaluación predefinidos. El formato de primer nivel, es común a edificios de mampostería y de hormigón armado y contiene datos relativos a la localización, geometría y tipología de la edificación, así como la extensión y nivel de daño observado. El formato de segundo nivel depende de la tipología estructural y está orientado a la determinación del

índice de vulnerabilidad. Este índice representa una medida relativa de la propensión al daño, de manera que para estimar el daño de manera absoluta, es necesario establecer un modelo de vulnerabilidad correlacionando el nivel de daño, la calidad del edificio referida a través del índice de vulnerabilidad y el parámetro utilizado para medir la severidad del movimiento sísmico. Este modelo generalmente se expresa en términos de las funciones de vulnerabilidad o a través de las matrices de probabilidad de daño. Estos formatos representa en Italia un papel de referencia que unifican los criterios de observación de datos, sin embargo el procesamiento ha sido desarrollado sobre la base de diferentes esquemas (De Stefano et al., 1999). Su aplicación ha servido de base para desarrollar interesantes estudios de vulnerabilidad sísmica y evaluación del riesgo en viejos núcleos urbanos de Italia (Benedetti et al., 1988).

En este sentido, interesantes experiencias han sido adelantadas en España con el objeto de obtener funciones de vulnerabilidad observada, sobre la base de un estudio post-sísmico de dos eventos ocurridos en la región de Almería, aunque limitada a una intensidad VII MSK. La extensión a otros niveles de intensidad ha sido posible a través de un proceso de simulación y calibración con la función de vulnerabilidad observada. Estos resultados han servido de base para su aplicación en la ciudad de Barcelona, España, permitiendo la obtención de diferentes escenarios de daños (EC-SERGISAI, 1998).

De manera análoga, Braga et al. (1982) presenta un estimado de la vulnerabilidad estructural en término de matrices de probabilidad de daño, obtenidas por el procesamiento estadístico de una importante base de datos de edificios dañados, levantada siguiendo los formatos antes señalados y representada por más de 30.000 edificios ubicados a diferentes distancias del epicentro del sismo de Irpinia (Magnitud 6.9 del 23/11/1980). Estas matrices de probabilidad de daño fueron ratificadas posteriormente (Braga et al., 1986), al extender la base de datos en otros 15.000 edificios afectados por los sismos de Abruzzo (Magnitud 5.4 del 7-11/05/84). Estas matrices constituyen un importante soporte fundamentado en datos observados, aunque limitados a la tipología constructiva de esas regiones.

De manera específica, para edificaciones esenciales y en particular para hospitales, destacan los trabajos de Monti y Nuty (1996), quienes presentan un procedimiento para calcular la integridad funcional de un hospital ante un sismo dado a partir de la probabilidad de interrupción de cada uno de sus servicios. El método considera al hospital como un sistema multifuncional. Permite identificar elementos o fuentes potenciales de daño (estructural, no estructural y de equipamiento) y evaluar diferentes estrategias de intervención, reforzamiento o rehabilitación. De manera que a cada hospital puede asignarse una curva de probabilidad de falla del sistema como una función del tamaño del sismo y de la estrategia de intervención (Monti et al., 1996). Su aplicación se ha implementado en diferentes hospitales de Italia (Ferrini et al., 2000).

Utilizando como base esta manera de describir la fragilidad de los hospitales, Nuti y Vanzi (1998a, 1998b), proponen un modelo para evaluar el comportamiento regional del sistema de hospitales ante un evento sísmico. Dicho modelo constituye la extensión de una metodología aplicada a redes eléctricas (Vanzi, 1996) y en la cual se integra un modelo de sismicidad con simplificados modelos de fragilidad de edificaciones y de víctimas, sobre una base de datos territoriales que permiten a través de la definición de índices apropiados cuantificar el desempeño del sistema hospitalario regional y la incidencia de las diferentes estrategias de intervención sobre los hospitales. Este procedimiento ha dado lugar al desarrollo del programa GHOST (Nuti y Vanzi, 1999) que ha sido adoptado de manera

integra por el ATC (ATC-51, 2000) y constituye uno de los principales enfoques hasta ahora propuestos para estudiar el desempeño sísmico del sistema sanitario a nivel regional. GHOST es un programa de ordenador que permite modelar la respuesta de un sistema sanitario regional ante un evento sísmico; el desempeño del sistema se cuantifica a través de un índice asociado a la distancia recorrida por afectado a través del sistema y el desempeño de cada hospital se cuantifica en función del coeficiente de ocupación y el número de camas perdidas.

### **2.3.3. Otras experiencias**

Una evaluación crítica de las diferentes estrategias empleadas en los códigos de diseño sísmico para la reducción de la vulnerabilidad de los hospitales es presentada por Grases J. (1990). Se destaca la variabilidad del factor de importancia asignado a los hospitales en los diferentes códigos latinoamericanos como estrategia habitual empleada para incrementar las fuerzas de diseño con miras a reducir los daños potenciales debido a sismos futuros. Se propone un esquema para la selección de la acción a ser considerada en el diseño o evaluación de este tipo de infraestructura, basada en determinados niveles de desempeño esperado siguiendo el esquema propuesto en otras instalaciones como plantas nucleares y presas. Una particularización para el caso del código sísmico venezolano vigente entre los años 1982-1998 (Grases, 1992) demuestra la inconsistencia de emplear valores constantes del factor de importancia independiente del nivel de riesgo considerado y la necesidad de impulsar como metodología el diseño basado en multi-niveles de resistencia asociados a los diferentes niveles de desempeño esperado.

Entre los aportes orientados a evaluar la vulnerabilidad sísmica no estructural de instalaciones sanitarias, destaca un método de evaluación cualitativo (Guevara et al., 1996) fundamentado en los aspectos configuracionales arquitectónicos y funcionales de sistemas y componentes no estructurales, cuya aproximación a través de diferentes niveles de evaluación ha hecho posible su aplicación al llamado “distrito médico” de la ciudad de Caracas, Venezuela (Guevara, 1996). Sobre esta base, se ha propuesto un método para la evaluación y diagnóstico de la vulnerabilidad funcional de hospitales existentes afectados por un evento sísmico (Guevara y Alvarez, 2000).

Entre las diversas experiencias en esta línea de investigación, destaca el esquema de identificación de daños en edificios de hormigón reforzado, propuesto por el JBPDA – “Japan Building Disaster Prevention Association”, quienes categorizan el nivel de daño en las edificaciones a través de un índice que toma en cuenta los daños observados en miembros estructurales. Este esquema se desarrolla en dos niveles de evaluación y constituye una norma para la evaluación de los daños en edificaciones de Japón, que ha sido aplicada para clasificar los daños en más de 700 escuelas de las ciudades de Kobe y otras ciudades afectadas por fuertes movimientos sísmicos (Okada et al., 2000).

Otra experiencia en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares ha sido implementado en la ciudad de Quito, Ecuador, donde destaca la definición de un criterio propio de reforzamiento, de acuerdo a los niveles de daños esperados para tres niveles de movimiento sísmico predefinidos (Fernández et al., 1996). Este tipo de evaluaciones se han extendido inclusive a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de iglesias (Uzategui, Montilla, 1996). Asimismo, existen diversos manuales de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones (Rodríguez, Castrillón, 1995).

## 2.4. RESUMEN Y DISCUSIÓN

La síntesis realizada sobre los daños observados en edificaciones esenciales ponen de manifiesto un balance *negativo*, inclusive con sismos moderados, que nos permite afirmar que no han sido satisfechos los objetivos planteados. De hecho, la trascendente función que deben prestar las edificaciones esenciales en la atención de crisis sísmicas no está garantizada con las estrategias hasta ahora empleadas en la concepción, diseño y construcción de este tipo de edificaciones. Esta situación toma mayor relevancia si se reconoce que cada región, conforme a su propia sismicidad y a las características de su propio parque de edificaciones instaladas, tiene un nivel de riesgo sísmico implícito, que en la mayoría de los casos es totalmente desconocido y que se pone de manifiesto cada vez que una crisis sísmica hace su inoportuna aparición. De aquí la importancia de contar con alternativas y metodologías manejables que impliquen modelos prácticos para identificar, calificar y valorar las condiciones particulares a las cuales cada región está expuesta, con diferentes grados de aproximación, que permitan de una manera racional y efectiva implementar programas de intervención o mejoramiento de instalaciones existentes, que redunden en una política efectiva de mitigación del riesgo sísmico.

La mayoría de las referencias que describen daños en edificaciones esenciales dirigen su atención a la descripción de los daños físicos a los cuales ha sido objeto, dejando en un segundo plano la descripción de su participación en la atención de la crisis sísmica, no solo en lo particular, sino como parte de un sistema integrado de atención de la emergencia, con lo cual se pierde la oportunidad de calificar su actuación y por ende valorar su verdadera importancia. De allí que sea necesario al momento de describir las consecuencias de un evento sísmico tener una visión sistemática del problema, con especial atención al nivel de interrelación que hay entre cada uno de los componentes que participan en la atención de la crisis sísmica, lo cual contribuirá a un mejor interpretación del problema. Cada una de estas experiencias deberá ir conformando la base para el ajuste de modelos que intenten predecir la evolución en la atención de un crisis sísmica, sin embargo por ahora, los modelos deben ajustarse a planteamientos que a veces poco tienen que ver con la realidad y que mas bien se ajustan al sentido común. Así vemos la aparición de modelos predictivos, más o menos sofisticados, desarrollados sobre la base de alguna experiencia previamente recogida y la “opinión de expertos” que intentan dar respuestas al problema planteado. Estos modelos se fundamentan en tres pilares fundamentales; un modelo predictivo de la amenaza sísmica, un modelo que permita correlacionar los efectos con las causas y finalmente, un modelo de estimación de pérdidas.

La estimación de pérdidas debidos a sismos futuros es esencial para la toma de apropiadas decisiones en la mitigación de riesgos tanto a nivel local, regional y nacional. Constituyen la base para el desarrollo de políticas de mitigación de pérdidas futuras, el desarrollo de planes de emergencia, planes de respuesta y planes para la atención y recuperación de los desastres sísmicos. En la mitigación, la estimación de pérdidas futuras, proporciona las bases para la planificación, zonificación, el desarrollo de regulaciones y códigos de diseño, así como las políticas orientadas a reducir el riesgo sísmico. En lo referente a preparación, es esencial la comprensión del alcance y complejidad de los daños sísmicos en edificios, víctimas e interrupción de servicios; estos estimados pueden ser la base para el desarrollo de planes de emergencia, así como la organización de ensayos y ejercicios de respuesta ante un sismo. La estimación de pérdidas puede constituir una importante herramienta para soportar decisiones durante el período de respuesta o atención después de un sismo real, ya que puede ayudar a administrar la emergencia, identificando

áreas dañadas y proporcionando rápidos estimados de daños y víctimas del evento, o bien, proyecciones de daños, pérdidas, damnificados y estimados de recursos necesarios para la atención de las víctimas. Una rápida respuesta ante daños sísmicos redundará en una reducción de pérdida de vidas, complicación de afectados y daños secundarios.

Finalmente, las leyes causa-efecto deben ser capaces de predecir los niveles de daños esperados para diferentes niveles de la acción sísmica. Ello implica la evaluación de la vulnerabilidad sísmica desde un punto de vista global; es decir, tanto físico como funcional, en el marco de los conocimientos y metodologías ampliamente desarrollados y conocidos, que permiten con diferentes grados de aproximación, identificar la predisposición al daño de cada uno de estas instalaciones. En general, no existe una metodología específica para evaluar el daño físico directo de un edificio esencial, usándose los métodos de evaluación para edificios convencionales. Sin embargo, los códigos sísmicos dan un tratamiento específicos a las edificaciones de especial importancia, por lo que, en principio, deben ser edificios sísmicamente más protegidos. Por otra parte, los estudios y trabajos sobre el daño funcional de edificios esenciales son pocos y los que consideran el sistema esencial de un país, región o comunidad como un todo, aún menos y es ahí donde se produce la principal aportación del presente trabajo, que contiene elementos de inventario generales y detallados de todos y cada uno de los hospitales de Cataluña, proponiendo una estrategia específica de evaluación de la vulnerabilidad y del daño sísmico de los edificios esenciales, con metodologías de diferentes niveles en función de un factor de importancia del hospital dentro del sistema sanitario regional, una evaluación del daño funcional inducido por causa del daño físico directo y, finalmente, la evaluación del comportamiento global del sistema para distintos escenarios sísmicos probables.