

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica
Programa de doctorado: Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural

Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales

Tesis doctoral presentada para optar al grado de doctor
por la Universidad Politécnica de Cataluña

Autor:

Jairo Andrés Valcárcel Torres

Directores:

Dr Alex H. Barbat
Dr Omar D. Cardona
Dr. Luis G. Pujades

Tutor:

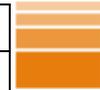
Dr Luis G. Pujades

Barcelona, 1 de febrero de 2013

Anexo A: Formularios para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de centros educativos

En este Anexo se presentan los Formularios para la evaluación de la vulnerabilidad de centros educativos, considerados útiles para realizar inspecciones visuales rápidas y recopilar información de interés para el análisis de vulnerabilidad y estimación de daños. A su vez, se presentan se presentan guías y documentos técnicos para rellenarlos.

- *Formulario 1*: permite recopilar información general de las instalaciones en cuanto a su dirección, personal de contacto, servicios ofrecidos.
- *Formulario 2*: permite recopilar información sobre las propiedades estructurales de los edificios
- *Instrucciones para rellenar los formularios*: en este documento se presentan guías para rellenar los campos incluidos en los Formularios 1 y 2, en cuanto a la información solicitada y criterios de calificación.
- *Anexo Técnico*: en este documento se presentan mayores detalles e información de soporte para rellenar el Formulario 2, en cuanto a la clasificación de los sistemas constructivos, el tipo de forjado, las irregularidades en planta y en altura, entre otros detalles estructurales.



| Información general y ubicación | |
|---|---|
| Nombre del centro (*) | |
| Página web | |
| Persona de contacto (*) | Nombre (*) |
| | e-mail (*) |
| Dirección (*) | Calle (*) |
| | Número (*) |
| | Municipio (*) |
| | Código postal (*) |
| | Teléfono (*) |
| Comarca | |
| Servicios territoriales (*) | |
| Número de edificios del centro (*) | |
| Oferta de servicios | |
| Tipos de Centro (*) | <input type="checkbox"/> Público <input type="checkbox"/> Privado |
| | <input type="checkbox"/> ESO (Ed. Sec. Obligatoria) <input type="checkbox"/> Hogar de infantes |
| | <input type="checkbox"/> Bachillerato <input type="checkbox"/> Parvulario |
| | <input type="checkbox"/> FP de grado medio <input type="checkbox"/> Educación primaria |
| | <input type="checkbox"/> Educación especial <input type="checkbox"/> Otros (especificar al reverso) |
| Número de plazas (*) | |

| Vista en planta del centro |
|---|
| Croquis de la planta del centro: |
| |

(*) Campos obligatorios.

(**) Campos a rellenar por personal técnico.

FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO ^Ψ

| | | | | | |
|-----------------|--|------------------------|--|--|--|
| Centro | | | | | |
| Edificio | | Edificio número | | Número total de edificios del centro E. | |

| | | | | | |
|--|--|-------|--|---------------|--------------|
| Área total (m²) | | | | | |
| Número de plantas del edificio | | Total | | Sobre rasante | Bajo rasante |
| Valor catastral | | | | | |
| Valor de los equipos y contenidos | | | | | |

Año o periodo de construcción

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| Año de construcción | | | | | |
| Periodo de construcción | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Antes de 1962 | <input type="checkbox"/> Entre 1975 y 1994 | <input type="checkbox"/> Después del 2002 | | | |
| <input type="checkbox"/> Entre 1962 y 1974 | <input type="checkbox"/> Entre 1995 y 2002 | <input type="checkbox"/> Sin información | | | |

Tipología estructural

| | | | |
|---|--------------------------|--|---|
| Muros de carga de mampostería ¹ no reforzada | <input type="checkbox"/> | M3.3 | Con forjados mixtos de acero y mampostería |
| | <input type="checkbox"/> | M3.4 | Con forjados de losas de hormigón armado |
| Estructuras de hormigón ² armado | <input type="checkbox"/> | RC 3.1 | Estructuras regulares con tabiquería de mampostería |
| | <input type="checkbox"/> | RC 3.2 | Estructuras irregulares con tabiquería de mampostería |
| Estructura metálica | <input type="checkbox"/> | S1 | Estructuras metálicas resistentes al momento |
| Otros | <input type="checkbox"/> | Especificar en el reverso de esta hoja | |

Detalles estructurales

| | | | |
|--|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Irregularidad en planta | <input type="checkbox"/> Baja | <input type="checkbox"/> Mediana | <input type="checkbox"/> Alta |
| Irregularidad en altura | <input type="checkbox"/> Baja | <input type="checkbox"/> Mediana | <input type="checkbox"/> Alta |
| Pilar corto | <input type="checkbox"/> Sí | <input type="checkbox"/> No | |
| Posibilidad de golpeteo | <input type="checkbox"/> Sí | <input type="checkbox"/> No | |
| Muros con aberturas excesivas | | | |
| (Sólo en caso de edificios que tengan muros de carga, muros pantalla a cortante o similares, evaluar si existen muros con aberturas excesivas) | | | |
| | <input type="checkbox"/> Sí | <input type="checkbox"/> No | |

^Ψ Ver las instrucciones para rellenar el Formulario 2.

^(**) Campos a rellenar por personal técnico de soporte

¹ El término *mampostería* tiene un sentido amplio que incluye las fábricas hechas con piedras o ladrillos pero principalmente nos referimos aquí a la obra de fábrica de tocho o ladrillo macizo.

² Típicamente, las estructuras de los edificios de *hormigón armado* en Cataluña tienen pilares y forjados de losas de hormigón. Entre las losas de hormigón son típicas las losas aligeradas con casetones y armadura bidireccional. Estos tipos de forjados se denominan también *forjados reticulares*.



Daños previos

Asentamientos diferenciales Sí No

Fisuras en elementos estructurales Sí No

Otros Especificar: _____

Reformas estructurales

Reformas estructurales para reparar el edificio Sí No

Reformas estructurales para redistribuir espacios Sí No

Especificar, si es posible, las características y años de las intervenciones:

Otras tipologías estructurales ^(**)

| | | | |
|---------------------|--------------------------|------|---|
| Mampostería | <input type="checkbox"/> | M3.1 | Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera |
| | <input type="checkbox"/> | M3.2 | Muros de carga de mampostería no reforzada con bóvedas de mampostería |
| | <input type="checkbox"/> | M4 | Muros de carga de mampostería reforzada o confinada |
| | <input type="checkbox"/> | M5 | Edificio de mampostería rehabilitado |
| Hormigón armado | <input type="checkbox"/> | RC1 | Estructuras de hormigón resistentes a momento |
| | <input type="checkbox"/> | RC2 | Muros de cortante de hormigón armado |
| | <input type="checkbox"/> | RC4 | Sistemas duales con muros y pórticos de hormigón armado |
| | <input type="checkbox"/> | RC5 | Muros de hormigón prefabricado |
| | <input type="checkbox"/> | RC6 | Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de hormigón |
| Estructura metálica | <input type="checkbox"/> | S2 | Estructuras metálicas arriostradas |
| | <input type="checkbox"/> | S3 | Estructuras metálicas con tabiquería de mampostería no reforzada |
| | <input type="checkbox"/> | S4 | Estructuras metálicas con muros de cortante de hormigón colocados "in situ" |
| | <input type="checkbox"/> | S5 | Sistemas o estructuras mixtas de acero y hormigón armado |
| Madera | <input type="checkbox"/> | W | Estructuras de madera |

Observaciones

Instrucciones para rellenar los formularios para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos UPC-IGC

El objetivo de este documento es proporcionar pautas para rellenar los formularios de recogida de información general básica (Formulario 1) y datos más específicos del edificio (Formulario 2). Estos datos se orientan al análisis de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos de acuerdo a un método simplificado. Denominaremos este método como *Método de Nivel 2 Simplificado* (N2S). El método N2S hace uso de espectros de capacidad y matrices de probabilidad de daño y fue propuesto en el año 2007 por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) a partir de las aportaciones del proyecto Risk-UE y por encargo del Instituto Geológico de Cataluña (IGC). Una aplicación eficiente del método N2S requiere disponer de información que permita clasificar los edificios de acuerdo a tipos estructurales. Esta información puede contener aspectos técnicos relacionados con la arquitectura y el análisis estructural; en consecuencia, se prevé que en el proceso de recogida de datos participe personal técnico experto. Por este motivo es importante que haya una persona de contacto para coordinar esta primera fase informativa del proceso de análisis sísmico del centro educativo. Los formularios 1 y 2 pueden contribuir a que la recogida de estos datos sea sencilla. Así entonces, estas instrucciones son una ayuda para rellenar ambos formularios y por lo tanto, contienen información sobre las propiedades relevantes que se pretenden caracterizar. El Formulario 1 ha de permitir identificar y situar el centro en el territorio, conocer si se aloja en un solo edificio o tiene una estructura modular y determinar el tipo de estudios y niveles educativos que imparte, así como tener una estimación del valor económico. El Formulario 2 recoge información sobre las principales características estructurales, arquitectónicas y geométricas de los edificios que componen el centro y ha de permitir cuantificar su vulnerabilidad sísmica, por lo cual hace falta establecer su clasificación de acuerdo a las tipologías estructurales estándar. Se muestra a continuación una breve descripción de los formularios. Después siguen las instrucciones para rellenar sus campos.

> **Formulario 1: datos básicos del centro educativo.**

Esta información ha de permitir crear un registro de información general de los centros educativos. A partir de este formulario se podrá establecer un referente de los valores expuestos, incluyendo, para cada centro, información sobre el número de edificios que lo componen, los tipos y niveles de enseñanza que imparten, sobre su capacidad y sobre su valor económico.

> **Formulario 2: datos de la estructura de los edificios.**

A partir de esta información se establecen criterios que permiten clasificar el edificio de acuerdo a las tipologías estructurales previstas en el método N2S.

Instrucciones para rellenar el formulario 1: Datos básicos del centro educativo^{3,4}

El objetivo del Formulario1 es identificar los datos generales del centro, en particular aquellos que hacen referencia a su ubicación en el territorio y a los servicios territoriales a los cuales pertenecen, a su capacidad y al tipo y niveles de estudios que ofrecen. Hace falta conocer también si el centro educativo se aloja en un solo edificio o tiene una estructura modular. Aún así se considera vital disponer de una persona de contacto para recoger otra información complementaria que se pueda considerar adecuada.

| Campo | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| <i>Nombre del centro educativo</i> | Denominación oficial del centro educativo. |
| <i>Página web</i> | Dirección URL de la página electrónica del centro. |
| <i>Persona de contacto</i> | Se solicita el nombre y los datos de contacto de una persona que pueda dar soporte al personal experto para recoger la información complementaria (si es el caso) Es recomendable que la persona de contacto sea la misma persona responsable de rellenar el formulario. |
| <i>Dirección</i> | Dirección completa incluyendo como mínimo: calle, número, municipio, código postal y teléfono de atención al público o centralita. |
| <i>Comarca</i> | Comarca a la cual pertenece el municipio en donde se encuentra el centro. |
| <i>Servicios Territoriales</i> | Servicios Territoriales a los que pertenece el centro, de acuerdo a las regiones que establece el Departamento de educación ³ de la Generalitat de Catalunya en su organigrama. |
| <i>Número de edificios del Centro</i> | Es necesario distinguir si el centro se aloja en un solo edificio o se compone de diferentes módulos. En éste último caso hace falta emplear la parte de observaciones para indicar las características principales y la importancia de los diferentes módulos en el funcionamiento del centro. |
| <i>Tipo de centro</i> | Es necesario indicar si el centro es privado o público y los tipos y niveles de estudios que ofrecen. Eventualmente en este apartado se pueden señalar varias casillas cuando el centro imparta diferentes niveles o diferentes tipos de estudio. Si se marca la casilla <i>otros</i> es necesario especificar en el espacio reservado para observaciones al respaldo. |
| <i>Número de plazas</i> | Número total de alumnos del centro. |
| <i>Vista en planta del centro</i> | Croquis esquemático de la planta de los edificios. Hace falta también asignar un identificador a cada edificio. Este identificador se usa en el formulario 2. |

³ La terminología empleada en referencia a los tipos de estudios y a los niveles formativos se ha adaptado a la información disponible en el apartado “*Consulta de centres educatius*” de la página web del Departamento de Educación de la Generalitat de Catalunya. <http://www20.gencat.cat/portal/site/Educacio> [Consulta: 21 Abr. 2010].

⁴ Generalitat de Catalunya. Equipamientos [en línea]. Buscador de equipamientos de Cataluña. Disponible en: <http://www20.gencat.cat/portal/site/Equipaments>. [Consulta: 07 Feb. 2010].

Instrucciones para rellenar el formulario 2

Datos sobre la estructura

El objetivo del Formulario 2 es identificar y caracterizar las propiedades estructurales de cada uno de los edificios que componen el centro con el fin de analizar su vulnerabilidad y fragilidad sísmica. Por esta razón es importante indicar cuántos edificios pertenecen al centro. Es necesario rellenar un Formulario 2 para cada edificio. Como se ha comentado más arriba, este formulario contiene información técnica y se prevé la participación de personal de soporte, experto en estructuras, para esta primera fase de recogida de información. Es por esto que es importante que, en el Formulario 1, se faciliten los datos de una persona de contacto a quién se pueda dirigir el técnico de soporte. Se recomienda que la persona de contacto coincida con la persona del centro, responsable de rellenar los formularios. Se dan a continuación las instrucciones y pautas para ayudar a rellenar los diferentes campos de este segundo formulario.

Centro

Denominación oficial del centro. Ha de coincidir con el nombre del centro del Formulario 1.

Edificio

Identificación del edificio: nombre, código o palabra clave que permita identificar, sin ambigüedad, el edificio. Hace falta usar la misma clave que en el croquis del Formulario 1, indicando el número de orden del edificio al cual corresponde el formulario y el número total de edificios que componen el centro educativo. El nivel del estudio de vulnerabilidad y la fiabilidad de los resultados dependen del grado de información disponible sobre el edificio. Es importante que la persona de contacto pueda facilitar al personal técnico de soporte el acceso a la documentación gráfica del edificio, que puede incluir fotografías y planos estructurales y arquitectónicos.

Área total (m²)

Superficie total construida del edificio, en unidades de metros cuadrados.

Número de plantas del edificio

Se debe establecer el número total de plantas del edificio, diferenciando entre el número de plantas sobre rasante (incluyendo la planta baja) y el número de plantas bajo rasante.

Valor catastral

Valor catastral del edificio, en euros (€).

Valor de los equipos y contenidos

Valor estimado en euros (€) de los equipos y contenidos del centro, incluyendo, entre otros, los equipos y material docentes, el mobiliario, la infraestructura informática y el material de oficina.

Año o periodo de construcción

Año en el cual fue construido el edificio. Si no se conoce, marque la casilla del periodo que corresponda. En caso de que no se conozca tampoco el periodo, marque la casilla “sin información”.

Tipología estructural

En este apartado, es necesario escoger el tipo de estructura que representa de manera adecuada al edificio, de acuerdo a la matriz de tipos estructurales de los edificios típicos de Europa que se estableció en el marco del proyecto Risk UE y que se resume en el Anexo Técnico. Estas tipologías constructivas se definieron principalmente por medio de la combinación de propiedades estructurales y geométricas.

El material constructivo, el sistema resistente a cargas verticales y horizontales y el tipo de forjado se consideran propiedades estructurales. El número de pisos y la altura del edificio son propiedades geométricas. Este apartado hace referencia a las propiedades estructurales. Más abajo se consideran otras propiedades. En el caso que el edificio no encaje en las estructuras más frecuentes que hay en este apartado, hace falta señalar la casilla “*otras*”. En el reverso de la hoja encontrará otras tipologías constructivas, menos frecuentes al caso nuestro que, eventualmente, pueden corresponder mejor a su centro. En el Anexo Técnico se entrega una relación completa de la matriz de tipos constructivos y también información más detallada y cuantitativa para ayudar en este importante proceso de asignación de tipos al edificio. Un error en la asignación de la tipología estructural puede desajustar todo el estudio, por tal motivo se insiste en la necesidad de que el personal del centro y el personal técnico experto se coordinen.

Detalles estructurales

Además de la clasificación del edificio en una tipología estructural, es necesario recoger información sobre otras características asociadas a la configuración arquitectónica de los edificios, incluyendo la geometría en planta y en altura, así como otros detalles estructurales de interés para el análisis de su respuesta sísmica. En este apartado es necesario definir las principales características que pueden afectar el comportamiento dinámico del edificio. Esta definición se puede hacer con base en modelos simplificados pero, en caso de duda, en el Anexo Técnico se encuentran criterios más cuantitativos, ejemplos, ilustraciones y otros criterios que pueden ser de utilidad para definir estos detalles estructurales.

Irregularidad en planta

Marque la casilla “*Baja*” cuando la planta es rectangular, la relación entre la longitud máxima y la longitud mínima de la planta es menor que cuatro y la distribución de masas y rigideces es homogénea. Marque la casilla “*Mediana*” en el caso que la planta del edificio tenga entrantes o salidas de una longitud inferior al 20% de la longitud máxima de una hipotética planta rectangular que cumple la condición de regularidad anterior. Marcar la casilla “*Alta*” en cualquier otro caso.

Irregularidad en altura

Marque la casilla “*Baja*” cuando no se observen cambios bruscos de masa o rigidez entre diferentes niveles del edificio. Marque la casilla “*Alta*” cuando el edificio tenga una planta más alta que las restantes o cuando haya discontinuidades o interrupciones de elementos verticales resistentes. Marque la casilla mediana en cualquier otro caso.

Pilar corto

Marque la casilla “*Sí*” cuando se identifiquen pilares o secciones de pilares, cuya altura sea inferior al 30% de la altura de la planta o piso. (Ver también el Anexo Técnico).

Posibilidad de golpeteo

Marque la casilla “*Sí*” cuando la separación entre dos edificios contiguos sea inferior al producto $D \times N$, en donde D vale 3 cm y N es el número de plantas del edificio más bajo. En caso de edificios de igual altura, N es el número de plantas de cualquiera de los dos edificios.

Muros con excesivas aberturas

Marque la casilla “*Sí*” cuando la superficie de las aberturas es igual o mayor que el 50 % de la superficie del muro.

Daños existentes

En este apartado se trata de establecer la pérdida de capacidad resistente del edificio por causa de deformaciones del terreno o por causa del deterioro de elementos estructurales.

Asentamientos diferenciales

Marque la casilla “Sí” cuando se observen hundimientos de diferente profundidad entre, al menos dos, es a decir dos o más, secciones del edificio.

Fisuras en elementos estructurales

Marque la casilla “Sí” cuando se observen fisuras en elementos estructurales.

Reformas estructurales

Se trata de identificar intervenciones en, o reformas del edificio que puedan haber producido cambios significativos en el sistema resistente de la estructura.

Reformas estructurales para reparar el edificio

Marque la casilla “Sí” cuando la reforma se haya efectuado para reparar el edificio.

Reformas estructurales para redistribuir espacios

Marque la casilla “Sí” cuando se considere que las intervenciones para redistribuir los espacios del edificio hayan afectado elementos estructurales.

Otras tipologías estructurales

Es necesario rellenar este apartado sólo en los casos en los cuales la estructura del edificio sea diferente de las propuestas en el apartado destinado a identificar la tipología estructural. Se insiste en la importancia de una participación explícita y directa de un técnico de soporte, con conocimientos de estructuras, en la definición y asignación de la tipología estructural del edificio. Este aspecto es particularmente relevante cuando se trata de un tipo de edificio poco frecuente. En el Anexo Técnico se entrega información específica de soporte.

Anexo Técnico

Documento de soporte para rellenar los formularios para el análisis de la vulnerabilidad sísmica física de los centros educativos UPC-IGC

Introducción

Este Anexo Técnico complementa las instrucciones para llenar los formularios para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de centros educativos y aporta otros aspectos conceptuales, cualitativos y cuantitativos relacionados con las características de los edificios. La palabra **Edificio**⁵ significa *hacer fuego* y proviene de la palabra indoeuropea *æde* (*fuego*) y del latín *facere* (*hacer*). Nos estamos refiriendo directamente a este significado cuando hablamos de la palabra *hogar*. Ambas palabras recuerdan el refugio y habitáculo rudimentario de nuestros antepasados en el cual se mantenía vivo un fuego que no era nada fácil de encender. Más cerca de la idea de edificio en el contexto que nos ocupa es la acepción inglesa *building* que significa *cualquier estructura hecha por el hombre*. Así, cuando hablamos de *edificios* nos referimos a un amplio abanico de construcciones que incluyen, además de las viviendas, aquellas otras que se diseñan para acoger diferentes actividades destinadas a servicios básicos, como la sanidad y el enseñamiento, pero también a otras funciones como, por ejemplo, aquellas relacionadas con la industria, el comercio, la religión, la cultura y el esparcimiento. Hoy en día, los edificios son de una considerable complejidad técnica y pueden incorporar, en su diseño y construcción, aspectos arquitectónicos y artísticos que van más allá de su función. Aún así la construcción de edificios singulares se ha convertido en un reclamo de prestigio y exclusividad distintiva de ciudades y culturas. Estos edificios son excepcionales. La clasificación de los edificios normales se suele basar en los *materiales constructivos*, en el *sistema básico resistente a cargas* verticales y horizontales, en los *forjados*, y en *otras propiedades*, entre las que se destacan las características *arquitectónicas* y *geométricas* relacionadas con su estética y con su configuración en planta y en altura. Con mayor o menor medida, todas estas características afectan la respuesta sísmica de los edificios. Las clasificaciones de edificios permiten agrupar los edificios en características similares y simplificar los estudios que requieran valoraciones estadísticas de grandes poblaciones de inmuebles. Una clasificación de edificios se denomina *matriz tipológica*. Al final de este documento se muestra la matriz de tipologías establecida en el proyecto Risk UE (Lungu et al. 2003) que permite identificar los edificios típicos de Europa. Así entonces, el objetivo de este documento es proporcionar información que permita poner un edificio concreto dentro de unas de las clases de esta matriz. Aún así, un análisis cuidadoso de la vulnerabilidad sísmica de un edificio requiere conocer su grado o nivel de protección sísmico para lo cual puede ser suficiente saber su fecha de construcción. En estos casos es fundamental conocer la normativa vigente, el grado de seguimiento y el control de su cumplimiento. Así entonces se describen aquí los principales sistemas resistentes, los materiales constructivos y los tipos de forjados de uso frecuente en la construcción, pero también se presentan criterios y fórmulas cuantitativas que han de permitir establecer otras propiedades geométricas y sismo resistentes de los edificios que alojan centros educativos.

Sistemas resistentes a cargas

La estructura de un edificio es un conjunto de elementos que interaccionan con el objetivo de distribuir y resistir las cargas internas y externas que se espera soporte durante su vida útil. El

⁵ Edificio: fuente <http://es.wikipedia.org/wiki/Edificio>.

sistema resistente a cargas, hace referencia al conjunto de elementos que conforman la estructura del edificio, así como a su distribución e interacción para garantizar su estabilidad y resistencia frente a las acciones gravitacionales y eventuales fuerzas laterales. Pueden existir muchos sistemas resistentes a cargas pero los más frecuentes cuando se habla de edificios son: los pórticos resistentes a momento, los pórticos arriostrados, los muros de carga o muros resistentes y los sistemas duales.

Pórticos resistentes a momento

Los elementos básicos de este sistema estructural son pilares y vigas que se unen para formar pórticos que soportan las cargas verticales y horizontales. Los puntos de unión pilar – viga, se denominan nudos. En este edificio los diafragmas transfieren y distribuyen las cargas entre los pórticos. En una inspección visual rápida de este tipo de edificios se observan patrones de mallas rectangulares en las fachadas y/o grandes aberturas para las ventanas en todos los costados del edificio. La Figura A 1 muestra un ejemplo de edificio de pórticos resistentes a momento. Una descripción más detallada de la estructura puede requerir identificar si los vacíos de los pórticos están llenos con tabiquería de mampostería o con otros tipos de materiales.

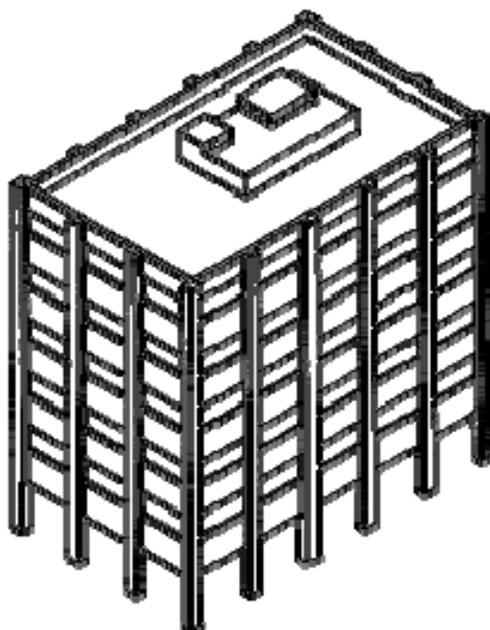


Figura A 1 Ejemplo de un edificio de pórticos resistentes a momento.

Fuente: FEMA (2002)

Pórticos arriostrados

Este sistema estructural está compuesto de pórticos de pilares y vigas, conectados con elementos de riostra. La Figura A 2 muestra ejemplos de configuraciones sencillas de pórticos de arriostrados. La Figura A 3 muestra otros ejemplos de este tipo de sistemas resistentes en edificios. A pesar de que cualquier tipo de edificio puede incorporar sistemas de riostras, estos son más frecuentes en edificios metálicos.

Muros de carga

En este sistema estructural las fuerzas laterales son soportadas por muros. Estos muros se denominan muros de carga o muros resistentes a cortante. En una revisión visual rápida, estos edificios suelen evidenciar al menos dos muros sólidos, de pocas aberturas y de mayor grosor. La Figura A 4 muestra un ejemplo de edificio con muros resistentes.

Sistemas duales

En los edificios con este sistema resistente hay pórticos y muros. Es frecuente que los muros estructurales estén en una dirección ortogonal a los pórticos. La Figura A 5 muestra un ejemplo de una estructura dual.

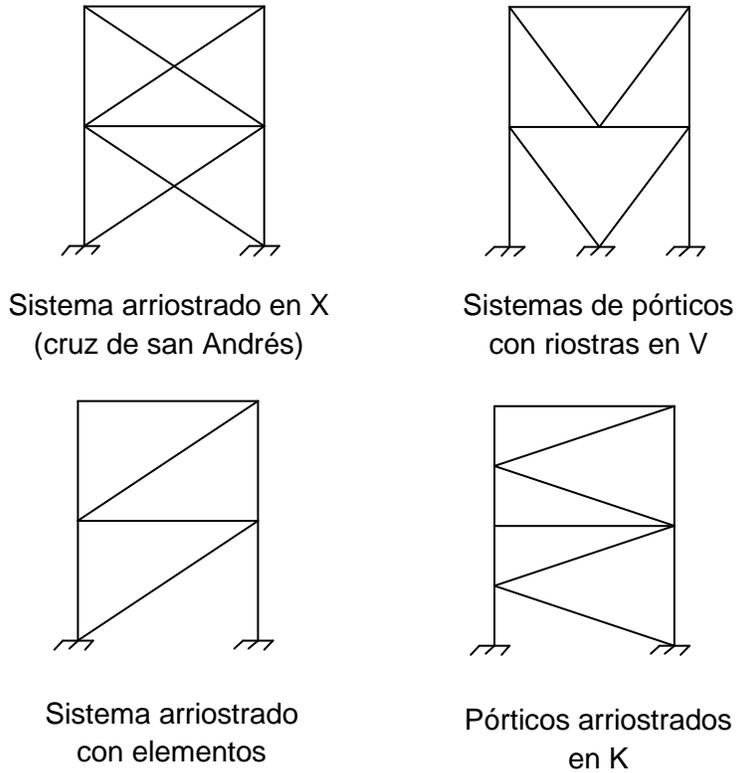


Figura A 2 Esquemas sencillos de pórticos arriostrados.

Fuente: Bermúdez (2010).

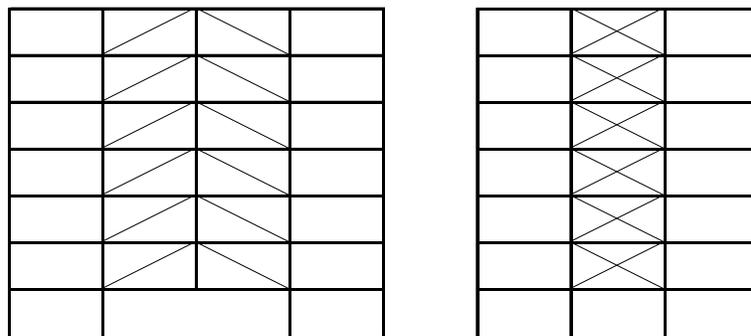


Figura A 3 Otros esquemas de edificios más complejos con pórticos arriostrados con elementos diagonales.

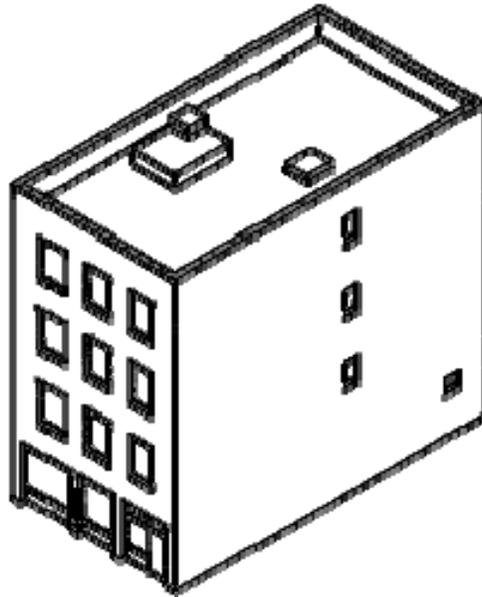


Figura A 4 Ejemplo de un edificio con muros resistentes.

Fuente FEMA (2002).

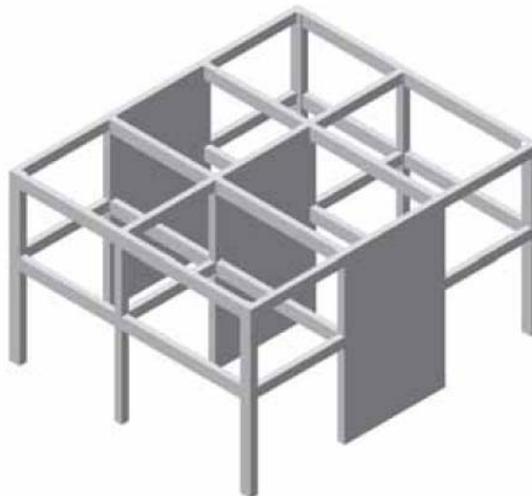


Figura A 5 Esquema de una estructura dual de muros resistentes a cortante y pórticos resistentes a momento.

Fuente: Barbat et al. (2007).

Materiales constructivos

La mayor parte de los edificios existentes en Cataluña han sido construidos entre finales del siglo XIX y durante el siglo XX y las estructuras más frecuentes son de mampostería, de hormigón armado o metálicas. Se describen a continuación los diferentes subtipos de edificios de cada una de estas categorías.

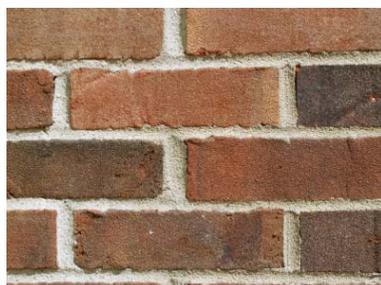
Mampostería

La palabra inglesa “*masonry*” significa “*obra hecha de ladrillos, bloques o sillares unidos con mortero u otro material aglomerado, formando una disposición ordenada*”. El diccionario de la

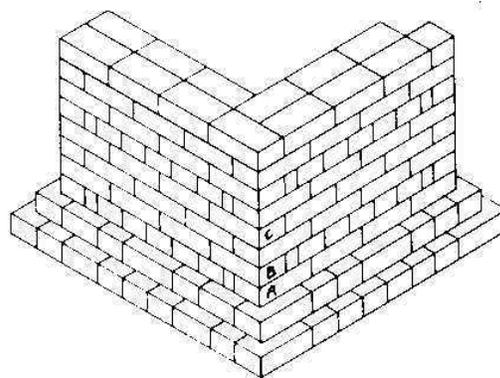
lengua catalana define *maçoneria* como *obra de cal y piedra picada* y habría que traducir “*masonry*” por *fàbrica* en Catalán y *fábrica* en Castellano. El “*Diccionari visual de la construcció*” (GenCat, 2001) dedica su tercer capítulo a este tipo de edificios que definen como edificios de obra de fábrica. Pese a esto, tanto en los formularios como en los documentos complementarios se mantiene mampostería por similitud con la palabra inglesa, ampliamente empleada en la literatura especializada. La Enciclopedia Catalana apoya a esta opción cuando define *mampostería* como “*Obra hecha con piedras o ladrillos, generalmente unidos con un material de cohesión (cal, cemento, etc)*”. En general, cuando hablamos de mampostería, sin especificar, nos referimos a obra hecha con ladrillos unidos con mortero, que es típico de muchos edificios de Cataluña. En general el sistema resistente estructural de los edificios de mampostería es de muros o paredes de carga pese a que puede haber sistemas duales y mixtos. Se describen a continuación los principales tipos de edificios de mampostería atendiendo al tipo de paredes.

Mampostería no reforzada

En estos edificios la estructura está hecha con paredes portantes de fábrica de ladrillo de cerámica cocida que pueden ser macizos o no. Estos ladrillos están unidos por medio de mortero. El mortero puede ser de diferente calidad. La Figura A 6 muestra ejemplos de muros de mampostería no reforzada.



(a)



(b)

Figura A 6 Ejemplo de secciones de muros de mampostería no reforzada.

Fuentes: a) <http://www.remodelinglibrary.com/images/brick.jpg>,
b) http://www.world-housing.net/uploads/100494_021_06.jpg⁶

Mampostería reforzada

A diferencia de los muros de mampostería no reforzada, la mampostería reforzada usa redondos de acero que confinan y ligan los ladrillos que la componen. Este tipo de paredes pertenecen a las denominadas *paredes de cerámica armada*. Las unidades de mampostería suelen ser piezas perforadas como ladrillos o bloques de hormigón (shunts) y se disponen de forma que permiten la continuidad de los redondos los cuales quedan encajados y embebidos dentro del mortero, reforzando el muro. Además de los redondos de refuerzo vertical, también puede haber mallas de refuerzo horizontal. La Figura A 7 muestra un ejemplo de construcción de mampostería reforzada. Este tipo de mampostería es poco frecuente en Cataluña.

⁶ World Housing Encyclopedia, *Housing Reports*. EERI y IAEE. <http://www.world-housing.net> (Última consulta: 17 de marzo de 2010).



Figura A 7 Ejemplo de obra de mampostería reforzada hecha con bloques de hormigón, que corresponde a un edificio de Chile

(Fuente: http://www.world-housing.net/uploads/100098_005_02.jpg).

Mampostería confinada

En este tipo de obra, también poco frecuente en nuestro caso, la mampostería está confinada, es decir, elementos rígidos de mampostería llenan los espacios definidos por sistemas de hormigón armado convencional como, por ejemplo, marcos formados por pilares y vigas que, eventualmente, pueden ser estructurales. La Figura A 8 muestra un ejemplo de este tipo de elementos que conforman la mampostería confinada.

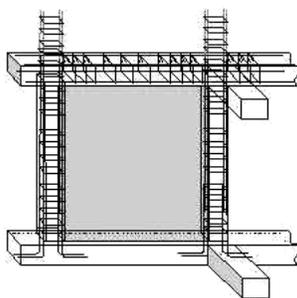


Figura A 8 Ejemplo de elemento para confinar la mampostería. En color gris se observa el espacio en donde está el panel de mampostería.

(Fuente: <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/mamposte.htm>⁸)

Edificios rehabilitados

Son edificios de mampostería en los cuales se han llevado a cabo obras de reforma, en general para mejorar su capacidad portante o resistente. Estas reformas eventualmente pueden perseguir explícitamente reducir la vulnerabilidad sísmica. Algunos ejemplos de estos tipos de intervenciones son: 1) Inclusión de nuevos forjados de hormigón armado con armadura continua en las vigas y losas rígidas, 2) revestimiento, con hormigón armado, de paneles o paredes de mampostería, 3) construcción de vigas y pilares de hormigón armado en todo el espesor del muro con el fin de

⁷ Centro de vivienda de interés social. VIS: Inventario de sistemas constructivos. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/centrovis.htm> . [Última consulta: 07 Feb 2010].

⁸ Centro de vivienda de interés social. VIS: Inventario de sistemas constructivos. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/centrovis.htm> . [Última consulta: 07 Feb 2010].

confinar la mampostería con un bastidor no resistente a momento, 4) fajas armadas y 5) inserción de un bastimento de acero en todo el grueso de la pared.

Hormigón armado

El hormigón es un material de construcción que se obtiene de la mezcla entre el cemento, áridos y agua. Hay diferentes tipos de cementos aglomerantes, actualmente, el más frecuente es el cemento *Portland*. Los áridos suelen ser gravas de diferentes características. La mezcla de cemento y arena es el mortero. Por sí solo el hormigón tiene características pétreas y soporta bien los esfuerzos a compresión, pero se fisura cuando se somete a tracción, flexión, torsión y cortante. El hormigón armado dispone de armaduras metálicas que le permiten resistir estos esfuerzos. La Figura A 9 muestra un ejemplo de una estructura de hormigón armado. La Figura A 10 muestra un ejemplo del proceso constructivo de un edificio de hormigón armado con pilares y forjados reticulares. La Figura A 11 muestra un edificio de hormigón armado. Desde que *Le Corbusier* en los años 20 del siglo pasado propone una nueva arquitectura que permite grandes aberturas, fachadas diáfnas y libertad para la distribución de interiores, el hormigón armado va mejorando su calidad y se va introduciendo progresivamente y de forma masiva en la construcción de edificios. Existe una gran variedad de estructuras de hormigón armado incluyendo edificios singulares como la Torre Califa, conocida también como la *Burj Dubai* que, con 818 m de altura, es la torre más alta del mundo. Los principales tipos de edificios de hormigón armado y los más frecuentes son: edificios resistentes a momento, edificios resistentes a cortante y edificios duales. Más arriba ya se han definido estos tipos de sistemas estructurales resistentes.



Figura A 9 Ejemplo de edificios de hormigón armado en construcción.

Fuente: http://wapedia.mobi/es/Archivo:Estructuras_Edificaci%C3%B3n.JPG.

(Última consulta 24 de marzo de 2010).

Otros materiales: estructuras metálicas y de madera

La tecnología actual permite emplear un amplio abanico de nuevos materiales en la construcción, pero, por lo que respecta a elementos estructurales, los más frecuentes son, además de la mampostería y el hormigón armado, el acero y la madera. La madera fue uno de los primeros materiales empleados por el hombre en la construcción de viviendas, pero su uso en vigas y columnas de estructuras portantes fue decreciendo con la progresiva introducción del acero y el hormigón. En Cataluña muchos edificios construidos entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX tienen muros de carga de mampostería de tocho macizo y vigas de madera.



Figura A 10 Ejemplo del proceso constructivo de un edificio de hormigón armado en Cataluña. Se observa, en un primer plano, la preparación de la armadura de un muro de carga. En este caso con la misión de contener suelos. Atrás es posible observar, la preparación de forjados reticulares.

Fuente: los autores.



Figura A 11 Ejemplo de un edificio de hormigón armado de México.

*Fuente: http://www.world-housing.net/uploads/101207_115_09.jpg
(Último acceso: 27 de marzo de 2010)*

Actualmente hay nuevas tendencias hacia la recuperación de la madera como material estructural. El acero también es conocido como un material desde la antigüedad pero su uso intensivo en estructuras de edificios data hacia finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX. En los

edificios con estructura metálica los pilares y las vigas son de hierro o de acero. Los sistemas resistentes en las estructuras metálicas suelen ser pórticos resistentes a momento y pórticos arriostrados. La Figura A 12 muestra un ejemplo de la construcción de un edificio metálico; la Figura A 13 muestra un detalle de una estructura metálica con riostras excéntricas.



Figura A 12 Construcción de un edificio metálico y detalles de la conexión viga-pilar.

Fuente: Bermúdez et al. (2010).



Figura A 13 Ejemplo de un detalle de una estructura metálica con riostras excéntricas

Fuente: http://www.world-housing.net/uploads/100587_026_08.jpg

(Fecha de la última consulta: 21/03/2010).

Los forjados

Los forjados o *techos forjados* son elementos estructurales que reciben las cargas directamente y las distribuyen entre los demás elementos de la estructura hasta la cimentación, los cuales a la vez, transmiten al terreno el peso y las cargas del edificio. Villaba (2006) describe con detalle los diferentes tipos de forjados y los clasifica en unidireccionales, bidireccionales o reticulares y multidireccionales. La Figura A 14 muestra las direcciones de transmisión de fuerzas en los forjados bidireccionales o reticulares (a la izquierda) y en los unidireccionales. A continuación se describen brevemente los tipos de *techos forjados* más frecuentes.

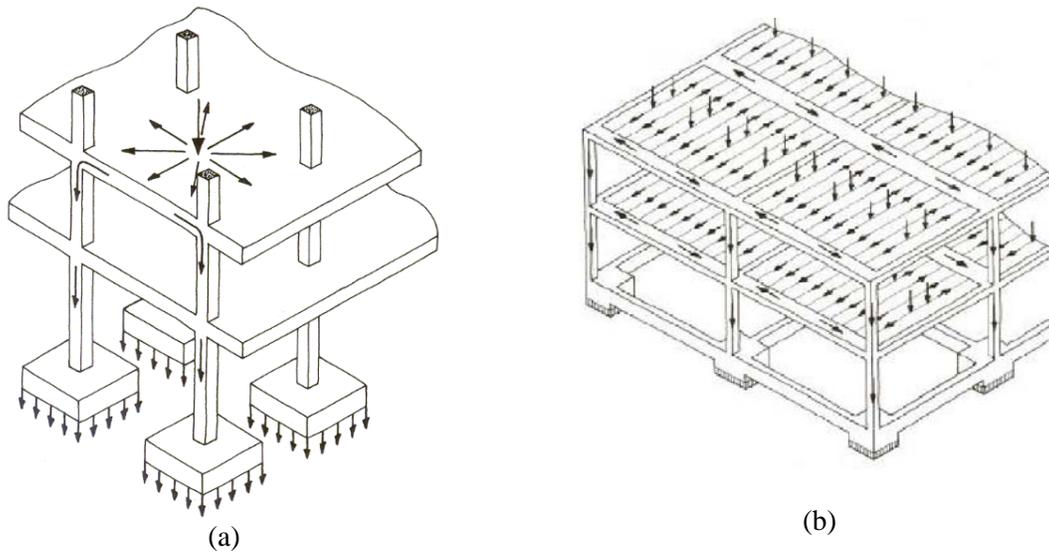


Figura A 14 Diagramas de la transmisión de cargas desde los forjados hasta el terreno. (a) forjados reticulares; (b) forjados unidireccionales.

Fuente: Villalba (2006).

Forjados unidireccionales

Los forjados unidireccionales están formados por vigas paralelas con los espacios entre ellas rellenos con diferentes técnicas (ver Figura A 15 y Figura A 16). Las vigas pueden ser de madera, hierro u hormigón armado prefabricado. Hay diferentes sistemas para cubrir los espacios entre vigas incluyendo bovedillas de ladrillo, casetones y sistemas mixtos.

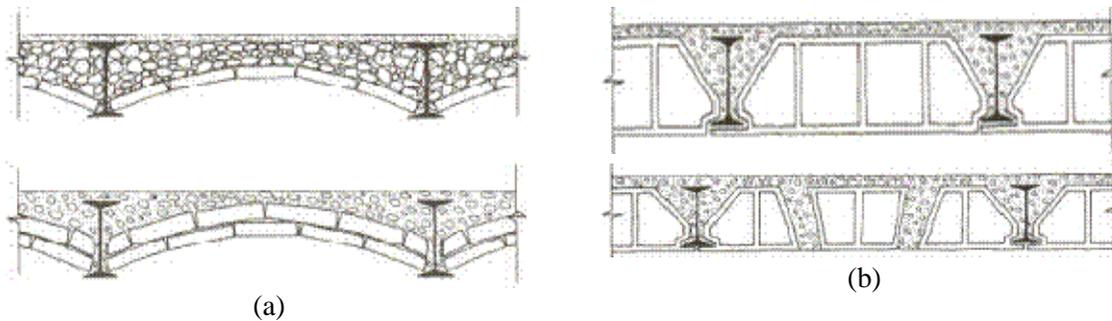


Figura A 15 (a) Techos forjados con vigas metálicas y ladrillos; (b) con vigas metálicas y casetones cerámicos.

Fuente: Villalba (2006).

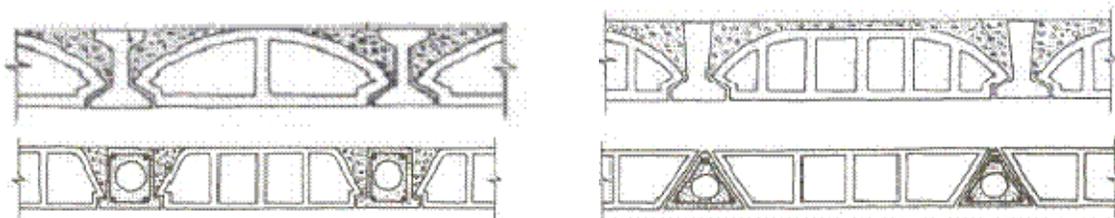


Figura A 16 Soluciones de techos forjados con vigas prefabricadas de hormigón armado y diferentes tipos de casetones cerámicos.

Fuente: Villalba (2006).

Forjados bidireccionales y multidireccionales

Hay diferentes tipos de *techos forjados* bidireccionales y multidireccionales. La Figura A 17 muestra ejemplos de techos forjados de hormigón armado. Como se observa en la Figura A 14, estos forjados transmiten las cargas a los elementos resistentes en diferentes direcciones. Los forjados reticulares se han hecho populares debido a que proporcionan una gran libertad para la distribución de espacios interiores.

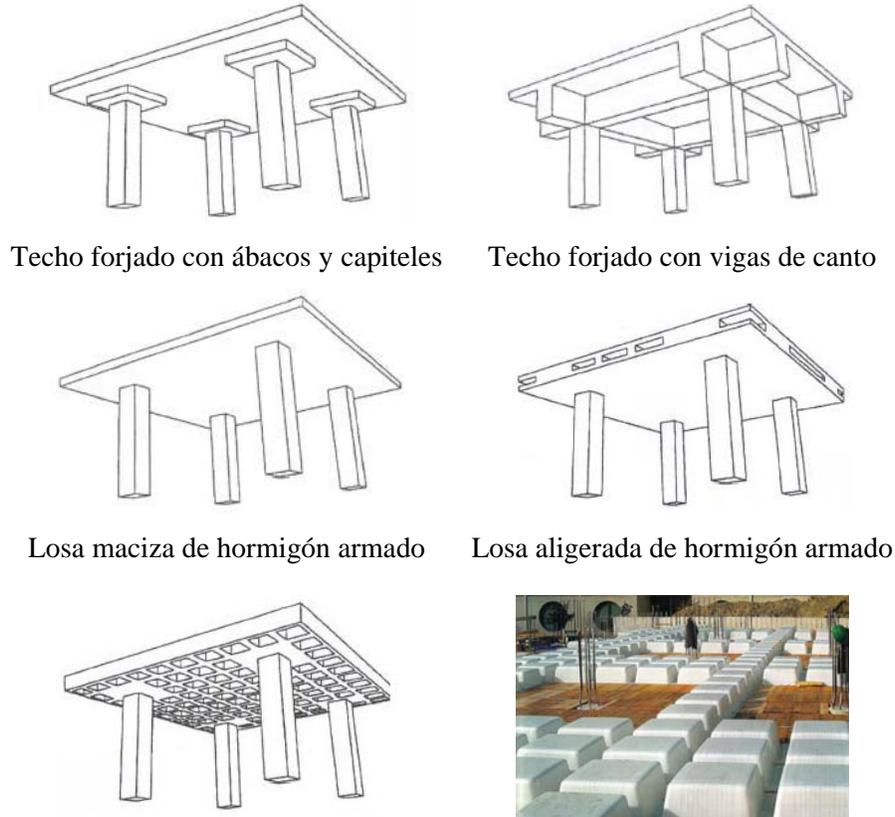


Figura A 17 Esquemas y ejemplos de forjados bidireccionales y multidireccionales.

Fuente: Villalba (2006)

Nota: Tanto la losa maciza de hormigón armado como los sistemas de losa aligerada pueden ser bidireccionales o multidireccionales dependiendo de la distribución interna de los elementos aligerantes y de los redondos de la armadura.

Otros detalles estructurales

Hay otros detalles estructurales y arquitectónicos que afectan la vulnerabilidad sísmica de los inmuebles. A partir de daños observados en edificios que han sufrido grandes terremotos se conoce que la regularidad geométrica del edificio, tanto en planta como en altura, así como la distribución simétrica respecto a ejes ortogonales de su masa, rigidez y elementos resistentes contribuyen a mejorar el comportamiento sísmico de las construcciones. Así mismo, se han detectado puntos

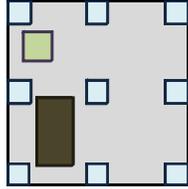
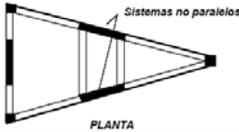
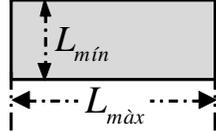
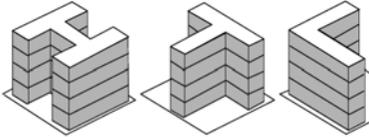
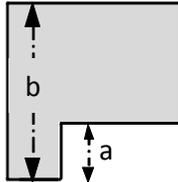
⁹ Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia/Archivo:Sistema-Alucubetas-Alsina.jpg>
Última consulta: 27 de marzo de 2010.

singulares de los edificios que tienen un comportamiento perverso en caso de terremoto. El efecto de piso blando y de pilar corto son dos de estos detalles. El *piso blando* o *planta débil* es un tipo de irregularidad geométrica en altura y ocurre cuando una planta es más alta y más diáfana que las otras. Este efecto es muy frecuente en nuestras ciudades ya que a menudo las plantas bajas se dedican a servicios relacionados con el comercio y servicios, entre otras. Atendiendo a su función, estas plantas se diseñan de forma que sean más altas y más pocas las paredes divisorias. Este apartado proporciona pautas para detectar y calificar estos detalles.

Irregularidad de la planta.

Los criterios para establecer una clasificación de la irregularidad de la planta se han adaptado del código sísmico europeo (CEN 2004), de la norma sísmica Colombiana (AIS 1998) y de Cardona (1999). La Tabla A 1 muestra las clases de irregularidad en planta según los niveles *Alto*, *Medio* y *Bajo* así como su descripción.

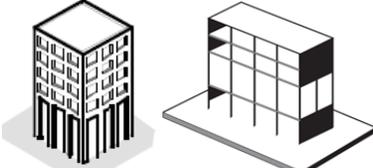
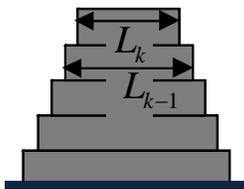
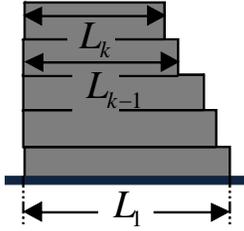
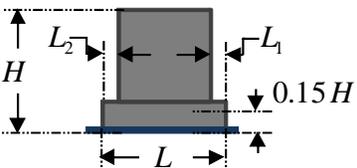
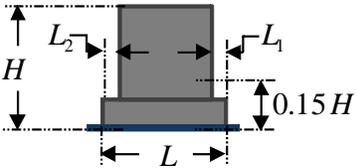
Tabla A 1 Clases de irregularidad en planta, descripción de las clases y pictogramas explicativos

| Valor | Descripción de la irregularidad | Gráfico explicativo |
|---------|---|---|
| ALTA | La distribución en planta de los elementos estructurales y/o cargas no es simétrica respecto a ejes ortogonales. |  |
| | La configuración arquitectónica en planta es asimétrica respecto a ejes ortogonales. |  |
| | Cuando los edificios son muy alargados de forma que la relación entre la dimensión máxima y mínima de la planta es mayor o igual a 4. En la Figura: $L_{m\grave{a}x} / L_{m\grave{m}n} \geq 4$. |  |
| | La planta del edificio tiene forma de H, T, L o similar y cualquiera de las partes que sobresalen supera el 20% de la dimensión total del edificio. |  |
| MEDIANA | La irregularidad geométrica es apreciable pero moderada. La dimensión de la parte saliente no excede el 20% de la dimensión total del edificio. En la Figura: $a / b \leq 0.2$. |  |
| BAJA | En cualquier otro caso. En estos casos, la distribución de masas y rigideces es simétrica respecto a dos ejes ortogonales y, en edificios rectangulares, el cociente entre la dimensión máxima y mínima de la planta es inferior a 4. | |

Irregularidad en altura

La irregularidad en altura está asociada con la variación de masas y rigideces entre las diferentes plantas del edificio. La Tabla A 2 muestra las clases de irregularidad en altura de acuerdo con tres categorías: *Alta*, *Mediana* y *baja*, así como su descripción. Los criterios para calificar la irregularidad en altura se han basado en el código sísmico europeo (CEN 2004) y en el trabajo de Cardona (1999).

Tabla A 2 Clases de irregularidad en altura, descripción de las clases y pictogramas explicativos.

| Clase | Descripción de la irregularidad | Gráficos explicativos |
|---------|--|---|
| ALTA | La primera planta, o una planta superior, es más alta en comparación con las demás. |  |
| | El edificio tiene discontinuidades y/o interrupciones de elementos resistentes verticales. |  |
| MEDIANA | Hay retrocesos consecutivos, con simetría axial, cuyo ancho es igual o superior al 20 % de la longitud de la planta contigua. En la Figura: $L_{k-1} - L_k \geq 0.2L_k \quad k = 2 \dots N$ N es el número de plantas del edificio. |  |
| | Hay retrocesos que no preservan la simetría axial de forma que: a) La reducción del ancho de la planta es mayor o igual que el 10% del ancho de la planta contigua b) La suma de todos los retrocesos es mayor o igual que el 30% del ancho de la primera. En la Figura: $L_{k-1} - L_k \geq 0.1L_{k-1}$ y $\sum_{K=2}^N (L_{k-1} - L_k) - L_1 \geq 0.3L_1$ |  |
| | En una altura inferior al 15% de la altura del edificio, existen retrocesos con simetría axial, cuyo ancho es mayor o igual que el 20% del ancho de la planta contigua. En la Figura: $L_1 + L_2 \geq 0.2L$ |  |
| | En una altura superior al 15% de la altura del edificio, existen retrocesos con simetría axial, cuyo ancho es igual o mayor que el 50% del ancho de la planta contigua. En la Figura: $L_1 + L_2 \geq 0.5L$ |  |
| BAJA | Todos los sistemas resistentes a cargas se distribuyen sin interrupciones desde la cimentación hasta la altura total del edificio. Tanto la rigidez lateral como las masas de de cada nivel deben mantenerse constantes sin presentarse cambios abruptos entre plantas contiguas | |

Pilar corto

El efecto de *pilar*¹⁰ corto o *columna*¹¹ corta es bien conocido en el mundo de la ingeniería sísmica dado que es causa de daños relevantes en edificios sometidos a terremotos. Hablamos de este efecto cuando el pilar ha quedado parcialmente confinado a consecuencia de, por ejemplo, reformas para aprovechar techos altos para crear altillos transitables (*entresolats*)¹² o tabiques de altura limitada levantados para soportar ventanales o ventanas elevadas que, eventualmente, pueden llegar hasta a ras de techo. También se pueden producir pilares cortos como consecuencia de suelos inclinados. La Figura A 18 muestra ejemplos de situaciones que pueden dar lugar a *pilares cortos*.

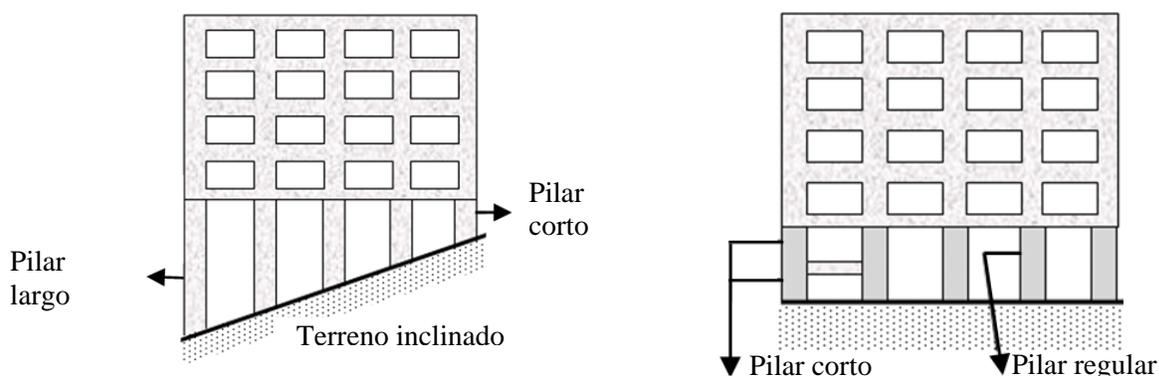


Figura A 18 Ejemplos de situaciones que pueden producir pilares cortos y pilares largos.

Fuente: Rojas (2005)

En terremotos destructivos se observa cómo estos pilares cortos tienen la capacidad de concentrar mayores esfuerzos y son causa de daños mayores. Hay bastante literatura en donde se describen, de forma cualitativa, estos efectos pero no son frecuentes estudios cuantitativos que permiten decidir cuál es la altura de confinamiento a partir de la cual se presenta. Rojas (2005) dedica su tesis de máster al análisis cuantitativo. De acuerdo con este estudio, se considera que este efecto comienza a ser importante cuando la altura del pilar corto es inferior al 60% de la altura del pilar regular (ver la Figura A 18) y es muy relevante cuando la altura del pilar es inferior al 30%, es decir, cuando la parte cautiva del pilar es superior al 70% de su altura total. Este efecto es frecuente en muchos edificios escolares en todo el mundo. La Figura A 19 muestra un ejemplo de cómo se forma este mecanismo en un caso de ventanas elevadas.

Los periodos constructivos

Identificar el año o el periodo de construcción tiene un doble propósito. Por un lado, permite hacer hipótesis sobre la tecnología constructiva de la época y, en caso de no disponer información específica sobre el tipo de edificio, suponer que pertenece a la más frecuente en el periodo en el cual fue edificada. Por otro lado, los periodos constructivos se han establecido de acuerdo con la aparición progresiva de normativas de edificación y normativas sísmicas en España. Así, es posible también hacer hipótesis sobre el nivel de protección del edificio a cargas laterales y, en particular, a cargas sísmicas. La Tabla A 3 muestra los diferentes periodos constructivos considerados y la distribución de los edificios de Barcelona en estos periodos. El proyecto Risk-UE (Lungu et al.

¹⁰ **Pilar:** soporte vertical, considerablemente más alto que ancho; puede estar hecho de piedra, ladrillos, hormigón, hierro.

¹¹ **Columna:** pilar de piedra u otro material, ordinariamente de sección circular, formado por una base, un fuste y un capitel, que sirven de soporte para techos, de ornamento y a veces de monumento.

¹² **Entresolat:** parte superior de un cuarto dividido, parcial o totalmente, a través de un techo construido a una cierta altura.

2003) considera cuatro subclases de edificios, de acuerdo con sus propiedades específicamente sismo resistentes. Estos dependen de los códigos sísmicos existentes en la época en que se construyó el edificio y del nivel de obligatoriedad de su uso. Las cuatro subclases consideradas son: *N*: sin código, *L*: código de bajo nivel, *M*: código de nivel medio y *H*: código de nivel alto, comparable al Eurocódigo (CEN 2004). En la Tabla A 4 se presentan los códigos de las tipologías constructivas

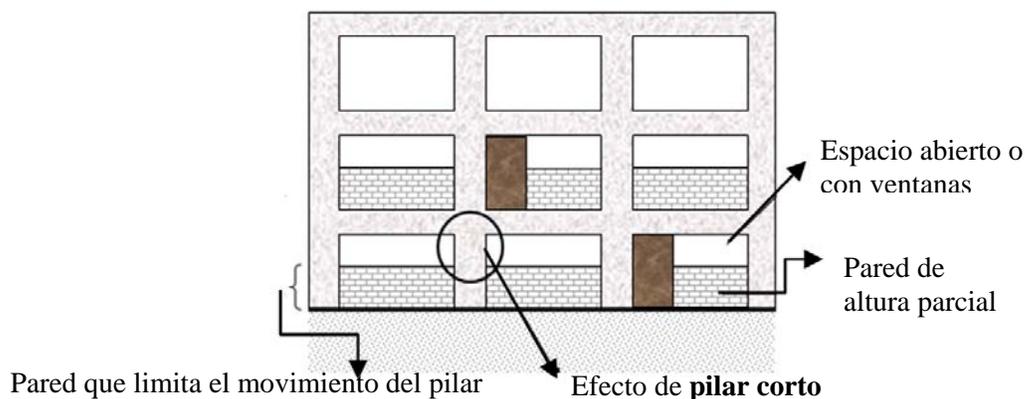


Figura A 19 Ilustración de formación de un mecanismo típico de pilar corto.

Fuente: Rojas, 2005

Nota: Esta configuración de paredes de altura limitada y ventanas altas es muy frecuente en las escuelas de todo el mundo

Tabla A 3 Periodos constructivos basados en las normativas de edificación y las normativas sísmicas españolas

| Período | Intervalo del período constructivo | Normativa Española que define el período | Obligatoriedad en Barcelona | Práctica constructiva con reforzamientos laterales | Nivel de diseño sísmico | Edificios (%) |
|---------|------------------------------------|---|-----------------------------|--|-------------------------|---------------|
| I | <=1940 | ---- | ---- | Ausente | No | 43 |
| II | 1941-1962 | ---- | ---- | Deficiente | No | 20 |
| III | 1963-1968 | Norma MV-101-1962 | No especifica | Deficiente | No | 10 |
| IV | 1969-1974 | Normativa sísmica PGS-1 (1968) | Sí | Aceptable | Bajo | 9 |
| V | 1975-1994 | Normativa sísmica PDS (1974) | Sí | Aceptable | Bajo | 13 |
| VI | 1995-2002 | Normativa sísmica NCSE-94 (1995) | No | Aceptable | Bajo | 5 |
| | 2003-2007 | Normativas sísmicas NCSE-02 (2002) EC 08 (CEN 2004) | Sí | Aceptable | Bajo - Medio | |

Fuente: Lantada et al. (2009), sobre datos cedidos por el Ayuntamiento de Barcelona.

Nota: En la Tabla A-3 También se detalla la obligatoriedad de las normas sismoresistentes en Barcelona y la distribución de los edificios de la ciudad

Otras recomendaciones para rellenar el Formulario 2

- Antes de rellenar el formulario es conveniente disponer de información previa sobre las principales características del edificio y, en la medida de lo posible, poder tener acceso a planos estructurales del edificio o edificio que lo componen.
- Una identificación precisa del sistema estructural puede requerir acceder a dependencias específicas en las cuales se prevea que se pueda tener acceso directo a los elementos estructurales y poder identificar, sin ambigüedades, los materiales constructivos y el sistema resistente a cargas. A menudo, cuando el sistema resistente es de pórticos, la estructura de vigas y pilares y los materiales de hormigón o acero quedan visibles en los sótanos y cuartos o almacenes de servicios como, por ejemplo, cuartos con máquinas o con transformadores y distribuidores del sistema eléctrico.
- Una observación directa de los forjados normalmente requiere remover los falsos techos. En el caso que pueda haber materiales de acero, como por ejemplo vigas metálicas, hace falta prever que pueden estar recubiertas por otros materiales que los protegen, por ejemplo, contra incendios.
- La presencia de muros de carga y elementos de arriostramiento puede ser difícil de detectar. Para confirmar o descartar su existencia conviene examinar lugares sin acabados como por ejemplo, núcleos de ascensores, escaleras de servicio y, a veces, también puede ayudar observar fachadas secundarias de patios internos o fachadas que dan a edificios colindantes.
- Cuando sea posible, puede ser muy conveniente delegar la tarea de rellenar el formulario a una persona con conocimientos del edificio e involucrar a aquellos servicios, que por su misión, pueden tener un conocimiento privilegiado de los aspectos relevantes y de los detalles constructivos del edificio. La mayoría de las instituciones y grandes edificios tienen un servicio de obras y mantenimiento.

En cualquier caso, acabamos recordando que está previsto que haya una persona experta y con conocimientos técnicos para ayudar en la tarea de la identificación de la tipología estructural y otros detalles constructivos del edificio. La persona de contacto ha de facilitar la coordinación entre el personal técnico y el experto externo.

Tabla A 4 Matriz de edificios adoptada en el proyecto Risk-UE

| Tipos de material | No. | Código | Descripción | Clases de altura | | |
|---|------|---|--|------------------|-----------------|-------------------------|
| | | | | Nombre | Número de pisos | Intervalo de altura (m) |
| Mampostería o piedra | 1 | M11L | Muros de carga con mampostería de piedras y piedra machacada | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 2 | M11M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 3 | M12L | Muros de carga con mampostería de piedra tallada | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 4 | M12M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 5 | M12H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 6 | M13L | Muros de carga de mampostería de sillería | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 7 | M13M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 8 | M13H | | Alta | 6+ | > 15 |
| Adobe | 9 | M2L | Muros construidos con mampostería de adobe | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| Mampostería no reforzada de ladrillo cocido | 10 | M31L | Forjados de madera | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 11 | M31M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 12 | M31H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 13 | M32L | Forjados de bóvedas de mampostería | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 14 | M32M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 15 | M32H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 16 | M33L | Forjados compuestos de acero y mampostería | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 17 | M33M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 18 | M33H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 19 | M34L | Forjados de hormigón | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 20 | M34M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| 21 | M34H | Alta | | 6+ | > 15 | |
| Mampostería reforzada o confinada | 22 | M4L | Muros de carga de mampostería armada o confinada | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 23 | M4M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 24 | M4H | | Alta | 6+ | > 15 |
| Mampostería rehabilitada | 25 | M5L | Edificio de mampostería totalmente rehabilitado | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 26 | M5M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 27 | M5H | | Alta | 6+ | > 15 |
| Hormigón armado | 28 | RC1L | Estructuras resistentes al momento | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 29 | RC1M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 30 | RC1H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 31 | RC2L | Muros de cortante de hormigón armado | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 32 | RC2M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 32 | RC2H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 34 | RC31L | Estructuras regulares con tabiquería de mampostería no reforzada | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 35 | RC31M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 36 | RC31H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 37 | RC32L | Estructuras irregulares con tabiquería de mampostería no reforzada (*) | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 38 | RC32M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 39 | RC32H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 40 | RC4L | Sistemas duales: pórticos y muros a cortante. | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 41 | RC4M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 42 | RC4H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 43 | RC5L | Muros de hormigón prefabricado | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 44 | RC5M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 45 | RC5H | | Alta | 6+ | > 15 |
| 46 | RC6L | Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de hormigón armado | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 | |
| 47 | RC6M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 | |
| 48 | RC6H | | Alta | 6+ | > 15 | |
| Estructuras | 49 | S1L | Estructuras metálicas | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |

| Tipos de material | No. | Código | Descripción | Clases de altura | | |
|---------------------|-----|--------|---|------------------|-----------------|-------------------------|
| | | | | Nombre | Número de pisos | Intervalo de altura (m) |
| metálicas | 50 | S1M | resistentes a momento | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 51 | S1H | | Alta | 6+ | > 15 |
| | 52 | S2L | Estructuras metálicas arriostrados | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 53 | S2M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 54 | S2H | Alta | 6+ | > 15 | |
| | 55 | S3L | Estructuras metálicas con tabiquería de mampostería no reforzada | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 56 | S3M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 57 | S3H | Alta | 6+ | > 15 | |
| | 58 | S4L | Estructuras metálicas con muros de cortante de hormigón colocados in situ | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 59 | S4M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| 60 | S4H | Alta | | 6+ | > 15 | |
| Sistemas compuestos | 61 | S5L | Sistemas o estructuras mixtas de acero y hormigón armado | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 62 | S5M | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |
| | 63 | S5H | | Alta | 6+ | > 15 |
| Madera | 64 | WL | Estructuras de madera | Baja | 1 – 2 | ≤ 6 |
| | 65 | WM | | Media | 3 – 5 | 6 – 15 |

Fuente: Lungu et al. (2003).

- (*) Dentro de esta categoría de edificios, RC32, se incluyen muchos edificios típicos de Cataluña, cuya estructura está hecha de pilares y forjados de hormigón armado que suelen ser aligerados y pueden ser unidireccionales o bidireccionales. También se suele hablar de forjados reticulares cuando se habla de este tipo de forjados. Algunas veces estos edificios se modelan como edificios de pórticos de hormigón resistentes a momento con pilares y vigas equivalentes y se refieren como RC1. Hace falta llamar la atención para no confundir estas dos tipologías constructivas.

Referencias

- AIS (1998) “Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente – NSR 98” – (Ley 400 de 1997 y decreto 33 de 1998) Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS. Bogotá, Colombia
- Barbat A. H., Oller S. y J.C Vielma (2007) “Confinamiento y ductilidad de los edificios de hormigón armado”. *Serie de monografías AR CER*, monografía N° 5, Madrid.
- Bermúdez C.A. (2010). “Evaluación sísmica de los edificios de acero”. Aplicación a edificios típicos de Manizales diseñados y construidos de acuerdo a la NSR-98. Tesis doctoral. UPC. (En preparación).
- Bermúdez C.A., Hurtado J.E. Pujades L. G., Barbat A.H and J.R. González-Drigo. “Probabilistic assessment of the seismic performance of steel buildings designed according to the LRFD specification”. *New trends in seismic design of structures*. Nikos D. Lagaros, Yiannis Tsompanakis & Manolis Papadrakakis
- Cardona O.D (1999) “Vulnerabilidad sísmica de hospitales – Fundamentos para ingenieros y arquitectos”. *Monografías de Ingeniería Sísmica*. CIMNE IS -32. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.
- CEN (2004) EN-1998-1 (2004) “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance”. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Comité Européen de Normalisation, Brussels. 229 pp.
- FEMA (2002) “Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards A Handbook”. Second edition. FEMA/ATC 154. Federal Emergency Management Agency and Applied Technology Council. Washington, D.C.
- GenCat (2001) “Diccionari Visual de la Construcció”. Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. [En línea]. Disponible en:
<http://www10.gencat.cat/ptop/AppJava/cat/documentacio/llengua/terminologia/diccvvisual.jsp>.
[Última consulta 17 /03/2010]
- Lantada, N. (2007) “Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Lantada, N., Pujades L.G. y A.H. Barbat (2009) “Escenarios de riesgo sísmico para la ciudad de Barcelona”. Informe técnico elaborado para el Ayuntamiento de Barcelona. Servicios de Protección Civil del Ayuntamiento de Barcelona. Vol. I informe ejecutivo 54 pp. Vol II. Informe Técnico, 84 pp. Vol III Anexos al Informe técnico, 67 pp.
- Lungu D., Aldea A., Arion A., Vacareanu R., Petrescu F., Cornea T. (2003) “WP1: European distinctive features, inventory database and typology”. Risk-UE project Handbook. September 2003. Risk-UE project report. 58 pp.
- Milutinovic Z. V. and G. S. Trendafiloski (2003) *WP4: Vulnerability of current buildings. Risk-UE project Handbook*. September 2003. Risk-UE project report. 111 pp.
- MV101 (1963) “Norma N.V.101-1962. Acciones en la edificación”. Ministerio de la Vivienda, decreto del 17 de enero de 1963 (195/1963) 27 pp.
- NCSE-02 (2002). “Norma de Construcción Sismorresistente Española”. Parte General y de Edificación, Comisión Permanente de Normas Sismorresistente, Real Decreto 997/2002 del 27 de septiembre de 2002, Boletín Oficial del Estado n° 244, viernes 11 de octubre de 2002. Ministerio de Fomento. 35898-35987 pp.

- NCSE-94 (1994) “Norma de Construcción Sismorresistente Española”. Parte General y de Edificación. Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, Real Decreto 2543/1994 del 29 de diciembre de 1994, Boletín Oficial del Estado nº 33, miércoles 8 de febrero de 1995. 3936-3980 pp.
- PDS-1 (1974) “Norma Sismorresistente P.D.S.-1”. Comisión Interministerial de la Presidencia del Gobierno, Decreto de 30 de agosto de 1974, BOE, 279, 21 de noviembre de 1974. 3723-3740 pp.
- PGS-1 (1968) “Decreto 106/1968, de 16 de enero, por el que se aprueba la aplicación de la «Norma Sismorresistente PGS 1 (1968), parte A»”. Presidencia del Gobierno. BOE 30/1968. Fecha de publicación. 04/02/1968. 1658 pp
- Rojas N.J. (2005) “Consideración de las columnas cortas en la vulnerabilidad sísmica de las estructuras”. Tesis Msc. 126 p. Universidad de Puerto Rico. [En línea]. Disponible en: <http://grad.uprm.edu/tesis/rojasmercedes.pdf>. [Última consulta 24/03/2010]
- Villalba V (2006) “Introducción a los forjados”. [En línea]. Disponible en: http://assig-camins.upc.es/camins/edificacio/tra_INTRODUCCION_A_LOS_FORJADOS.pdf. Puede también acceder a otros temas en: <http://assig-camins.upc.es/camins/edificacio/>. [Última consulta: 22/03/2010].

Anexo B: Parámetros de los espectros de capacidad y curvas de fragilidad de las tipologías estructurales

En la Tabla B. 1 se presentan, para cada tipología considerada en el estudio, los parámetros del espectro de capacidad en formato bilineal, correspondientes al desplazamiento y aceleraciones espectrales para los puntos de cedencia (Sdy, Say) y resistencia última (Sdu, Sau). Así mismo, se presentan los valores medios (Sd) y las desviaciones típicas (β) de las curvas de fragilidad asociadas a los estados de daño leve, moderado, extensivo y completo.

Tabla B. 1 Parámetros de los espectros de capacidad y curvas de fragilidad de las tipologías estructurales

| Tipología | Parámetros del espectro de capacidad (bilineal) | | | | Parámetros de las curvas de fragilidad | | | | | | | | Fuente | Notas |
|-----------|---|---------|------------------|---------|--|---------------|----------------|---------------|----------------------------------|----------|-----------|----------|--|--|
| | Cedencia | | Capacidad última | | Valores medios (\overline{Sd}) | | | | Desviaciones típicas (β) | | | | | |
| | Sdy (cm) | Say (g) | Sdu (cm) | Sau (g) | Leve (cm) | Moderado (cm) | Extensivo (cm) | Completo (cm) | Leve | Moderado | Extensivo | Completo | | |
| M11L | 0.38 | 0.173 | 1.93 | 0.17 | 0.27 | 0.38 | 0.77 | 1.93 | 0.173 | 0.65 | 0.58 | 0.463 | RISK-UE Milutinovic & Trendafiloski (2003) | Università degli Studi di Genova (UNIGE). Edificios sin diseño sismo resistente (Pre code) |
| M11M | 0.47 | 0.115 | 2.03 | 0.12 | 0.33 | 0.47 | 0.86 | 2.03 | 0.177 | 0.65 | 0.53 | 0.433 | | |
| M11H | 0.66 | 0.058 | 2.28 | 0.06 | 0.46 | 0.66 | 1.07 | 2.28 | 0.18 | 0.32 | 0.45 | 0.38 | | |
| M12L | 0.15 | 0.15 | 1.55 | 0.15 | 0.11 | 0.15 | 0.50 | 1.55 | 0.155 | 0.65 | 0.85 | 0.568 | | |
| M12M | 0.31 | 0.12 | 1.69 | 0.13 | 0.22 | 0.31 | 0.66 | 1.69 | 0.173 | 0.65 | 0.61 | 0.473 | | |
| M12H | 0.48 | 0.1 | 1.85 | 0.12 | 0.34 | 0.48 | 0.82 | 1.85 | 0.173 | 0.36 | 0.49 | 0.41 | | |
| M13L | 0.26 | 0.355 | 1.7 | 0.36 | 0.18 | 0.26 | 0.62 | 1.70 | 0.185 | 0.65 | 0.68 | 0.508 | Giovinazzi (2005) | Corresponde a la tipología M4L |
| M13M | 0.35 | 0.165 | 3.03 | 0.17 | 0.25 | 0.35 | 1.02 | 3.03 | 0.168 | 0.65 | 0.78 | 0.548 | | Corresponde a la tipología M4M |
| M13H | 0.48 | 0.124 | 3.17 | 0.12 | 0.34 | 0.48 | 1.15 | 3.17 | 0.173 | 0.65 | 0.68 | 0.51 | | Corresponde a la tipología M4H |
| M2 | 0.17 | 0.096 | 1.15 | 0.1 | 0.12 | 0.17 | 0.42 | 1.15 | 0.175 | 0.65 | 0.69 | 0.505 | | Corresponde a la tipología M2 |
| M31LLC | 0.3 | 0.406 | 1.32 | 0.41 | 0.21 | 0.30 | 0.56 | 1.32 | 0.18 | 0.65 | 0.53 | 0.43 | | Corresponde a la tipología M5.w-L |
| M31MLC | 0.5 | 0.239 | 1.53 | 0.24 | 0.35 | 0.50 | 0.76 | 1.53 | 0.18 | 0.29 | 0.41 | 0.353 | | Corresponde a la tipología M5.w-M |
| M31HLC | 0.69 | 0.181 | 1.73 | 0.18 | 0.48 | 0.69 | 0.95 | 1.73 | 0.18 | 0.29 | 0.41 | 0.353 | | Corresponde a la tipología M5.w-H |
| M32LLC | 0.39 | 0.26 | 1.48 | 0.26 | 0.27 | 0.39 | 0.66 | 1.48 | 0.18 | 0.35 | 0.48 | 0.405 | | Corresponde a la tipología M5.v-L |
| M32MLC | 0.69 | 0.16 | 1.78 | 0.16 | 0.48 | 0.69 | 0.96 | 1.78 | 0.18 | 0.35 | 0.65 | 0.405 | | Corresponde a la tipología M5.v-M |
| M32HLC | 0.99 | 0.12 | 2.08 | 0.12 | 0.69 | 0.99 | 1.26 | 2.08 | 0.18 | 0.35 | 0.65 | 0.405 | | Corresponde a la tipología M5.v-H |

Anexo B: Parámetros de los espectros de capacidad y curvas de fragilidad de las tipologías estructurales

| Tipología | Parámetros del espectro de capacidad (bilineal) | | | | Parámetros de las curvas de fragilidad | | | | | | | | Fuente | Notas |
|-----------|---|------------------------|-------------------------|------------------------|--|------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|----------|-----------|----------|---|---|
| | Cedencia | | Capacidad última | | Valores medios (\bar{S}_d) | | | | Desviaciones típicas (β) | | | | | |
| | S _{dy} (cm) | S _{ay} (g) | S _{du} (cm) | S _{au} (g) | Leve (cm) | Moderado (cm) | Extensivo (cm) | Completo (cm) | Leve | Moderado | Extensivo | Completo | | |
| M33LLC | 0.27 | 0.65 | 1.36 | 0.56 | 0.19 | 0.27 | 0.54 | 1.36 | 0.28 | 0.37 | 0.54 | 0.72 | Bonet (2003) | |
| M33MLC | 0.63 | 0.13 | 2.91 | 0.12 | 0.44 | 0.63 | 1.20 | 2.91 | 0.4 | 0.5 | 0.75 | 0.7 | | |
| M33HLC | 0.68 | 0.10 | 2.61 | 0.08 | 0.48 | 0.68 | 1.16 | 2.61 | 0.3 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | RISK-UE Milutinovic & Trendafiloski (2003) | Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería - CIMNE |
| M34LLC | 0.53 | 0.30 | 3.18 | 0.30 | 0.37 | 0.53 | 1.19 | 3.18 | 0.28 | 0.34 | 0.73 | 0.76 | RISK UE Milutinovic & Trendafiloski (2003) | UNIGE - edificios sin diseño sismo resistente (pre code) |
| M34MLC | 0.75 | 0.15 | 3.47 | 0.15 | 0.53 | 0.75 | 1.43 | 3.47 | 0.28 | 0.38 | 0.62 | 0.69 | RISKUE- Milutinovic & Trendafiloski (2003) | CIMNE edificios sin diseño sismo resistente (pre code) |
| M34HLC | 0.92 | 0.10 | 3.67 | 0.10 | 0.64 | 0.92 | 1.61 | 3.67 | 0.28 | 0.37 | 0.55 | 0.64 | | |
| M4MLC | 0.15 | 0.10 | 0.54 | 0.18 | 0.11 | 0.15 | 0.25 | 0.54 | 0.16 | 0.38 | 0.46 | 0.39 | Ruiz-García (2010) | |
| RC1LLC | 2.32 | 0.19 | 9.58 | 0.21 | 1.62 | 2.32 | 4.14 | 9.58 | 0.18 | 0.41 | 0.51 | 0.42 | RISKUE-Milutinovic & Trendafiloski (2003) | Aristotle University of Thessaloniki AUTH. Edificios de bajo diseño sismo resistente (Low code) |
| RC1MLC | 4.27 | 0.17 | 10.77 | 0.18 | 2.99 | 4.27 | 5.90 | 10.77 | 0.18 | 0.41 | 0.65 | 0.42 | | |
| RC1HLC | 5.76 | 0.12 | 14.83 | 0.14 | 4.03 | 5.76 | 8.03 | 14.83 | 0.18 | 0.41 | 0.65 | 0.42 | | |
| RC2LLC | 1.08 | 0.39 | 5.05 | 0.47 | 0.76 | 1.08 | 2.07 | 5.05 | 0.18 | 0.65 | 0.65 | 0.45 | | |
| RC2MLC | 1.46 | 0.18 | 8.25 | 0.25 | 1.02 | 1.46 | 3.16 | 8.25 | 0.18 | 0.65 | 0.65 | 0.48 | | |
| RC2HLC | 3.86 | 0.20 | 15.60 | 0.26 | 2.70 | 3.86 | 6.80 | 15.60 | 0.18 | 0.65 | 0.65 | 0.48 | | |
| RC31LLC | 0.44 | 1.54 | 1.87 | 2.23 | 0.31 | 0.44 | 0.80 | 1.87 | 0.28 | 0.38 | 0.58 | 0.66 | | |
| RC31MLC | 0.85 | 0.81 | 2.63 | 1.13 | 0.60 | 0.85 | 1.30 | 2.63 | 0.28 | 0.34 | 0.44 | 0.54 | | |
| RC31HLC | 2.14 | 0.46 | 5.98 | 0.63 | 1.50 | 2.14 | 3.10 | 5.98 | 0.28 | 0.32 | 0.4 | 0.5 | | |
| RC32LLC | 0.70 | 0.13 | 5.24 | 0.14 | 0.49 | 0.70 | 1.84 | 5.24 | 0.28 | 0.37 | 0.82 | 0.83 | Moreno (2006) | |
| RC32MLC | 1.42 | 0.08 | 5.11 | 0.12 | 0.99 | 1.42 | 2.34 | 5.11 | 0.28 | 0.36 | 0.5 | 0.61 | | |
| RC32HLC | 1.89 | 0.06 | 4.68 | 0.08 | 1.32 | 1.89 | 2.59 | 4.68 | 0.28 | 0.29 | 0.34 | 0.45 | | |
| RC4LLC | 0.32 | 0.58 | 2.48 | 0.88 | 0.22 | 0.32 | 0.86 | 2.48 | 0.18 | 0.65 | 0.74 | 0.533 | RISKUE- (Milutinovic & Trendafiloski (2003) | AUTH Edificios de bajo diseño sismo resistente (Low code) |
| RC4MLC | 0.82 | 0.33 | 4.87 | 0.45 | 0.57 | 0.82 | 1.83 | 4.87 | 0.18 | 0.65 | 0.74 | 0.533 | | |
| RC4HLC | 2.81 | 0.36 | 9.88 | 0.41 | 1.97 | 2.81 | 4.58 | 9.88 | 0.18 | 0.65 | 0.65 | 0.53 | | |
| S1LLCHZ | 0.38 | 0.06 | 5.59 | 0.19 | 3.302 | 5.2578 | 11.125 | 27.54 | 0.671 | 0.68 | 0.68 | 0.891 | Hazus (FEMA/NIBS 2003) - Low Code | Corresponde a la tipología S1 |
| S1MLCHZ | 1.12 | 0.04 | 11.28 | 0.12 | 5.334 | 8.7376 | 18.542 | 45.72 | 0.547 | 0.68 | 0.77 | 0.912 | | |

Anexo B: Parámetros de los espectros de capacidad y curvas de fragilidad de las tipologías estructurales

| Tipología | Parámetros del espectro de capacidad (bilineal) | | | | Parámetros de las curvas de fragilidad | | | | | | | | Fuente | Notas |
|-----------|---|------------------------|-------------------------|------------------------|--|------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|----------|-----------|----------|---|----------------------------------|
| | Cedencia | | Capacidad última | | Valores medios (\bar{S}_d) | | | | Desviaciones típicas (β) | | | | | |
| | S _{dy} (cm) | S _{ay} (g) | S _{du} (cm) | S _{au} (g) | Leve (cm) | Moderado (cm) | Extensivo (cm) | Completo (cm) | Leve | Moderado | Extensivo | Completo | | |
| S4LLCHZ | 0.25 | 0.08 | 2.74 | 0.18 | 2.1844 | 3.5052 | 8.8138 | 24.003 | 0.981 | 0.91 | 0.82 | 0.912 | Hazus FEMA/NIBS 2003) - Low Code | Corresponde a la tipología S4 |
| S4MLCHZ | 0.69 | 0.07 | 5.21 | 0.15 | 3.6576 | 5.8674 | 14.681 | 40.005 | 0.658 | 0.68 | 0.83 | 0.922 | | Corresponde a la tipología S4 |
| S3LLCHZ | 0.30 | 0.10 | 3.05 | 0.20 | 1.651 | 3.302 | 8.2296 | 19.202 | 1.027 | 0.97 | 0.92 | 0.881 | | Corresponde a la tipología S5 |
| S3MLCHZ | 0.86 | 0.08 | 5.77 | 0.17 | 2.7432 | 5.4864 | 13.716 | 32.004 | 0.671 | 0.7 | 0.79 | 0.912 | | |
| S3HLCHZ | 2.77 | 0.06 | 13.84 | 0.13 | 4.2672 | 8.5598 | 21.387 | 49.936 | 0.575 | 0.62 | 0.82 | 0.902 | | |
| RC6LB | 5.00 | 0.067 | 8.67 | 0.067 | 3.50 | 5.00 | 5.92 | 8.67 | 0.178 | 0.2 | 0.2 | 0.191 | Biondini et al. (2008) y Biondini et al. (2010) | |
| RC6MB | 11.33 | 0.067 | 18.00 | 0.067 | 7.93 | 11.33 | 13.00 | 18.00 | 0.178 | 0.2 | 0.2 | 0.165 | | |
| RC5LB | 1.33 | 0.067 | 6.67 | 0.067 | 0.93 | 1.33 | 2.67 | 6.67 | 0.18 | 0.2 | 0.2 | 0.46 | Wilson et al. (2008) | |
| W1LCHZ | 0.6096 | 0.2 | 10.973 | 0.6 | 1.27 | 3.175 | 9.8044 | 24.003 | 0.86 | 0.91 | 0.95 | 0.922 | Hazus - Low Code | Corresponde a la tipología W1 |

Referencias

- Biondini, F., Toniolo, G., Tsionis, G. (2008) "Seismic design criteria for multi-storey precast structures". *The 14 th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Biondini, F., Toniolo, G., Tsionis, G. (2010) "Capacity Design and Seismic Performance of multy storey precast structures". *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 14(1), 11-28
- Bonett, R. (2003) "Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- FEMA/NIBS (2003) "Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model HAZUS@MH MR4" Technical Manual. Department of Homeland Security, Emergency Preparedness and Response Directorate, Mitigation Division and National Institute of Building Sciences Washington, D.C. [En línea]. Disponible en: <http://www.fema.gov/protecting-our-communities/hazus> [Última consulta 25/09/2012]
- Giovanazzi, S (2005) "The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis". Department of Civil Engineering of the Technical University Carolo-Wilhelmina at Braunschweig. Faculty of Engineering Department of Civil Engineering of the University of Florence. Tesis doctoral. 222pp

Milutinovic ZV, Trendafiloski GS (2003), “WP4: Vulnerability of current buildings”. Risk-UE project Handbook. Sep. 2003. Risk-UE project report. 111 pp

Moreno, R. (2006) “Análisis no lineal estático y dinámico para la evaluación del riesgo sísmico en edificios. Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. [En línea]. Disponible en:
<http://www.tdx.cat/TDX-0702107-165654> [última consulta 25/09/2012]

Ruiz-García, J. Terán-Gilmore, A., Zuñiga-Cuevas, O. (2010) “Simplified drift-based fragility assessment of confined masonry buildings”. Proceedings of the 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering. Compte Rendu de la 9ième Conférence Nationale Américaine et 10ième Conférence Canadienne de Génie Parasismique. July 25-29, 2010, Toronto, Ontario, Canada. Paper No 1240

Anexo C: daños observados en centros educativos y en instalaciones de salud luego del terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011

Resumen:

El 11 de mayo de 2011 ocurrieron dos terremotos de magnitudes Mw 4.5 y 5.1 en Lorca España. De 542 edificios inspeccionados, el 44% fueron calificados como habitables, el 39% tuvieron acceso restringido para retirar bienes y sobre el 17% se prohibió su ocupación. Con el fin de realizar una evaluación de los daños y conocer aspectos sobre el manejo de la emergencia, se organizó una misión compuesta por responsables de la Asociación Española de Ingeniería Sísmica (AEIS), el Instituto Geológico de Cataluña (IGC), La universidad Politécnica de Cataluña (UPC), la Association Française du génie Parasismique (AFPS) y el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Uno de los objetivos de esta misión fue evaluar los efectos en edificios esenciales y de importancia especial. De esta manera, en este documento se presenta una descripción de los daños estructurales y no estructurales observados en centros educativos y en instalaciones de salud, así como un resumen del estado de funcionamiento de esta infraestructura y las medidas adoptadas para administrar la emergencia y restablecer los servicios. Para calificar los daños se empleó la guía técnica de inspección de edificios después de un sismo, elaborada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS 2002). En el caso del hospital, se consideran de utilidad los manuales de evaluación del índice de seguridad hospitalaria de la Organización Mundial de la Salud (WHO 2008).

C.1 Introducción y objetivos

Lorca es un municipio de la Región de Murcia, España. Tiene una superficie de 1.675 km². La población estimada a 2011 es de 113.109 habitantes (CREM 2011 a). El 22,5% es menor de 20 años, el 63,9% se encuentra entre 20 y 65 años, y el 13,6% representa la población adulta mayor de 65 años. Entre el año 2002 y el año 2009, la población inmigrante extranjera llegó a ser de 16.847 habitantes, representando cerca del 16% del total para ese año. El paro registrado al 2009 fue de 6.152 habitantes, lo que representa una tasa del 6% para dicho año (CREM 2011 b).

Lorca está ubicada en una zona peligrosidad sísmica considerable. De acuerdo a la Norma de Construcción Sismo Resistente Española (NCSE-02), la aceleración básica esperada para un evento de período de retorno de 500 años es de 0.12g (ver Figura C. 1).

El 11 de mayo de 2011 ocurrieron dos terremotos de magnitudes Mw 4.5 y 5.1 en Lorca. Los parámetros de los eventos se presentan en la Tabla C. 1. En la Figura C. 2 se presenta un mapa de intensidades del segundo evento. La aceleración máxima observada en el registro de la componente Norte 30°O fue cercano a 0.37g (ver Figura C. 3). En cuanto a los daños, de 542 edificios inspeccionados, el 44% fueron calificados como habitables, en el 39% se habilitó su acceso temporalmente para retirar bienes y sobre el 17% se prohibió su ocupación (La Vanguardia 12/05/2011). 9 personas murieron a causa del evento.

Tabla C. 1 Parámetros de los terremotos del 11 de mayo de 2011

| Hora (GMT) | Latitud | Longitud | Profundidad (km) | Magnitud (Mw) | Intensidad Máxima |
|------------|---------|----------|------------------|---------------|-------------------|
| 15:05:13 | 37.7041 | -1.6812 | 2 | 4.5 | VI |
| 16:47:25 | 37.6946 | -1.6756 | 3 | 5.1 | VII |

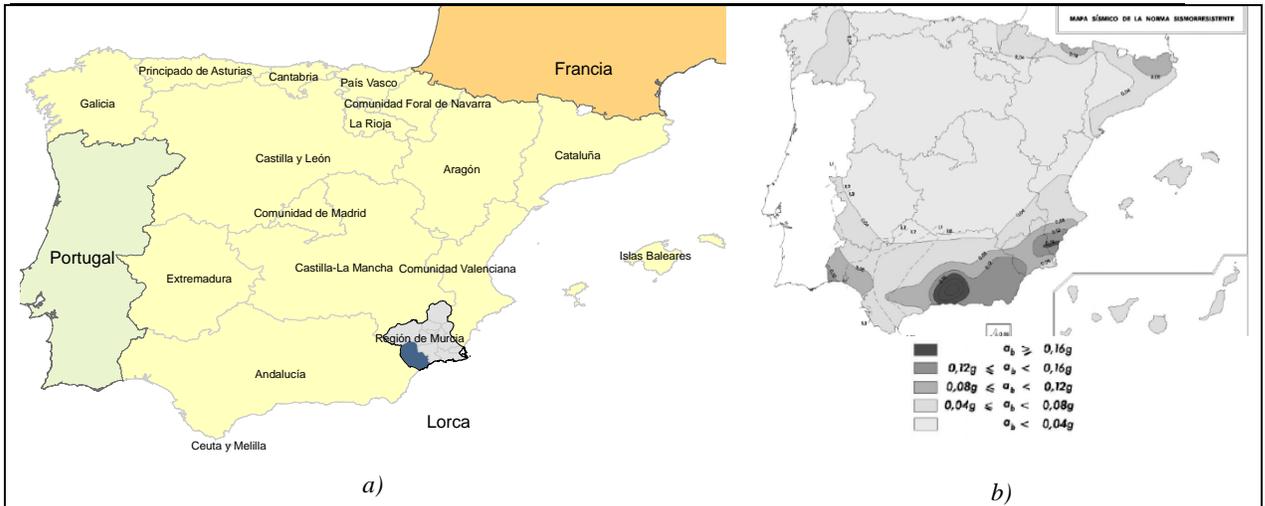


Figura C. 1 a) Ubicación geográfica de Lorca; b) mapa de aceleración básica esperada en España para un periodo de retorno de 500 años

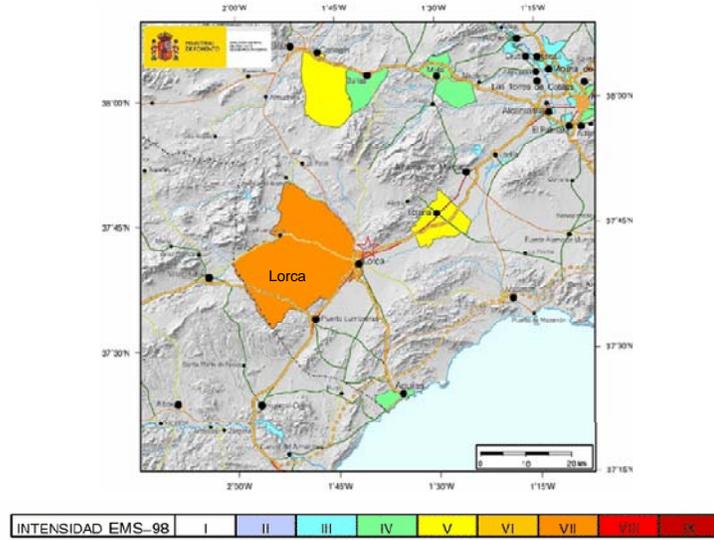


Figura C. 2 Mapa de intensidades del terremoto de Lorca del 11 de Mayo de 2011

Fuente: Instituto Geológico Nacional: www.ign.es

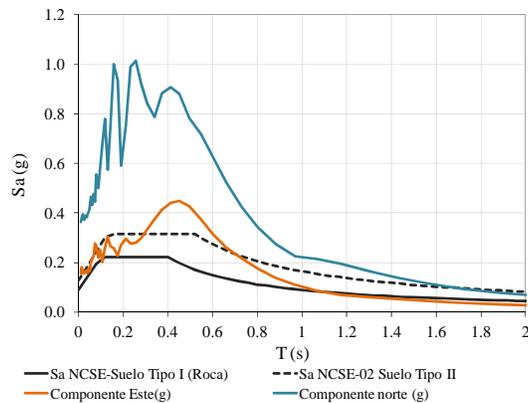


Figura C. 3 Espectros de respuesta (5% amortiguamiento) de las dos componentes horizontales del registro de aceleración del terremoto (Norte y Este); espectros de respuesta elástica de la NCSE-02 normalizados al PGA considerado por la norma

Fuente (Goula et al. 2011)

Con el fin de realizar una evaluación de los daños y conocer aspectos sobre el manejo de la emergencia, se organizó una misión entre los días 24 y 28 de mayo, compuesta por responsables de la Asociación Española de Ingeniería Sísmica (AEIS), el Instituto Geológico de Cataluña (IGC), La universidad Politécnica de Cataluña (UPC), la Association Française du génie Parasismique (AFPS) y el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

Los objetivos principales de la misión fueron: 1) Evaluar los daños y el comportamiento de los edificios según tipologías estructurales; 2) Evaluar los daños y el comportamiento de los edificios esenciales y de importancia especial; 3) Evaluar el comportamiento de las líneas vitales; 4) Comparar los daños observados con estimaciones realizadas empleando metodologías simplificadas de índices de vulnerabilidad y basadas en espectros de capacidad.

Este documento se enfoca en el segundo objetivo. De esta manera, se presentan los daños observados en centros educativos y en instalaciones de salud, así como una descripción de las actividades realizadas para la administración de la emergencia y la restauración de los servicios.

C.2 Metodología

La metodología empleada en la evaluación de daños en los centros educativos y en las instalaciones de salud se desarrolló de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Contacto con la unidad de protección civil de la zona afectada con el fin de tener autorización para el ingreso a la zona, así como un respaldo por parte de los grupos de ayuda para el desarrollo de las inspecciones de daños y la obtención de información de soporte.
- Identificación de las zonas más afectadas y de los edificios de importancia especial que presentaron daños considerables; planificación de su visita.
- Localización de los edificios a inspeccionar según direcciones y sus coordenadas a través de equipos GPS. También se empleó el sistema de Información Geográfica de Catastro para la consulta en línea de inmuebles¹. En la Figura C. 4 se presenta un plano de Lorca con la ubicación de las instalaciones de salud y educación inspeccionadas.
- Inspección de la fachada y del interior del edificio en las zonas en las cuales no se identificara peligro para el evaluador.
- Calificación de los daños: Al respecto, se adoptaron las descripciones de los tipos de daño en elementos estructurales y no estructurales del manual de campo para la inspección de edificios luego de un sismo (AIS 2002). En esta guía, los daños son calificados para cada tipo de elemento en las siguientes categorías: ninguno, leve, moderado, fuerte y severo.
- En el caso del hospital, los daños se clasifican en estructurales, no estructurales y de capacidad de respuesta, siguiendo las guías del evaluador del índice de seguridad hospitalaria (WHO 2008), así como los fundamentos para la mitigación de riesgos en instalaciones de salud (OPS 2000).

¹ Ver: Dirección General de Catastro: localizador de inmuebles: <http://www.catastro.meh.es/> [Última consulta: 13/06/2011]

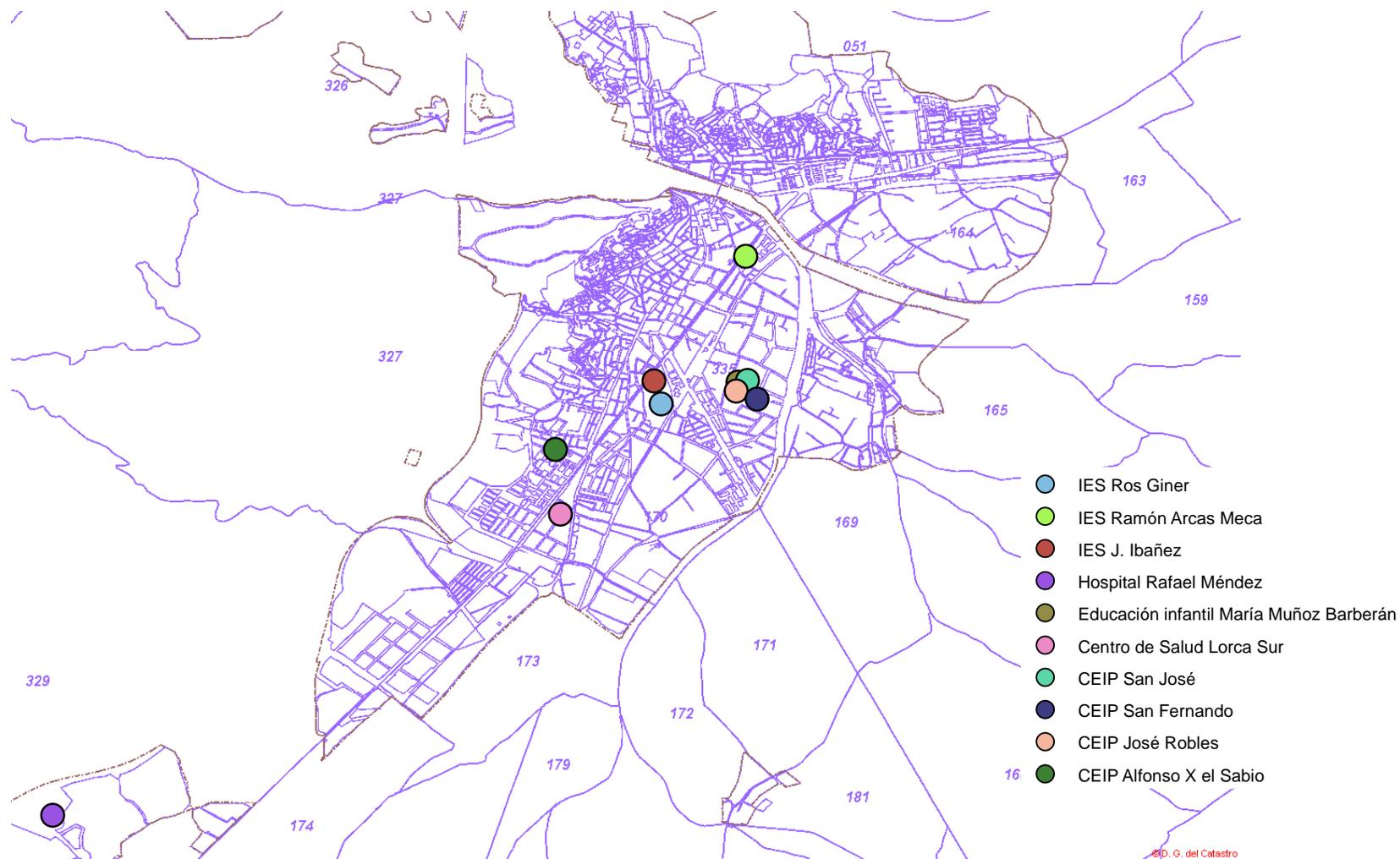


Figura C. 4 Ubicación de los edificios inspeccionados
Fuente: Sede electrónica del Catastro

C.3 Daños observados en centros educativos

En Lorca, el número de alumnos en educación infantil y primaria, en centros públicos, es de 8.450 (CREM 2010 c). El número de alumnos en Educación Secundaria Obligatoria (ESO), Bachillerato y formación profesional de grado medio y superior es cercano a 5.718 (CREM 2010 d). En Tabla C. 2 y en la Tabla C. 3 se presenta, para los Centros de Educación Infantil y Primaria (CEIP) y para los Institutos de Educación Secundaria (IES) del municipio de Lorca, un resumen del estado de funcionamiento al momento de la inspección, un resumen de los daños observados, así como el número de días transcurridos antes de la reactivación de las clases. Dado que los centros más afectados quedaron con restricciones de ocupación, se hizo necesario redistribuir a cerca de 6.600 alumnos (La Vanguardia 24/05/2011).

Tabla C. 2 Centros de Educación Infantil y Primaria

| Centro | Edificio en funcionamiento | Comentarios | Reactivación de clases (días después del evento) |
|--|----------------------------|--|--|
| Alfonso X El Sabio | No* | No fue posible realizar una inspección en el interior del edificio. Se observan grietas ligeras en las fachadas. Algunos ladrillos de la base de los muros se encuentran fisurados | 7 |
| José Robles | No* | No fue posible realizar una inspección al interior del edificio. Se encontraron fisuras en los muros de mampostería de la fachada | 7 |
| Virgen de las Huertas | No* | No fue inspeccionado | 7 |
| San Fernando | No* | No fue posible realizar una inspección al interior del edificio. Daños en los muros de fachada. | 7 |
| San José | No* | Edificio con fisuras y daños en los muros internos del edificio. Caída de elementos no estructurales. | 5-7 |
| Sagrado Corazón de Jesús | No* | No fue inspeccionado | 7 |
| Colegio concertado "Madre de Dios" | No* | No fue posible realizar una inspección al interior del edificio. Daños en muros de fachada. | 12 |
| Almendricos | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Casa del niño | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Ana Caicedo Richard | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Andrés García Soler | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Juan González | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Pérez de Hita | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Colegio concertado "San Francisco de Asís" | Si | No fue inspeccionado | 12 |
| Pilar Soubrier | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| San Cristóbal | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Escuela de Educación infantil Muñoz Barberan | Si | Sin daños | |

Fuente: Consejería de Educación Formación y Empleo. Región de Murcia (2011).

* Las clases se trasladaron a otro centro educativo

Tabla C. 3 Institutos de Educación Secundaria

| Instituto | Edificio en funcionamiento | Comentarios | Reactivación de clases (días después del evento) |
|-----------------------------------|----------------------------|---|--|
| Ramón Arcas Meca ⁴ | No* | No fue posible realizar una inspección dentro del edificio. Fisuras en muros de fachada. Los ladrillos de la base estaban fisurados. El edificio será demolido parcialmente ^{**} | 7 |
| Francisco Ros Giner ⁷ | No* | Daños estructurales graves. Se observaron fallas en pilares. Daños no estructurales graves: daños en muros divisorios y de las fachadas. Se decidió demolerlo ^{**} | 7 |
| J. Ibáñez Martín ⁴ | No* | Daños en muros divisorios y estructurales | 12 |
| Príncipe de Asturias ⁴ | Si | No fue inspeccionado | 6 |
| San Juan Bosco ⁴ | Si | No fue inspeccionado | 12 |
| Número 6 | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Sierra Almenara | Si | No fue inspeccionado | 5 |
| Pedanías Altas | Si | No fue inspeccionado | 5 |

^{**} Fuente: La verdad (08/06/2011 a y b)

En la mayoría de los casos, la reactivación y reubicación de los alumnos tardó entre 5 y 7 días luego del evento. Como respuesta, se iniciaron turnos en las tardes para los alumnos pertenecientes a los centros cerrados por los daños ocurridos. Para estos alumnos, la Consejería de Educación ofreció un servicio de transporte para su traslado a los centros de destino. Así mismo, la Consejería ofreció asistencia psicopedagógica para alumnos, profesores y familias (Lorca Informa, 20/05/2011).

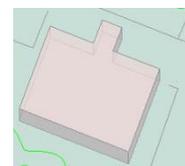
Como solución temporal se plantea instalar aulas prefabricadas. Para la reparación de los centros afectados, se consultó a los técnicos municipales la evaluación de los costos de las obras y así revisar la cobertura del Consorcio de Seguros (La verdad 08/06/2011).

A continuación se presenta, para cada uno de los centros educativos inspeccionados, una descripción general del edificio, así como los daños estructurales y no estructurales observados.

C.3.1 Jardín infantil Muñoz Barberán

a) Descripción del edificio

El jardín funciona en un edificio de pilares, vigas y forjados de hormigón armado, con muros de relleno de mampostería no reforzada. La estructura es de dos plantas sobre rasante y es regular en planta y en altura. Fue inaugurado en el año 1981 y tiene cerca de 175 alumnos. En la Foto C. 1 se presentan las fachadas del edificio



Vista en planta del centro²

² La vista en planta de las instalaciones fue obtenida del Sistema de Información Geográfica de la Sede Electrónica de Catastro

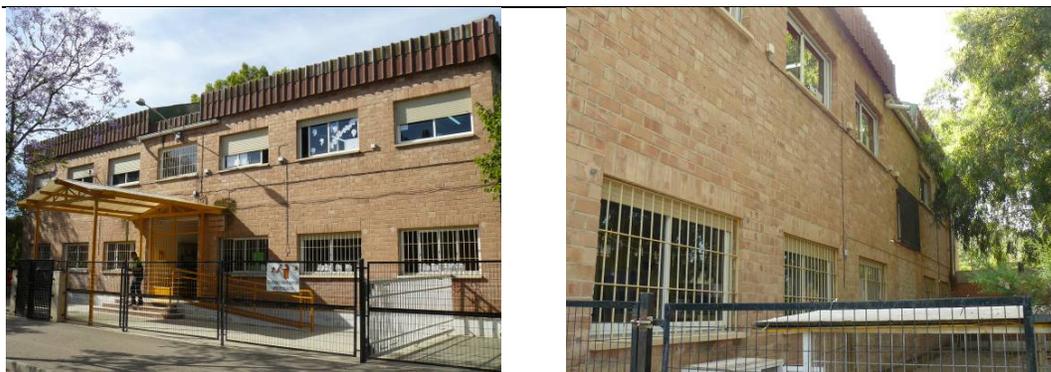


Foto C. 1 Fachadas del jardín infantil Muñoz Barberán

b) Daños estructurales

No se identificaron daños estructurales en el edificio. No se observaron fisuras en pilares, vigas y forjados. En la Foto C. 2a) se presenta un salón tipo del centro, el cual refleja el buen estado del edificio luego de los sismos.

c) Daños no estructurales

Los muros de fachada se encontraron sin daños. No se identificaron grietas visibles. Los daños observados en los muros divisorios son leves; se encontraron pocas grietas de espesor mínimo (ver Foto C. 2 b). No se identificaron daños en las escaleras ni en la cubierta.



Foto C. 2 Jardín infantil Muñoz Barberán. a) Pilares, vigas y muros de relleno sin daños visibles. b) leves fisuras en muros divisorios

C.3.2 CEIP San José

a) Descripción del edificio

El CEIP San José se encuentra en un edificio de pórticos metálicos con muros de relleno de mampostería no reforzada. Es una estructura de tres plantas sobre rasante, con alta irregularidad en planta y en altura. Se considera que fue construido entre 1975 y 1994. En la Foto C. 3 se presenta la fachada del edificio.



Vista en planta del centro



Foto C. 3 Fachada del CEIP San José

b) Daños estructurales

Los daños estructurales observados varían entre nulos y leves. Los pórticos metálicos se encuentran sin defectos visibles; si presenta deformaciones, éstas son menores o casi imperceptibles.

c) Daños no estructurales

Los daños observados en muros de fachada son leves; se identificaron pocas zonas con grietas de poco espesor. Los muros divisorios presentaron daños entre fuertes y severos ya que se encontraron agrietamientos diagonales de espesor considerable, así como el desprendimiento de algunas piezas y el aplastamiento de la mampostería (ver Foto C. 4 yFoto C. 5). En este caso se observa que los muros divisorios envuelven a los pórticos. Debido a los desplazamientos del sistema estructural, los muros resultaron afectados.



Foto C. 4 Daños en muros divisorios en la conexión entre las vigas y pilares metálicos



Foto C. 5 Grietas diagonales en muros divisorios

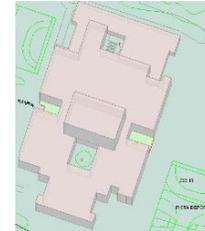
Los daños encontrados en la escalera son entre moderados y fuertes; se encontraron zonas agrietadas a lo largo de la escalera, así como en sus apoyos. En cuanto a la cubierta del edificio, no se identificaron daños.

Respecto al mobiliario, en el momento de la inspección no se identificaron elementos que hubieran podido obstaculizar las rutas de salida, así como con su caída afectar la seguridad de los ocupantes. No obstante, pocos elementos se encuentran anclados.

C.3.3 CEIP José Robles

a) Descripción del edificio

El CEIP José Robles se encuentra en una estructura de dos plantas sobre rasante, con alta irregularidad en planta y en altura. En este edificio no fue posible realizar una inspección a su interior, de tal forma que no se pudo determinar con mayor detalle su tipología estructural ni describir sus daños estructurales y no estructurales. Desde el exterior se aprecian vigas metálicas y forjados de hormigón armado. Por el periodo de construcción, se considera que puede ser un sistema de pórticos, pero no se conoce el material de los elementos estructurales. En la Foto C. 6 se presenta la fachada del edificio



Vista en planta del centro



Foto C. 6 Fachada del CEIP José Robles

b) Daños observados

Se aprecian daños entre moderados y fuertes en los muros de fachada; se encontraron agrietamientos diagonales (ver Foto C. 7).



Foto C. 7 Daños en muros de fachada

C.3.4 CEIP San Fernando

c) Descripción del edificio

El CEIP San Fernando se encuentra en una estructura de tres plantas sobre rasante, con alta irregularidad en planta y en altura. Se considera que se construyó entre 1975 y 1994. En este edificio no fue posible realizar una inspección a su interior, de tal forma que no se pudo determinar con mayor detalle su tipología estructural ni describir sus daños estructurales y no estructurales. Al ser una estructura con múltiples aberturas en las fachadas, se considera por descarte que puede ser un sistema de pilares, vigas y forjados, pero se desconoce el material de los elementos estructurales. En la Foto C. 8 se presenta la fachada del edificio



Vista en planta del centro



Foto C. 8 Fachadas del CEIP San Fernando

d) Daños observados en el edificio

Se aprecian daños fuertes en los muros de fachada; se encontraron agrietamientos diagonales (ver Foto C. 9).

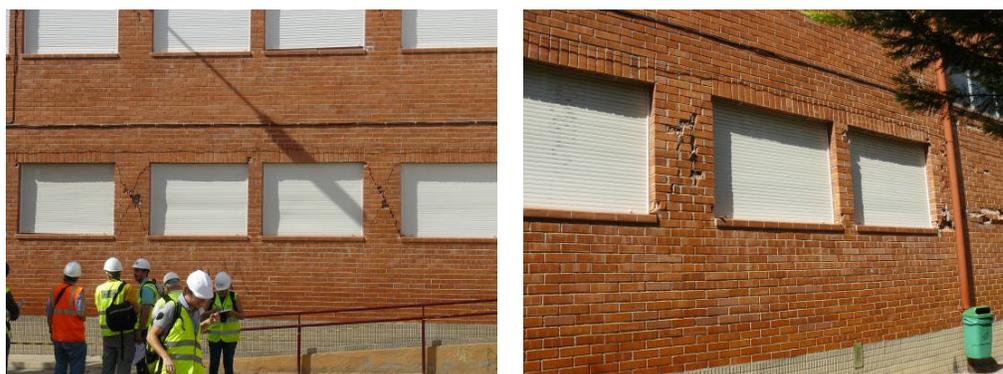
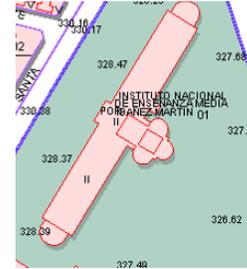


Foto C. 9 Fisuras diagonales de los muros de las fachadas

a) Descripción del edificio

Este instituto se aloja en una estructura compuesta. Fue inaugurado en 1944. El edificio original es de muros de carga de mampostería no reforzada; las unidades de los muros son piedras poco talladas, así como ladrillos. El instituto fue ampliado entre los años 2002 y 2004, con una estructura de pilares y forjados reticulares de hormigón armado. El edificio es de planta rectangular alargada; tiene dos plantas sobre rasante y es regular en altura. En la Foto C. 10 se presenta la fachada del Instituto.



Vista en planta del IES



Foto C. 10 Fachada del IES J. Ibañez Martín

b) Daños estructurales

Los daños en los muros del edificio se consideran moderados. Se encuentran agrietamientos diagonales y múltiples fisuras en los muros perimetrales del edificio (Foto C. 11).



Foto C. 11 Fisuras en muros estructurales

c) Daños no estructurales

Los daños observados en los muros divisorios son entre fuertes y severos. En la mayoría de los muros de partición del edificio se evidenciaron agrietamientos diagonales, desprendimiento de piezas y

aplastamiento de las unidades de mampostería. Al momento de la visita, algunos de los muros ya habían sido removidos (Ver Foto C. 12 y Foto C. 13).



Foto C. 12 Fallas de las unidades de mampostería y fisuras diagonales en muros de división



Foto C. 13 Agrietamientos diagonales en los muros de piedra

Los daños encontrados en la escalera son entre moderados y fuertes; se encontraron zonas agrietadas a lo largo de la escalera, así como en sus apoyos (Ver Foto C. 14). En cuanto a la cubierta del edificio, no se identificaron daños.



Foto C. 14 Agrietamientos en los muros de la escalera

En cuanto al mobiliario, en el momento de la inspección no se identificaron elementos que hubieran podido obstaculizar las rutas de salida, así como con su caída afectar la seguridad de los ocupantes. No obstante, pocos elementos se encuentran anclados (ver Foto C. 15).

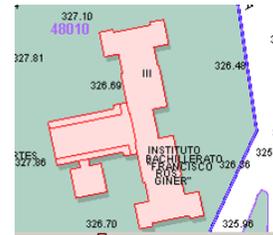


Foto C. 15 Falta de protección de elementos de mobiliario

C.3.6 IES Francisco Ros Giner

a) Descripción de la estructura

Este instituto se encuentra en un edificio de pilares y forjados de hormigón armado. Es una estructura de tres plantas sobre rasante con alta irregularidad en planta. Su configuración en altura es regular. Fue construido hacia el año 1961. La fachada del edificio se presenta en la Foto C. 16.



Vista en planta del IES



Foto C. 16 Fachadas del IES Ros Giner

b) Daños estructurales

Los daños estructurales observados son entre fuertes y severos. En este edificio se encontraron fallas en varios pilares del edificio. Se identificaron fisuras y fallas del hormigón en la conexión con el forjado; pérdida del recubrimiento, exposición y leve deformación de las barras de refuerzo longitudinal (ver Foto C. 17). Se resalta la falta de refuerzo a cortante en la conexión del pilar con el forjado, así como el uso de redondos de acero torsionados.



Foto C. 17 Fallas en pilares del edificio

c) Daños no estructurales

Los daños observados en los muros de fachada y divisorios son entre fuertes y severos. Se presentó la caída del recubrimiento y fallas de las unidades de mampostería en la fachada (ver Foto C. 18). Se encontraron agrietamientos diagonales en muros de de partición, así como la pérdida del recubrimiento (ver Foto C. 19 y Foto C. 20).



Foto C. 18 Caída del recubrimiento en muros de fachada



Foto C. 19 Fisuras diagonales en particiones y muros de fachada



Foto C. 20 Fisuras diagonales en muros interiores

Los daños encontrados en la escalera son entre moderados y fuertes; se encontraron zonas agrietadas a lo largo de la escalera, así como en sus apoyos. No se identificaron daños en la cubierta del edificio. En cuanto al mobiliario, se encontró que pocos elementos se encuentran bien anclados.

C.3.7 *CEIP Alfonso X el Sabio; IES Ramón Arcas Meca*

En estos centros educativos no fue posible realizar una visita al interior, de tal forma que no fue posible describir con mayor detalle los daños estructurales y no estructurales, así como sus tipologías estructurales.

El CEIP Alfonso X el Sabio fue inaugurado hacia 1958. Es un edificio de planta alargada con varios retrocesos. Tiene dos plantas sobre rasante y es regular en altura. Por el periodo de construcción se considera que puede ser un edificio de muros de carga de mampostería no reforzada. En la Foto C. 21 se presentan las fachadas de este centro.



Foto C. 21 Fachadas del CEIP Alfonso X el Sabio

El IES Ramón Arcas Meca es un edificio compuesto. Fue construido hacia 1956. Por el periodo de construcción se considera que puede ser un edificio de muros de carga de mampostería no reforzada. Tiene tres plantas sobre rasante. Es irregular en planta y en altura. En la Foto C. 22 se presentan las fachadas de este centro.

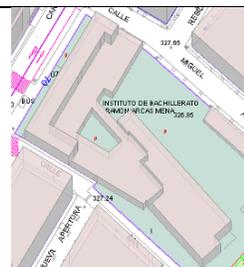


Foto C. 22 Fachadas del IES Ramón Arcas Meca

Fuente: Google maps

a) Daños observados

En estos dos centros, los daños observados en los muros de fachada son entre moderados y fuertes. En la inspección se identificó el aplastamiento local de la mampostería, así como agrietamientos diagonales.



Foto C. 23 Falla de las unidades de mampostería y de los muros de fachada del CEIP Alfonso X el Sabio



Foto C. 24 Falla de las unidades de mampostería y de los muros de fachada del IES Ramón Arcas Meca

C.4 Daños observados en instalaciones de salud

La atención socio sanitaria en la Región de Murcia está a cargo del Servicio Murciano de Salud, el cual se encuentra organizado en IX Gerencias de Áreas de Salud. Para el año 2010, cuenta con un total de 3.047 camas en centros públicos (León-Léon, et al, 2011). En el municipio de Lorca, los equipamientos de salud están conformados por el Hospital Rafael Méndez y varios centros de salud. Ante los sismos del 11 de mayo, estas instalaciones sufrieron daños que afectaron su funcionalidad (ver Tabla C. 4).

El Hospital Rafael Méndez es el de referencia para La Gerencia III de Salud (Lorca). Está ubicado en la diputación de la Torrecilla, fuera del centro urbano de Lorca. Cuenta con 280 camas, 6 quirófanos, 2 salas de parto, 38 locales de consulta, 13 puertos de Hemodiálisis, 8 Puestos Oncohematológicos, 1 puesto de Hospital de día- SIDA, 6 puestos de hospital de día quirúrgicos, 10 ecógrafos, una unidad TC, un mamógrafo, 6 salas convencionales de Rayos X, 2 telemandos de Rayos X y 4 arcos multifunción Rayos X³. En este hospital, la media diaria de emergencias, en situaciones normales, es de 170 (Consejería de Sanidad y consumo 2011e).

Tabla C. 4 Instalaciones de salud del municipio de Lorca

| Instalación | Comentarios |
|---------------------------------|---|
| Hospital Rafael Méndez | Sin daños estructurales. Daños en falsos techos y en algunos muros divisorios. Varios servicios quedaron inhabilitados. |
| Centro de Salud Lorca Centro | Sufrió importantes daños estructurales. Su actividad se trasladó a Santa Rosa de Lima (Consejería de Sanidad y consumo 2011f). Se resalta que estaba previsto demoler el edificio y reemplazarlo con una nueva construcción de 3000 m ² , cuyo valor sería cercano a 4.8 millones de euros y cuyo equipamiento podría costar 500.000 euros (La verdad 11/05/2011). |
| Centro de Salud Lorca San Diego | Presentó daños no estructurales. La reactivación de sus servicios se estimó que tardaría una semana (Consejería de Sanidad y consumo 2011e). |
| Centro de Salud Lorca Sur | Presentó daños no estructurales. Edificio con restricción de ocupación. La asistencia sanitaria se traslado al centro de Salud Mental (Consejería de Sanidad y consumo 2011g). |

A continuación se presenta una descripción de la tipología estructural, así como de los daños observados en el centro de Salud Lorca Sur y en el Hospital Rafael Méndez, clasificándolos en estructurales y no estructurales. Por último, se presenta una descripción de los aspectos funcionales y de capacidad de respuesta del hospital frente a la emergencia. A partir de estas observaciones se establece una valoración

³ Ver página web del Hospital Rafael Méndez: <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=6275&idsec=977> [Última consulta 01/06/2011]

general del hospital, siguiendo una metodología similar al Índice de Riesgo de hospitales, propuesto en Valcárcel et al (2011).

C.4.1 Centros de salud Lorca Sur

a) Descripción del edificio

El Centro de Salud Lorca Sur se encuentra en un edificio de pilares y forjados de hormigón armado. Tiene tres niveles sobre rasante y es regular en planta y en altura (ver Foto C. 25). Está ubicado en terreno pendiente. La cubierta es ligera, de estructura metálica. En cuanto a los pilares, algunos cambian de sección, siendo rectangulares en la planta baja y circulares en la primera. Debido a esto, no se puede asegurar que exista continuidad de los pilares en las dos plantas



Vista en planta del centro



Foto C. 25 Fachadas del Centro de Salud Lorca - Centro

b) Daños estructurales

Los daños estructurales observados en el centro de salud son entre nulos y leves. No se identificaron fisuras significativas en pilares y forjados en la estructura.

c) Daños no estructurales

Los daños observados en muros de fachada son entre moderados y fuertes. Se observan grietas diagonales y dislocación de piezas (ver Foto C. 26). Los muros divisorios presentaron daños moderados ya que se encontraron agrietamientos diagonales, así como el desprendimiento los elementos de recubrimiento (ver Foto C. 27).



Foto C. 26 Daños en muros de fachada

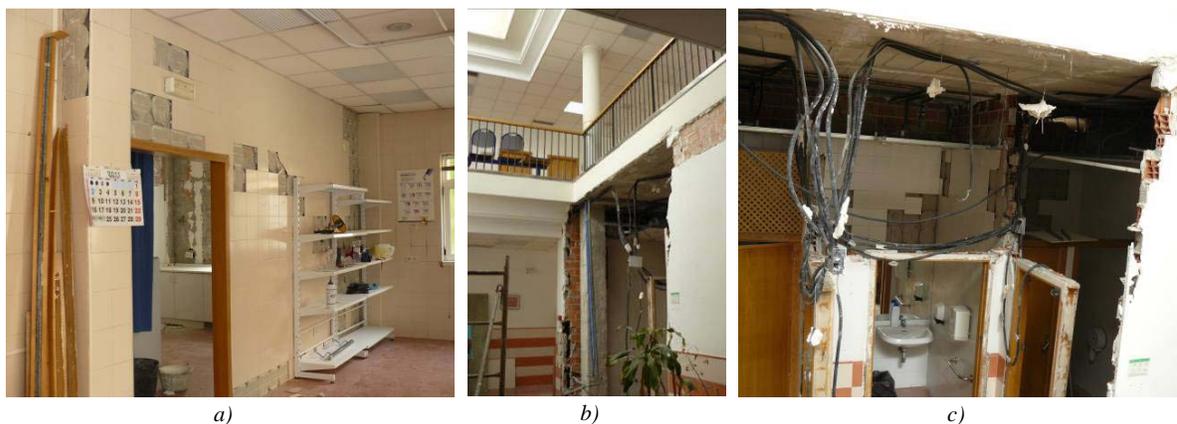


Foto C. 27 Daños en muros divisorios: a) caída de elementos de recubrimiento b) y c) Muros derribados durante la reparación

En algunas zonas del centro de salud, los daños observados en los falsos techos son fuertes. Se encontraron elementos agrietados y colapsos parciales (ver Foto C. 28).



Foto C. 28 Caída de falsos techos

Los daños encontrados en la escalera son leves; se encontraron grietas pequeñas que no afectan su seguridad y uso. En cuanto a la cubierta del edificio, no se identificaron daños (ver Foto C. 29).

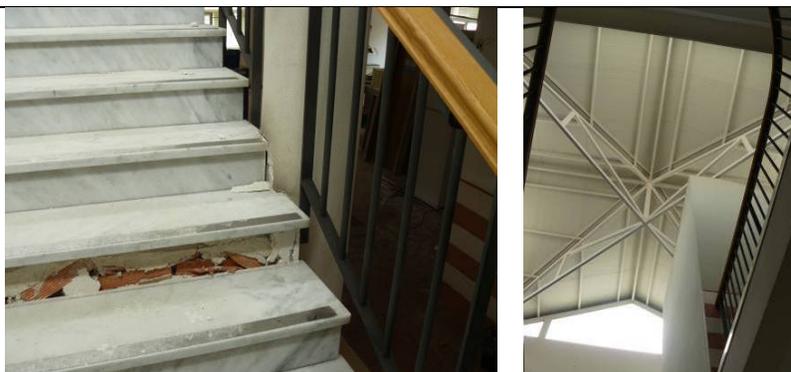


Foto C. 29 a) Daños leves en la escalera b) Estado de la cubierta

C.4.2 Hospital Rafael Méndez

a) Descripción de la estructura

El hospital se encuentra en una estructura modular compuesta. El edificio original fue inaugurado en 1990 y su estructura es de pilares y forjados de hormigón armado. La instalación fue ampliada con una estructura de pórticos de acero con muros de relleno de mampostería no reforzada. El edificio es de cuatro plantas sobre rasante y es irregular en planta y en altura. Está ubicado en terreno pendiente. Entre las reformas que se han realizado al edificio, se encuentra la construcción de contrafuertes para garantizar la estabilidad (ver Foto C. 30).



Vista en planta del hospital
Fuente: Sede electrónica del Catastro

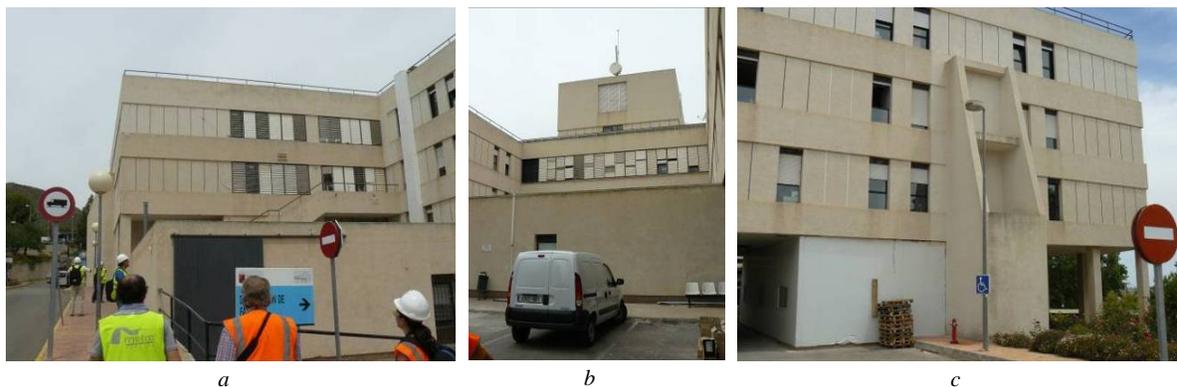


Foto C. 30 a y b) Fachadas del hospital; c) contrafuertes añadidos al hospital

a) Daños estructurales

Los daños estructurales en el hospital fueron entre nulos y leves. No se identificaron fisuras significativas en pilares y forjados en la estructura original, ni tampoco deformaciones apreciables en los pórticos metálicos. En las juntas de dilatación de la estructura se encontraron desplazamientos que no representan daños estructurales considerables (ver Foto C. 31).



Foto C. 31 Desplazamientos de la junta de dilatación

b) Daños no estructurales

A pesar de que los daños estructurales fueron nulos y leves, se produjeron daños severos en elementos no estructurales que limitaron la funcionalidad del hospital. A continuación se hace una descripción de éstos, clasificándolos según el tipo de elemento: arquitectónicos, mobiliario, el equipo médico, así como los tanques de almacenamiento de gases.

▪ Elementos arquitectónicos:

En la mayoría de los muros de fachada del hospital se encontraron daños entre nulos y leves. Se identificaron pocas zonas con daños entre graves y severos con agrietamientos y desprendimiento de los elementos de recubrimiento (ver Foto C. 32).



Foto C. 32 Colapso de muros de fachadas y recubrimientos de fachadas

Los daños observados en los muros internos son leves. No se identificaron zonas con agrietamientos apreciables. En los muros de la escalera se presentaron fisuras que fueron remediadas rápidamente. También se presentaron fallas puntuales en las ventanas de la instalación (ver Foto C. 33).



Foto C. 33 a) fisuras en muros de escalera, b) ruptura de ventanas

En algunas zonas del hospital, los daños observados en los falsos techos varían entre fuertes y severos (ver Foto C. 34). Durante la inspección, en el área cercana a los servicios de radiología, se estaban realizando obras para su rehabilitación.

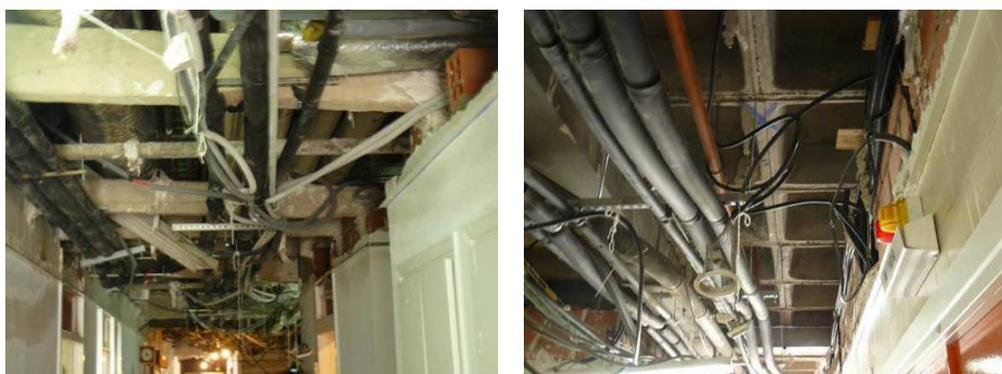


Foto C. 34 Daños en los falsos techos

- **Mobiliario**

Durante la inspección no se identificaron zonas obstaculizadas por estanterías y elementos de mobiliario y oficina. No obstante, se observó que pocos se encuentran anclados a los muros o al suelo. Así mismo, pocos cuentan con protecciones que sujeten e impidan la caída de los contenidos (ver Foto C. 35), tal como se sugiere en el manual del evaluador del Índice de Seguridad de Hospitales (WHO 2008) y en las indicaciones para la rehabilitación sísmica incremental de hospitales (FEMA 396).



Foto C. 35 Conexión del mobiliario a los muros

- Equipo médico

El equipo médico del Servicio de Urgencias, Radiología y su Laboratorio así como el de Anatomía Patológica y Diálisis no sufrió daños (Consejería de Sanidad y consumo 2011e). En los quirófanos, se observó que la mesa de operaciones cuenta con un soporte anclado al suelo y el equipo auxiliar se encuentra sobre mesas rodantes (ver Foto C. 36). En uno de los quirófanos se observó un ligero agrietamiento en la conexión de la lámpara al techo (ver Foto C. 37).



Foto C. 36 Conexión del equipo médico en los quirófanos



Foto C. 37 Conexión del equipo médico en los quirófanos

Respecto a la seguridad de estos elementos, se recomienda que las lámparas y los equipos médicos de soporte vital en los quirófanos se encuentren perfectamente anclados. Por otro lado, el equipo auxiliar, como la mesa rodante para el aparato de anestesia, debe estar sujeta a la mesa de operaciones con seguro y con freno en el momento de su uso. Cuando los equipos se encuentren conectados a sistemas de gas, agua o vapor, es necesario que se lo estén con mangueras flexibles, con uniones giratorias y que tengan incorporadas válvulas de cierre automático. Cuando los equipos no estén en uso, deben encontrarse con freno, colocados aledaños a una pared y, si procede, algunos de ellos amarrados (WHO 2008).

En cuanto a la sala de radiología, se informó que sobre estos equipos se realiza mantenimiento periódico. Estos elementos se encuentran anclados al techo o a la pared. No se encontraron fisuras considerables que representen un peligro para su estabilidad (ver Foto C. 38). Sobre estos elementos, se recomienda un adecuado anclaje para evitar vuelcos o desplazamientos y que todas las conexiones sean flexibles (WHO 2008).



Foto C. 38 Conexión del equipo en la sala de rayos X

- Tanques de almacenamiento de gases

Durante la inspección se informó que el hospital cuenta con tanques de reserva de agua y con baterías para el suministro alterno de energía. Estos elementos no fueron inspeccionados. Respecto a los tanques de almacenamiento de gases, se encuentran fuera del hospital, en zonas aisladas y anclados en la base. Algunas de las conexiones se encuentran deterioradas (ver Foto C. 39 y Foto C. 40).



Foto C. 39 Conexión de los tanques de almacenamiento de gases



Foto C. 40 Detalle de conexión de tanques de almacenamiento

c) Aspectos funcionales y de capacidad de respuesta del hospital y del Sistema Murciano de Salud

- Evacuación del hospital y funcionalidad de las instalaciones de salud

Luego de los dos sismos del 11 de mayo, el hospital fue evacuado considerando los daños en la tabiquería, los falsos techos y en los muros de la escalera. Esta decisión fue tomada en consenso entre la

Consejería de Sanidad y Consumo y la dirección del Área de Salud III de Lorca (Consejería de Sanidad y consumo 2011a). De acuerdo a las inspecciones realizadas por técnicos del hospital, el equipo médico del Servicio de Urgencias, Radiología y su Laboratorio así como el de Anatomía Patológica y Diálisis no sufrió daños (Consejería de Sanidad y consumo 2011e).

No obstante, por los daños no estructurales dejaron de funcionar los servicios esterilización, de hospitalización, reanimación, salas de paritorios, la unidad de cuidados intensivos y hospitalización. Sólo un quirófano quedó en funcionamiento. Así mismo, los servicios de urgencia, hospital de día, el bloque de consulta externa, el laboratorio, radiología, anatomía patológica, diálisis y hematología perdieron sus servicios. Luego de las revisiones, se iniciaron medidas de rehabilitación para que estos servicios estuvieran en funcionamiento en el transcurso de la semana siguiente al evento (Consejería de Sanidad y consumo 2011e; Consejería de Sanidad y consumo 2011f).

- Traslado de pacientes

Para el traslado de pacientes se emplearon cerca de 300 ambulancias, entre vehículos del Servicio Murciano de Salud (SMS), empresas concertadas y Cruz Roja. En total fueron evacuados 270 enfermos del Hospital Rafael Méndez y 200 pacientes del Virgen del Alcázar (Consejería de Sanidad y consumo 2011c). 150 pacientes del Hospital Rafael Méndez, así como los pacientes del hospital Virgen del Alcázar, fueron trasladados a diversos centros públicos del SMS (Consejería de Sanidad y consumo 2011c).

Asimismo, fueron desalojados y reubicados los pacientes de las tres residencias de personas mayores de Lorca (Consejería de Sanidad y consumo 2011h).

- Activación de planes de emergencia y hospitales de campaña

Ante el primer sismo, la Gerencia de Emergencias Sanitarias activó el plan de alarma y movilizó 14 Unidades de Emergencias Sanitarias, así como 7 Unidades de Cuidados Intensivos móviles, un vehículo de intervención rápida y un Hospital de Campaña de la Unidad Militar de Emergencia UME). Este contó con 300 camas y un bloque quirúrgico, con capacidad para 20 camas, en el que se inició la atención a los heridos que no podían ser atendidos en el Hospital Rafael Méndez. (Consejería de Sanidad y consumo 2011b; Consejería de Sanidad y consumo 2011c, Consejería de Sanidad y consumo 2011e).

En el hospital Rafael Méndez, la coordinación de la emergencia estuvo a cargo del Jefe de Guardia, quién distribuyó el personal durante la emergencia y organizó la evacuación del edificio, identificando los pacientes que podrían salir sin poner en peligro su condición. En cuanto a la organización para la respuesta a emergencias, el personal del hospital respondió de acuerdo a sus roles establecidos en planes de emergencia (Conversación personal Hernández-Méndez, Solanger).

- Atención de servicios médicos durante la emergencia

En la emergencia, los heridos fueron clasificados de acuerdo a su severidad y urgencia de tratamiento. Así mismo, el hospital activó un plan de control de enfermedades en el campamento, desarrollando una jornada de vacunación contra varicela y tripe viral (Conversación personal Hernández-Méndez, Solanger).

Entre el 11 de mayo y hasta el 26 de mayo, se atendieron cerca de 400 personas como consecuencia directa de los terremotos. Luego del evento también se dio atención a los pacientes no relacionados con la emergencia. (Consejería de Sanidad y consumo 2011h).

- Logística y recursos empleados en la emergencia

Respecto a la logística, el hospital cuenta con un almacén con suministros médicos. Disponen de software especializado para la administración de inventarios. El personal con el que contó para la emergencia fue suficiente. Por otro lado, existe un sistema de comunicación con radio, el cual fue utilizado durante la emergencia. En la Tabla C. 5 se presenta un resumen de los recursos empleados para la administración de la emergencia.

Tabla C. 5 Resumen de recursos empleados en la emergencia

| Recurso | Institución | Cantidades |
|---|---|------------|
| Unidades de emergencias sanitarias | Gerencia de Emergencias Sanitarias | 14 |
| Unidades de Cuidados Intensivos móviles | Gerencia de Emergencias Sanitarias | 7 |
| Camas en hospital de campaña | Gerencia de Emergencias Sanitarias - Unidad Militar de Emergencia | 300 |
| Camas en bloque quirúrgico | Gerencia de Emergencias Sanitarias - Unidad Militar de Emergencia | 20 |
| Efectivos | Consejería de Justicia y Seguridad Ciudadana | 150 |
| Agentes de policía | Policías Locales de la Región de Murcia | 2800 |
| Voluntarios | Protección civil | >2000 |
| Bomberos | Protección civil - bomberos del Consorcio de Extinción de Incendios y Salvamento de la Región de Murcia | 330 |
| Personal de asistencia sanitaria | Gerencia de Emergencias Sanitarias | 64 |
| Personal de asistencia psicológica | La Consejería de Justicia y Seguridad Ciudadana | |
| | Consejería de Justicia y Seguridad Ciudadana | 10 |
| | Protección civil | 150 |
| Vehículos | Protección civil - bomberos del Consorcio de Extinción de Incendios y Salvamento de la Región de Murcia | 211 |
| Helicópteros | Consejería de Justicia y Seguridad Ciudadana | 2 |

Fuente: Consejería de Sanidad y consumo (2011h)

- Asistencia psicológica y social a los afectados

La Consejería de Justicia y Seguridad Ciudadana coordinó un grupo de personal de asistencia psicológica para atender a las personas que necesitaron ayuda para superar el desastre (Consejería de Sanidad y consumo 2011h).

Por otro lado, el SMS contactó a los consulados de diversos países para informar sobre el estado de salud de ciudadanos extranjeros. (Consejería de Sanidad y consumo 2011e). Al respecto, cerca de 1.250 ecuatorianos fueron afectados por el terremoto (El comercio del Ecuador 16/05/2011).

- Preparación para la respuesta a emergencia: ejercicios de simulación y simulacros

Antes del terremoto, el personal del hospital tuvo que solucionar una emergencia por incendio. Esto llevo a reforzar el plan de emergencias y a aumentar la capacidad de respuesta (Conversación personal con Hernandez-Méndez, Solanger). En este sentido, los profesionales del SMS realizan anualmente varios simulacros con personal de otros cuerpos como Guardia Civil, Policía Local o Bomberos (Consejería de

Sanidad y consumo 2011d). En otros simulacros se ha contado con la participación de equipos de ayuda y de la comunidad y de los centros educativos.

Días antes del terremoto, la Gerencia de Emergencias de la Región de Murcia, participó en las XX Jornadas Municipales sobre Catástrofes, celebradas en Madrid, con una Unidad Móvil de Emergencia (UME) y la presencia de profesionales sanitarios y no sanitarios del Servicio SMS junto a equipos de Valencia, Baleares, Cataluña, Asturias o Castilla y León, entre otros (Consejería de Sanidad y consumo 2011d).

d) Valoración general del Hospital Rafael Méndez

Dada la respuesta a la emergencia del terremoto del 11 de mayo, los profesionales de la sanidad y de los servicios de emergencias de la Región de Murcia recibieron la Cruz de Plata de la Orden Civil de la Solidaridad Social (Consejería de Sanidad y consumo 2011h). Esto representa una valoración positiva de la capacidad de respuesta a emergencia del hospital y en general del SMS.

Con el fin de realizar una valoración global del hospital, se presenta una adaptación del Índice de Vulnerabilidad de Hospitales (IVH). Este índice está compuesto por evaluaciones de la vulnerabilidad estructural e indicadores cualitativos de la vulnerabilidad no estructural y de la capacidad de respuesta a emergencias. El IVH varía de 0 a 100 y entre mayor es el valor del indicador, mayor es el daño y la pérdida de funcionalidad esperada en el hospital.

Para la vulnerabilidad estructural, En el IVH se estima el grado de daño medio esperado en el edificio ante un determinado escenario sísmico, empleando un método simplificado de espectros de capacidad. En la Tabla C. 6 se presentan los grados de daño y sus valores correspondientes. El grado de daño normalizado se obtiene al dividir cada estado de daño por el valor máximo, 4 en este caso. Para mayores detalles ver Valcárcel et al (2011).

Tabla C. 6 Grados de daño

| Grado de daño | Grado de daño | Grado de daño normalizado |
|---------------|---------------|---------------------------|
| Nulo | 0 | 0 |
| Leve | 1 | 0,25 |
| Moderado | 2 | 0,5 |
| Extensivo | 3 | 0,75 |
| Completo | 4 | 1 |

En cuanto a la vulnerabilidad no estructural, la fragilidad de los contenidos, del equipo médico, de los elementos arquitectónicos y de las líneas vitales, se califica en una escala cualitativa que relaciona el grado de protección de estos elementos y sus efectos en la funcionalidad del hospital. En forma similar, se evalúa la calidad de los planes de emergencia y contingencia, la preparación del personal para atender emergencias el sistema logístico y la realización de simulaciones y simulacros. En el Anexo se presentan las descripciones para la evaluación de los componentes no estructurales y de capacidad de respuesta. En la Tabla C. 7 se presenta un resumen de las calificaciones sugeridas.

Tabla C. 7 Niveles y valores de calificación de la vulnerabilidad no estructural y de la (falta de) capacidad de respuesta a emergencias

| Nivel de vulnerabilidad | Calificación |
|-------------------------|--------------|
| Bajo | 0,2 |
| Apreciable | 0,4 |
| Incipiente | 0,6 |
| Notable | 0,8 |
| Alto | 1 |

El IVH es una alternativa para *estimar* los daños estructurales *esperados* y la susceptibilidad de los elementos no estructurales. En este caso, a partir de los daños *observados* en el hospital se califica el comportamiento de los elementos estructurales y no estructurales. En cuanto a la capacidad de respuesta a emergencias, la valoración de los diferentes componentes fue realizada por el personal responsable del hospital. En la Tabla C. 8 y en la Figura C. 5 se presenta un resumen de las calificaciones obtenidas.

Tabla C. 8 Evaluación general del Hospital Rafael Méndez

| Dimensión | Componente | Descripción | Calificación | Peso (%) | [Calificación]x[Peso] |
|---|--|-------------------------|--------------|----------|-----------------------|
| Estructural | | Nulo - Leve | 0,125 | 50 | 6,25 |
| No estructural | Inmobiliario y equipo médico | Apreciable | 0,6 | 10 | 6 |
| | Elementos arquitectónicos | Apreciable-Notable | 0,7 | 10 | 7 |
| | Líneas vitales | Incipiente - Apreciable | 0,5 | 10 | 5 |
| Falta de capacidad para respuesta a emergencias | Organización para la respuesta a emergencias | Bajo-Incipiente | 0,3 | 5 | 1,5 |
| | Capacitación de personal | Apreciable | 0,6 | 5 | 3 |
| | Sistema logístico | Incipiente-Apreciable | 0,5 | 5 | 2,5 |
| | Simulación y simulacros | Incipiente | 0,4 | 5 | 2 |
| Total | | | | | 33,25 |

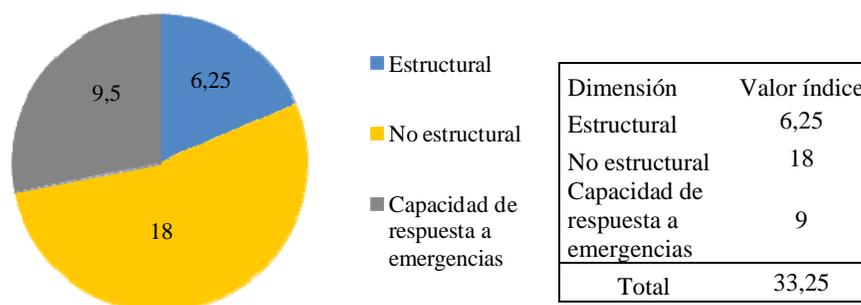


Figura C. 5 IVH del Hospital Rafael Méndez

De acuerdo al valor del índice y a los resultados de la inspección, se observa que son necesarias medidas para reducir la vulnerabilidad no estructural del edificio y mejorar la capacidad de respuesta para evitar que en futuras emergencias se ponga en riesgo a los pacientes, al personal y no se vea limite el funcionamiento de la instalación.

C.5 Comentarios finales

En este documento se presenta una descripción de los daños observados en un conjunto de centros educativos y en instalaciones de salud del municipio de Lorca, luego de los terremotos del 11 de mayo de

2011. Así mismo, se presenta un resumen del estado de funcionamiento de esta infraestructura y de las medidas adoptadas para administrar la emergencia y restablecer los servicios. Para calificar los daños se empleó la guía técnica de inspección de edificios después de un sismo, de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS 2002). En el caso del hospital, se consideraron de utilidad los manuales de evaluación del índice de seguridad hospitalaria de la Organización Mundial de la Salud (WHO 2008).

De 17 Centros de Educación Infantil y Primaria identificados en Lorca, 7 sufrieron daños que limitaron su ocupación. En cuanto a los Institutos de Educación Secundaria, de 8 centros señalados, 3 sufrieron daños que limitaron su ocupación. Las clases se reactivaron en un periodo de entre 5 y 12 días. Los alumnos de los centros con ocupación restringida (cerca de 6.600) fueron trasladados a otros en jornadas adicionales.

De los centros de enseñanza inspeccionados, dos presentaron daños estructurales considerables. En el IES Ros Giner, algunas columnas presentaron daños graves; también se identificaron daños severos en los muros de fachada y divisorios. Por su estado, se consideró la posibilidad de demolerlo. En este edificio se resalta la falta de confinamiento del pilar en la conexión con el forjado, así como el uso de redondos de acero torsionados. Por otro lado, El IES J. Ibañez Martín, presentó fisuras considerables en muros perimetrales, así como daños severos en la mayoría de los muros divisorios.

De los centros de educación inspeccionados, El Jardín Infantil Muñoz Barberán, el CEIP San José, El CEIP José Robles y el CEIP San Fernando se encuentran ubicados a poca distancia. A pesar de que no sufrieron daños estructurales considerables, los elementos no estructurales presentaron diferentes niveles de daño. Sólo el primero de éstos, ubicado en un edificio regular en planta y en altura, de pórticos de hormigón armado con muros de relleno de mampostería no reforzada, no tuvo daños apreciables. En contraste, el CEIP San José, que se encuentra en un edificio irregular de pórticos metálicos con muros de relleno de mampostería no reforzada, presentó daños entre fuertes y severos en la mayoría de los muros divisorios. En este centro se observó que los muros divisorios envuelven a los pórticos. Debido a los desplazamientos del sistema estructural, los muros resultaron afectados.

En cuanto a las instalaciones de salud, de tres centros identificados en Lorca, uno sufrió daños estructurales considerables y otros dos daños no estructurales fuertes que limitaron su funcionamiento. En la inspección del Centro de Salud Lorca Sur se identificaron daños severos en los muros de fachada y divisiones internas.

Por otro lado, en el Hospital Rafael Méndez los daños estructurales fueron entre nulos y leves. No obstante, ocurrieron daños en elementos no estructurales que limitaron su funcionamiento. La instalación fue evacuada por consenso de los responsables del hospital y sus pacientes fueron transferidos a otros centros del Servicio Murciano de Salud. En la mayoría de los muros de fachada se encontraron daños entre nulos y leves. Se identificaron pocas zonas con daños entre graves y severos con agrietamientos y desprendimiento de los elementos de recubrimiento. Los daños observados en los muros internos son entre leves y moderados; no se identificaron zonas con agrietamientos considerables. En los muros de la escalera se presentaron fisuras que fueron remediadas rápidamente. También se presentaron fallas puntuales en las ventanas de la instalación. Respecto a los falsos techos, en algunas zonas del hospital los daños observados varían entre fuertes y severos. En cuanto al equipo médico, los técnicos evaluadores del hospital los encontraron sin daños. A partir de los daños observados, fue posible realizar una evaluación general del hospital adoptando el Índice de Riesgo de Hospitales (IRH).

Referente a la protección de los elementos de mobiliario, oficina y de estantería, tanto en los centros educativos y en las instalaciones de salud, pocos se encontraron anclados al suelo o a los muros del edificio.

En cuanto a la respuesta a la emergencia, se movilizaron vehículos y personal de asistencia sanitaria y de grupos de ayuda que facilitaron el retorno a las condiciones de normalidad, así como el restablecimiento de los servicios lo más pronto posible. Como consecuencia de la organización y capacidad de respuesta, los profesionales de la sanidad y de los servicios de emergencias de la Región de Murcia recibieron la Cruz de Plata de la Orden Civil de la Solidaridad Social.

Como complemento a la administración de la emergencia y al restablecimiento de los servicios de educación y salud, es necesario iniciar la rehabilitación de los edificios afectados bajo criterios de reducción de la vulnerabilidad. Este evento señala la importancia de la evaluación del riesgo sísmico de los equipamientos de salud y educación a nivel regional, así como el desarrollo de estudios de beneficio costo que den soporte a los programas de mitigación de riesgos de los edificios ya existentes.

La mayoría de las instalaciones perdieron su funcionamiento debido a su vulnerabilidad no estructural. Este hecho debe invitar a los encargados del servicio de salud a evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de las instalaciones de la región, considerando aspectos estructurales, no estructurales y de capacidad de respuesta a la emergencia. Esto permitirá la definición de medidas preventivas y correctivas, orientadas a garantizar la seguridad de los servicios y de sus usuarios.

Así mismo, la rehabilitación de los centros educativos afectados debe fundamentarse en la seguridad de los alumnos y de las inversiones realizadas. La respuesta al evento no debe limitarse a reubicar los alumnos y buscar alternativas temporales para continuar las clases, sino en garantizar una infraestructura de calidad para los servicios de educación.

En el terremoto de Bullas del 29 de enero del 2005, el centro de salud de La Paca, ubicado en una estructura de hormigón armado de una planta con cubierta ligera metálica y cerramientos de bloque de hormigón armado, sufrió serios daños que limitaron su funcionamiento (Murphy, 2005). Las obras de reparación costaron del orden de 204.039 euros. Las intervenciones consistieron en la reparación de la estructura, los tabiques, las carpinterías interior y exterior, la reposición de falsos techos, de los revestimientos interior y exterior, así como labores de pintura de todo el edificio y repaso de las instalaciones de electricidad y fontanería. Además de rehabilitar la estructura, la intervención abrió la oportunidad para mejorar la distribución de espacios y equipamiento de las consultas, así como instalar un sistema de calefacción por caldera de gas natural (Noticias Terra 2005).

El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011 es una nueva llamada de atención sobre la gestión de la seguridad de edificios de importancia especial como instalaciones de salud y centros educativos frente al peligro sísmico. Los daños observados reflejan la fragilidad estructural y no estructural de estas instalaciones. La gestión de la seguridad implica la evaluación de riesgos, el diseño de planes de mitigación fundamentados en relaciones de beneficio costo, así como la financiación y ejecución de tales actividades. Un esquema de programas continuos de reducción de la vulnerabilidad de centros educativos y de hospitales se encuentra en los documentos FEMA 395 (2003) y FEMA 396 (2003) respectivamente. Así, las intervenciones en la reducción de la vulnerabilidad deben comprenderse como un incremento del valor de las instalaciones, el cual está asociado al aumento de su seguridad frente al peligro sísmico. De esta manera, los reforzamientos e intervenciones no estructurales pueden ser comprendidos como una inversión asociada a la mejora de los equipamientos.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica-AIS (2002) “Guía técnica para la inspección de edificaciones después de un sismo. Manual de campo”. Alcaldía mayor de Bogotá. Fondo de Prevención y Atención de Emergencias.
- CREM (2011 a) Inicio > Información estadística > Proyecciones de población de la región de Murcia 2005-2019 > Tablas. 11 Proyecciones de población por municipios. [En línea].
Disponible en: http://www.carm.es/econet/sicrem/PU_proyecciones/sec12.html
[Última consulta 14/06/2011].
- CREM (2011 b) Inicio > Municipios en cifras > Lorca en cifras >3. [En línea].
Disponible en: http://www.carm.es/econet/sicrem/PU_lorcaCifras/Indice3.html
[Fecha de actualización 11/05/2010]. [Última consulta 14/06/2011].
- CREM (2011 c) Municipios en cifras > Lorca en cifras > educación y cultura. 3. Número de alumnos matriculados en educación infantil y primaria según la dependencia del centro por sexo. [En línea].
Disponible en: http://www.carm.es/econet/sicrem/PU_lorcaCifras/sec52.html
[Fecha de actualización 11/05/2010]. [Última consulta 14/06/2011].
- CREM (2011 d) Municipios en cifras > Lorca en cifras > educación y cultura. 6. Número de alumnos matriculados en enseñanzas medias según la dependencia del centro. [En línea].
Disponible en: http://www.carm.es/econet/sicrem/PU_lorcaCifras/sec53.html
[Fecha de actualización 11/05/2010]. [Última consulta 14/06/2011].
- Consejería de Educación Formación y Empleo. Región de Murcia (2011) Información Lorca. Información centros de Lorca. [En línea]. Disponible en:
http://www.educarm.es/admin/webForm.php?mode=visualizaAplicacionWeb&aplicacion=EDUCARM_INFORMACION_LORCA&web=147&zona=ALUMNOS&menuSeleccionado=
[Última consulta 14/06/2011].
- Consejería de Sanidad y Consumo (2011a) “Sanidad desaloja el Hospital Rafael Méndez de Lorca como medida de precaución ante los dos terremotos de esta tarde” Consejería de Sanidad y Consumo - [11/05/2011]. Disponible en:
<http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=208634&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].
- Consejería de Sanidad y Consumo (2011b) “Emergencias sanitarias certifica siete fallecidos y numerosos heridos tras los terremotos en Lorca” Consejería de Sanidad y Consumo - [11/05/2011]. Disponible en:
<http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=208654&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].
- Consejería de Sanidad y Consumo (2011c) “Sanidad garantiza la asistencia sanitaria a los ciudadanos del Área de Salud III de Lorca y a los pacientes del Hospital Rafael Méndez- Consejería de Sanidad y Consumo - [12/05/2011]. Disponible en:

<http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=209014&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].

Consejería de Sanidad y Consumo (2011d) “Sanidad participa en Madrid en las Jornadas Municipales sobre Catástrofes” Consejería de Sanidad y Consumo - [12/05/2011]. Disponible en: <http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=208394&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].

Consejería de Sanidad y Consumo (2011e) “El Servicio de Urgencias del Hospital Rafael Méndez de Lorca ya está operativo” Consejería de Sanidad y Consumo - [13/05/2011]. Disponible en: <http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=209070&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].

Consejería de Sanidad y Consumo (2011f) “Sanidad reorganiza los servicios de Atención Primaria del municipio de Lorca” Consejería de Sanidad y Consumo - [13/05/2011]. Disponible en: <http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=209154&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].

Consejería de Sanidad y Consumo (2011g) “Sanidad reorganiza los servicios de Atención Primaria del municipio de Lorca” Consejería de Sanidad y Consumo - [14/05/2011]. Disponible en: <http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=209155&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].

Consejería de Sanidad y Consumo (2011h) “Profesionales de la sanidad y de los servicios de emergencias de la Región de Murcia reciben la Cruz de la Orden Civil de la Solidaridad Social” Consejería de Sanidad y Consumo - [26/05/2011]. Disponible en: <http://www.murciasalud.es/noticias.php?op=ver&id=210094&idsec=66>
[Última consulta 03/06/2011].

El Comercio del Ecuador (16/05/2011) “1250 ecuatorianos afectados por el terremoto de Lorca”. [En línea]. Disponible en: <http://elcomerciodeecuador.es/component/content/article/37-ecuatorianos-en-espana/2250-1-250-ecuatorianos-afectados-por-el-terremoto-de-lorca-.html>. [Última consulta 14/06/2011].

FEMA 395 (2003) “Incremental seismic rehabilitation of school buildings (K-12) - Providing protection to people and buildings”. Risk Management Series. [En línea]. Disponible en: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=1980>. [Última consulta 14/06/2011].

FEMA 396 (2003) “Incremental seismic rehabilitation of Hospital buildings - Providing protection to people and buildings”. Risk Management Series. [en línea]. Disponible en: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=1981>. [Última consulta 14/06/2011].

Goula, X., Irizarry, J., Figueras, S., Macau, A., Barbat, A.H., Carreño, M.L., Lantada, N., Valcárcel, J.A (2011) “El Terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011. Informe de la inspección y de los trabajos de campo realizados”. Instituto Geológico de Cataluña. Universidad Politécnica de Cataluña. Asociación Española de Ingeniería Sísmica. Generalitat de Cataluña. [En línea]. Disponible en: http://www.igc.cat/web/files/igc_mt_03_lorca.pdf [Última consulta 25/09/2012].

La verdad (11/05/2011) “El Centro de Salud Lorca Centro será demolido antes de finales de año” [En línea]. Disponible en: <http://www.laverdad.es/murcia/v/20110511/lorca/centro-salud-lorca-centro-20110511.html>. [Última consulta 14/06/2011].

La verdad (08/06/2011a) “El Ros Giner también deberá ser derruido”. [En línea]. Disponible en: <http://www.laverdad.es/murcia/v/20110608/lorca/giner-tambien-debera-derruido-20110608.html>. [Última consulta 14/06/2011].

La Verdad (08/06/2011b) “El IES Ros Giner será demolido y el Ramón Arcas será derribado en parte”. [En línea]. Disponible en: <http://www.laverdad.es/murcia/20110608/local/lorca/lorca-giner-sera-demolido-201106081424.html>. [Última consulta 14/06/2011].

La Vanguardia (12/05/2011) “El 17% de los edificios analizados en Lorca tienen daños estructurales”. [En línea]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/sucesos/20110512/54153736043/el-17-de-los-edificios-analizados-en-lorca-tienen-danos-estructurales.html>. [Última consulta 14/06/2011].

León-León, J., Ibáñez-Pérez, M.C., Hernando-Arizaleta, L., Palomar-Rodríguez, J.A. (2011) “Catálogo de Hospitales de la Región de Murcia” Serie Informes sobre el Sistema Regional de Salud, nº 0902 [En línea]. Disponible en: http://www.murciasalud.es/publicaciones.php?op=mostrar_publicacion&id=1753&idsec=88. [Última consulta 14/06/2011].

OPS (2000) “Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud”. [En línea] Disponible en: < <http://www.paho.org/Spanish/PED/fundaspa.htm> > [Última consulta 27/10/2010].

Murphy, P (2005) “Informe macrosísmico de los terremotos de Lorca de enero de 2005 [En línea]. Disponible en: http://www.iaem.es/Documentos/SismoLorca/Lorca_050129SP72.pdf [Última consulta 13/06/2011].

NCSE-02 (2002) “Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02)”. Ministerio de Fomento. Fecha de publicación: 11-10-2002. BOE: 244-2002. Pp. 35898-35966.

Noticias Terra (2005) “Sanidad invierte 204.000 euros en la reconstrucción del Centro de Salud de La Paca, en Lorca” [En línea]. Disponible en: <http://terranoticias.terra.es/articulo/html/av2674495.htm> [Última consulta 14/06/2011].

Valcárcel, J.A., Pujades, L.G., Mora, M.G., Barbat, A.H., Cardona, O.D (2011) “Evaluación integrada de la seguridad de hospitales: implicaciones en la resiliencia de las comunidades”. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras. Vol. 16, 1, 68-91 [En línea]. Disponible en: <http://www3.espe.edu.ec:8700/handle/21000/2988> [Última consulta 14/06/2011].

WHO (2008) “Índice de seguridad hospitalaria: Guía del evaluador de hospitales seguros”. Washington, D.C.: PAHO, © 2008 107 p.-- (Series Hospitals Safe from Disasters, 1) ISBN 978 92 75 13256 2. [En línea]. Disponible en:

<http://www.paho.org/spanish/dd/ped/SafeHosEvaluatorGuideSpa.pdf>. [Última consulta 14/06/2011].

Anexo D: evolución de la arquitectura escolar en Cataluña

Respecto a la seguridad de la infraestructura escolar frente al peligro sísmico, la revisión de la evolución de la arquitectura escolar se efectúa para identificar patrones de construcción, materiales empleados, técnicas constructivas, así como dimensiones y características de los espacios construidos. Estos datos son necesarios para identificar tipologías estructurales que representen adecuadamente los edificios y, sobre esta base, realizar evaluaciones simplificadas de los daños esperados.

En la Figura D. 1 se presenta la evolución de la construcción de centros a partir del año 1900 hasta el año 2010. En esta Figura se observa cómo entre 1900 y 1940 se construyeron algunos centros educativos. Entre 1940 y hasta 1960, muy pocos centros educativos fueron creados. A partir de 1960 y hasta el 2010 se observan diferentes periodos de construcción de instalaciones educativas. Uno, entre 1960 y 1980, otro entre los años 1980 y 2000, en el cual se encuentra un pico de la construcción y otro entre los años 2000 y 2010.

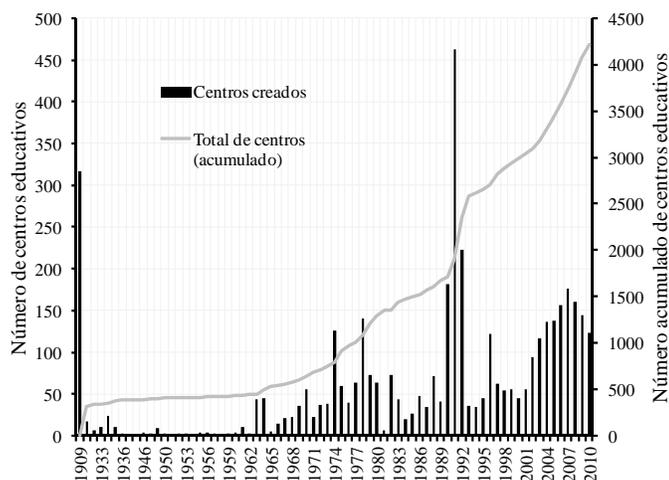


Figura D. 1 Número de centros públicos creados

D.1. Periodos de la evolución de la arquitectura escolar

A continuación se describen estas diferentes etapas, considerando los estudios sobre la evolución de la arquitectura escolar realizados por Pons (2009), así como por El Departament d'Ensenyament (2003), entre otros autores. En estos trabajos se comenta la influencia que han tenido sobre la construcción de centros de enseñanza, los modelos pedagógicos aplicados, el contexto político y la capacidad del sistema educativo para cubrir la demanda.

D.1.1 Periodo 1900-1931

Entre 1900 y 1931, la arquitectura escolar se considera monumental, de muros de mampostería no reforzada, destacándose las grandes escuelas religiosas de finales de siglo XIX. Estos edificios siguieron la estructura del convento, con un claustro alrededor del cual se disponen las aulas u otras dependencias. Son edificios del estilo historicista¹, aislados del entorno urbano, de acuerdo al modelo pedagógico

¹ El historicismo, también denominado romanticismo, desarrollado principalmente en el siglo XIX y principios del XX concentraba todos sus esfuerzos en recuperar la arquitectura de tiempos pasados. Se trataba de imitar estilos arquitectónicos de otras épocas incorporándole algunas características culturales de ese siglo mientras que la arquitectura ecléctica se dedicaba a mezclar estilos para dar forma a algo nuevo.

Ver: http://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_historicista [Última consulta 14/04/2011]

basado en el aislamiento del exterior y en la transmisión de conocimientos. Un ejemplo de este tipo de escuelas es el Col·legi Sagrat Cor de Sarrià (ver Figura D. 2).



Figura D. 2 Col·legi Sagrat Cor de Sarrià

Fuente: (<http://www.sagratcorsarria.com/>)

Entre 1900 y 1915, se inició la construcción de escuelas públicas de carácter unitario, con aulas segregadas según sexos, de acuerdo al modelo pedagógico de Eladi Homs, elaborado en el *Consell d'Investigació Pedagògica* de la Diputació de Barcelona. Estos edificios se caracterizan por ser más pequeños, de sólo una planta baja o de planta baja y un piso, siguiendo el estilo modernista y novecentista², siendo funcionales e integrados en el entorno. La escuela Palau Saverdera es un ejemplo de este tipo (ver Figura D. 3).



Figura D. 3 Palau-Saverdera Alt Empordà

Fuente (<http://www.poblesdecatalunya.cat/fotos/normal/014173.jpeg>)

Entre 1915 y 1931, se resaltan las construcciones de los grupos escolares del ayuntamiento de Barcelona, diseñadas por el arquitecto Josep Goday. Estas estructuras siguieron los modelos educativos del artista y pedagogo Manuel Ainaud, resultando edificios monumentales, del estilo neobarroco³. Los edificios están

² Los novecentistas defendieron una arquitectura y un estilo urbanístico que no sólo tenía en cuenta los valores estéticos, sino también los sociales. Durante esta etapa, la política urbanística dio un giro muy importante y se crearon grandes infraestructuras, equipamientos y viviendas para las clases sociales más desfavorecidas. Ver: http://www20.gencat.cat/portal/site/culturacatalana/menuitem.be2bc4cc4c5aec88f94a9710b0c0e1a0/?vgnextoid=d07cef2126896210VgnVCM1000000b0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=d07cef2126896210VgnVCM1000000b0c1e0aR CRD&vgnnextfmt=detall2&contentid=e9c01110e279d7210VgnVCM1000008d0c1e0aR CRD&newLang=es_ES [Última consulta 14/04/2011]

³ Se conoce como arquitectura neobarroca a la variante de la arquitectura historicista que trata en sus obras la representación del estilo barroco de tiempos pasados. Surge paralelamente al movimiento romántico que aparece en la segunda mitad del siglo XIX y se continúa en el tiempo hasta las primeras décadas del siglo XX. Ver: http://wikanda.sevillapedia.es/wiki/Arquitectura_neobarroca [Última consulta 14/04/2011]

formados por vestíbulos que estructuran los núcleos de aulas, no aisladas, que favorecen la pedagogía activa⁴. La escuela Ramón Llull es un ejemplo de este tipo (ver Figura D. 4).

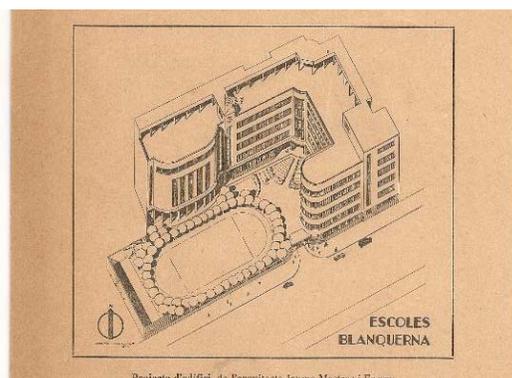


Figura D. 4 Escuela Ramón Llull (Josep Goday)

Fuente (<http://www.epdlp.com/edificio.php?id=997>)

D.1.2 Periodo 1931-1939

La política educativa durante la segunda República estuvo centrada en la organización del sistema escolar, en la reducción del analfabetismo y en el incremento de la escolarización y la renovación pedagógica (Casanovas i Prat et al. 2006). El modelo pedagógico adoptado fue el de escuela activa; los edificios siguieron el tipo de escuela corredor, con aulas a una sola banda, separadas del resto de elementos comunes y aislados del entorno. Un ejemplo de los edificios construidos en esta época corresponden a los de “Les escoles Blanquerna” (ver Figura D. 5).



Fuente:
<http://pictures.todocoleccion.net/tc/2010/02/20/17691639.jpg>



Fuente:
<http://www.elperiodico.com/resources/jpg/0/2/1289938270720.jpg>

Figura D. 5 Escoles Blanquerna (IES Menéndez y Pelayo)

Durante la segunda República, ante la necesidad de superficie escolar, el mapa escolar de urgencia, definido por el Consell de l'Escola Nova Unificada (CENU), promovió el concepto de ciudad-escuela, en el cual, además de los edificios escolares existentes, otros edificios se adaptaron para su uso como centros educativos.

⁴ La Escuela Nueva, también conocida por diferentes autores como Escuela Activa, "Nueva Educación" o incluso "Educación Nueva", es un movimiento pedagógico surgido a finales del siglo XIX. Algunos autores distinguen en este movimiento una subcorriente o corriente ya posterior y de carácter más liberal aún a la que denominan Escuela Moderna. Este movimiento critica la escuela tradicional de entonces (y que luego siguió durante buena parte del siglo XX). Criticaba el papel del profesor, la falta de interactividad, el formalismo, la importancia de la memorización (contraria a la construcción o la significatividad), la competencia entre el alumnado y, sobre todo, el autoritarismo del maestro. Proponía a un alumnado activo que pudiese trabajar dentro del aula sus propios intereses como persona y como niño. Ver: http://es.wikipedia.org/wiki/Escuela_Nueva. Última consulta [14/04/2011]

Casanovas i Prat et al. (2006) describen algunos de los edificios escolares construidos durante este periodo en la Comarca de Osona. En el municipio de Vic, se construyó la Escola de l’Horta de Sant Josep, con el nombre oficial de Ignasi Iglèsies, así como la escuela del grupo Jaume Balmes (ver Figura D. 6). Los dos proyectos estuvieron ubicados en zonas de expansión urbana y tenían características muy similares: su capacidad era para unos 300 alumnos, considerando 50 por aula. Cada uno de los dos edificios contaba con seis aulas, despacho para el director, biblioteca, guarda ropa, calefacción, baños y al costado un patio o campo de deportes con duchas. Estos centros fueron los únicos construidos durante muchos años; hasta la década de 1970 no se construyeron otras escuelas públicas en la ciudad de Vic. El uso de estos dos edificios como escuela primaria finalizó con motivo de la fusión entre las escuelas públicas de Vic para distribuir los alumnos inmigrantes.

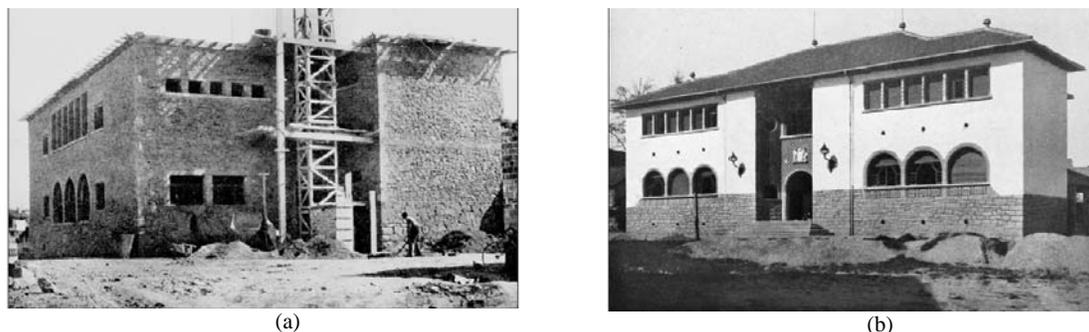


Figura D. 6 (a) Construcción de la Escuela del grupo Jaume Balmes; (b) escuela de l’Horta de Sant Josep

Fuente (Casanova i Prat et al. 2006)

Como ejemplo del esfuerzo que se realizó durante este periodo para dar cobertura educativa, en el municipio de Centelles se llevó a cabo la construcción de escuelas nuevas. El costo previsto de la obra era 234.652 pesetas, el cual superaba la capacidad financiera de un municipio, cuyo presupuesto anual ordinario era en ese entonces de 90.000 pesetas. El proyecto del CEIP Josep M. Xandri consistía de un edificio formado por tres pabellones; el central tenía dos pisos destinados a un aula de párvulos (planta baja) y, en el primer piso, una sala de actos. Los pabellones laterales estaban destinados a aulas de niños y niñas (ver Figura D. 7 y Figura D. 8). En cuanto a las características estructurales, del siguiente informe de inspección de obra se pueden recoger datos acerca del sistema estructural, material de construcción y tipo de cubierta:

“las obras están del todo terminadas, ocupando un emplazamiento adecuado y estando cerrado el campo escolar con pared de mampostería concertada. La fábrica de las paredes exteriores del edificio es de mampostería, lo que ha producido algún pequeño asiento de la piedra, sin importancia alguna, respondiendo en gruesos y alturas a los planos del proyecto aprobado, habiéndose cumplido las indicaciones que por el facultativo Sr. Benlliure, que practicó la primera inspección, se hicieron para que fueran colocadas unas bridas en las armaduras de la cubierta” (Casanova i Prat et al. 2006, p.13).

El Centre Educatiu d’Infantil y Primaria (CEIP) Josep M. Xandri ha tenido modificaciones desde entonces: en 1978, dada la incorporació del parvulario se ocupó el edificio de Las Monjas; en 1983 se alargó un ala de la escuela; en 1990 se alargó otra ala de la escuela para sala de profesores, biblioteca y más aulas, dotando de espacios para tareas de sicomotricidad y música. En el año 2003, se construyó un edificio delante de la galería para comedor y sala de música, adaptando la anterior para el aula de informática⁵. Los cambios realizados sobre esta escuela, ilustran cómo las instalaciones educativas antiguas han estado sujetas a modificaciones arquitectónicas, necesarias para satisfacer las necesidades planteadas en las leyes educativas de los periodos correspondientes.

⁵ Ver:

<http://www.xtec.cat/centres/a8027171/escola/escola501.jpg> [Última consulta 22/04/2011]

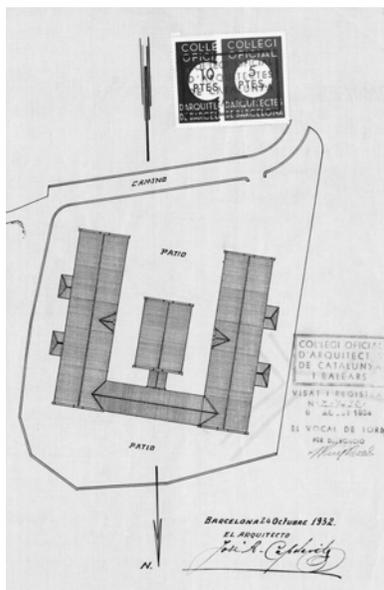


Figura D. 7 Plano de distribución del El CEIP Josep M. Xandri (Centelles)

Fuente (Casanova i Prat et al. 2006)



Figura D. 8 Foto del CEIP Josep M. Xandri (Centelles)

Fuente (Casanova i Prat et al. 2006)

D.1.3 Periodo 1939-1980

El periodo comprendido entre 1939-1980 corresponde a los años de la post guerra y a la transición a la democracia. En este periodo, la arquitectura escolar pública se caracterizó por la repetición de un esquema de edificios, sin relación con el contexto urbano. En la Figura D. 9 se presenta un ejemplo de las escuelas de la Comarca de Val d'Aran.

En cuanto a la oferta educativa, la carencia de plazas escolares fue persistente. En 1959, con el “Pla d'estabilització” se presentó un crecimiento del sector industrial y constructivo, así como de las grandes ciudades. Este proceso implicó flujos migratorios desde las zonas rurales a las urbanas, agravando así la carencia de plazas escolares (Pons, 2009). Como respuesta a esta situación, surgieron el “Plan de Construcciones Escolares de 1957” y el “Plan de Urgencia” del año 1972. En cuanto a la legislación educativa, la Normativa de 1956 enfocó la enseñanza a la difusión de la religión católica en las escuelas. Los edificios escolares eran de construcción artesana, siguiendo el modelo lineal de escuelas corredor, con aulas en una banda (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2003).



CEIP Loseiron



CEIP Estudi Alejandro Casona

Figura D. 9 Escuelas de educación primaria en la comarca de Val d'Aran

Respecto a las tecnologías de construcción empleadas hasta 1970, la construcción de escuelas mediante sistemas industrializados fue prácticamente nula. En Cataluña se utilizaron las técnicas y materiales propios de la época y de cada lugar, con una construcción manual y artesana. Los materiales eran producidos en pequeñas industrias particulares de cada elemento constructivo: ladrillos, tochos, vigas de madera, de hierro y de hormigón. Sólo en algunos casos se utilizaron elementos industrializados para la construcción de escuelas (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2003).

En 1970, con la Ley General de Educación se intentó regularizar y modernizar los edificios escolares; se planteó la enseñanza personalizada y de grupo, con escuelas de espacios alternativos, así como una mayor flexibilización de la infraestructura. La carencia de suelo urbano, así como la investigación para la reducción de costos de inversión, llevó a la construcción de edificios escolares de educación primaria y secundaria utilizando sistemas prefabricados. La mayoría de estas escuelas eran proyectos tipo (Pons, 2009), construidas entre los años 1970 y 1983, cuya calidad urbanística y arquitectónica fue criticada posteriormente en las jornadas de arquitectura escolar, celebradas en 1981 (Generalitat de Catalunya, Departament de Ensenyament 2003). En la Figura D. 10 se presenta un ejemplo de estas estructuras.



Figura D. 10 CEIP Sant Pau (1973)

Fuente (Pons, 2009)

La política frente a la educación de estos años influyó en la construcción de escuelas con sistemas industrializados. La primera normativa de 1970 presentaba criterios pedagógicos y de construcción de escuelas que no eran viables para el contexto económico y docente. De esta manera, las siguientes normativas incluyeron recortes de superficie y simplificación del programa, como se observa en la Tabla D. 1. En el preámbulo de la normativa de 1973, se señala que a partir de entonces, con el costo de dos centros docentes se podrían hacer tres, con el fin de solucionar la falta de plazas escolares (Pons, 2009).

Tabla D. 1 Descripción de las áreas establecidas en diferentes normativas para las escuelas de Educación General Básica de 16 unidades*

| Normativa | Áreas básicas (m ²) | Áreas complementarias (m ²) | Servicios y circulaciones(m ²) | Total (m ²) | m ² por alumno |
|-----------|------------------------------------|--|---|----------------------------|---------------------------|
| 1970 | 2070 | 930 | 565 | 3565 | 5,57 |
| 1971 | 1168 | 1049 | 853 | 3070 | 5,18 |
| 1973 | 1180 | 430 | 640 | 2250 | 3,87 |
| 1975 | 990 | 380 | 684 | 2054 | 3,53 |

Fuente (Pons, 2009)

*Una unidad corresponde a un curso de cuarenta alumnos

Con estas modificaciones de la normativa, se dio prioridad a la solución del déficit de plazas, con inversiones importantes. Las más conocidas son las derivadas del “Pacto de la Moncloa” de 1977, en el que se buscó la construcción de centros docentes para crear 400.000 plazas de Educación General Básica (EGB), 200.000 de preescolar y 100.000 de Bachillerato Unificado Polivalente (BUP). Estos pactos se desarrollaron con un primer concurso en 1977, con 191 centros docentes (44 en Cataluña), en 16 lotes para que fueran ejecutados por 16 constructores. El concurso por paquetes simplificaba el proceso de adjudicación y hacía viable la construcción con elementos prefabricados. En cuanto el control técnico de estas obras, se aceptó limitar la riqueza arquitectónica y urbanística ante los recortes económicos (Pons, 2009).

D.1.4 Periodo 1980-1990

La construcción de escuelas en el periodo anterior fue una respuesta a la elevada demanda de plazas escolares, dado el fuerte aumento de la población y al alto índice de natalidad. Las actuaciones de urgencia se realizaron siguiendo modelos repetitivos empleando en algunos casos, sistemas industrializados. En cuanto a la infraestructura disponible, muchas escuelas se encontraban en un estado de conservación precario. Entre 1980 y 1990, la arquitectura escolar en Cataluña estuvo influenciada por el retorno a la democracia y el restablecimiento de la Generalitat de Cataluña. A partir de estos años se promovió la construcción de muchos edificios escolares con planteamientos innovadores tanto arquitectónicos como pedagógicos (Generalitat de Catalunya, Departament de Ensenyament 2003).

En 1981 se organizaron las primeras jornadas sobre arquitectura escolar en Cataluña. En estas jornadas se reflexionó sobre la materia y sobre los retos que había que afrontar después del período de inmovilismo de la dictadura. Así, la construcción de centros se enfocó hacia escuelas de calidad arquitectónica y flexibilidad de uso, respetuosas con el entorno físico, social y cultural, que tuvieran un valor simbólico para las zonas en las que se construyeran, bajo un control de calidad de obra que no se había realizado hasta el momento (Pons, 2009)

Bajo estos criterios, y considerando la fragilidad de los sistemas industrializados ante el riesgo por incendio, la construcción de centros educativos con estas tecnologías fue muy baja. Sólo las escuelas de carácter temporal se siguieron construyendo con estos sistemas. También se utilizaron elementos industrializados para construir partes concretas del edificio como forjados de placas alveolares, cubiertas de chapa metálica, techos prefabricados de hormigón, cubiertas de patios interiores de plástico translúcido (Pons, 2009).

La posibilidad de construir centros docentes con sistemas industrializados se vuelve a considerar durante la segunda mitad de los años 1980. La publicación en 1983 del Institut de Tecnologia de la Construcció (ITeC) tiene los mismos objetivos de las primeras jornadas de arquitectura, pero no limita la construcción usando sistemas prefabricados de hormigón prefabricado y acero. En la Tabla D. 2 se señalan las especificaciones para las áreas construidas, de acuerdo con los criterios del ITeC.

Tabla D. 2 Tabla de m2 para servicios escolares sugeridos por ITeC (1983)

| Modelo | Áreas básicas (m ²) | Áreas complementarias (m ²) | Servicios y circulaciones(m ²) | Total (m ²) | m ² por alumno |
|---------------------|---------------------------------|---|--|-------------------------|---------------------------|
| Escuela 8 unidades | 596 | 495 | 180 | 1635 | 5,1 |
| Escuela 16 unidades | 1192 | 765 | 2827 | 2827 | 4,41 |

Fuente (Pons, 2009)

D.1.5 Periodo 1990-2001

Como respuesta a las necesidades educativas evidenciadas desde 1970, en 1990 se promulgó la Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE). En esta ley se señala la incorporación de los niños y niñas al sistema de enseñanza a partir de los 3 años, la universalización de la educación secundaria a los siete, así como la creación de nuevas aulas específicas para la formación profesional y el bachillerato (Generalitat de Catalunya, Departament de Ensenyament 2003). Las aulas son de 25 alumnos como máximo y la medida de los centros es según el número de líneas, las cuales representan el número de clases por cada ciclo. Por ejemplo, un CEIP de dos líneas tiene dos clases por cada ciclo (Pons 2009).

Posteriormente, el Real Decreto 1004/91, estableció nuevos espacios mínimos. Se aumentó la superficie por alumno, se formalizaron los espacios de música, arte, informática, deportes y todos los edificios nuevos se adaptaron para personas con movilidad reducida. En la Tabla D. 3 se presentan las dimensiones y áreas sugeridas para los centros educativos (Pons, 2009).

Tabla D. 3 Áreas escolares de la ley de LOGSE 1990. Comparación con las del MEC

| Modelo | Áreas básicas (m ²) | Áreas complementarias (m ²) | Servicios y circulaciones(m ²) | Total (m ²) | m ² por alumno |
|---------------------------|---------------------------------|---|--|-------------------------|---------------------------|
| CEIP 1 línea (Cataluña) | 1385 | 415 | 1800 | 1980 | 8,80 |
| CEIP 2 Líneas. (Cataluña) | 1945 | 583 | 2528 | 2780 | 6.17 |

Fuente: Pons (2009)

La ley orgánica implicó la construcción de institutos de educación secundaria en muchos municipios. En cuanto a la demanda, es de especial importancia observar los efectos de las migraciones internas y de la inmigración. A lo largo de los años noventa, la población joven abandonó progresivamente las grandes concentraciones urbanas y se desplazó hacia otras zonas del territorio de menor densidad, lo que obligó a planificar la construcción y ampliación de centros en muchos edificios pequeños y medianos. Por otra parte, la llegada de la población inmigrante generó nuevas necesidades de escolarización urgente, así como la exigencia para su integración al modelo pedagógico catalán (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2003).

Respecto al uso de sistemas industrializados, en 1995 M. Ruisánchez i X.Vendrell, construyeron el CEIP Riumar en Deltebre, en el cual se prefabricaron parcialmente cuatro aulas. Para industrializarlos, se proyectaron elementos de la estructura de la fachada con hormigón armado. El proyecto fue galardonado con el premio de *Foment de les Arts Decoratives-FAD*, y es uno de los pocos ejemplos de prefabricación personalizada de la historia de la arquitectura escolar pública en Cataluña. Asimismo, en 1996 se proyectó el CEIP Jungfrau en Badalona por los arquitectos A. Soldevila y J.I Llorens con un sistema de pórticos y plafones prefabricados de hormigón (ver Figura D. 11). Pero a causa de la fuerte oposición de la Asociación de Madres y Padres de Familia de Alumnos de la Escuela Jung Frau (AMPA), se descartó el sistema industrializado y finalmente se construyó como hormigón in situ (Pons, 2009). Este proyecto obtuvo el premio "Construmat" en 1999 (Página web, escola Jung Frau)⁶.

⁶ <http://xtec.cat/ceipjungfrau/instal/insta.html> [Última consulta 09/11/2012]



Figura D. 11 Escola JungFrau (Badalona)

Fuente <http://www.soldevilasss.com/index.php?/projects/ceip-jungfrau/> [Última consulta 09/11/2012]

D.1.6 Periodo 2000-2010

El incremento de la población de algunas comarcas como El Vallès Occidental, El Vallès Oriental, El Maresme, El Baix Llobregat, El Baix Penedès y determinadas poblaciones de Girona y Tarragona, así como las previsiones de las nuevas legislaciones para construir escuelas menos densificadas, generaron la construcción de más escuelas y la ampliación de las existentes (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2003). Desde el año 2002, la administración ha propiciado la construcción de centros docentes, de carácter permanente, con sistemas industrializados de estructuras metálicas, así como de paneles, vigas y pilares de hormigón prefabricado, con sistemas de pórticos, módulos y muros portantes, los cuales, eran reservados hasta entonces para las escuelas temporales instaladas como solución de emergencia (Pons 2009).

Los tiempos de ejecución de estas obras eran muy ajustados (diseño y ejecución de la obra en ocho meses), de tal forma que se limitó la construcción de estas escuelas a los sistemas constructivos de fabricación en taller y montaje en la obra. De 2002 a 2006 se contruyeron 85 CEIP con sistemas industrializados, de los cuales 67 tenían estructura y cerramientos prefabricados (Pons 2009).

Recientemente, la política del Departament de Ensenyament ha tenido tres estrategias diferentes para construir escuelas. Si la necesidad de plazas escolares es inmediata, se utilizan sistemas prefabricados provisionales, si es a corto término se utilizan sistemas industrializados permanentes y si es a largo término se utilizan sistemas no industrializados (Pons 2009).

Por otro lado, se han aumentado los términos de ejecución para las escuelas industrializadas. Por ejemplo, a enero de 2008, los términos para un CEIP de tres líneas eran de 15 meses. De estos había 5 para redactar el proyecto, 6 meses para ejecutar la parte de infantil y 5 para ejecutar la de primaria. Estos periodos resultan atractivos respecto a los 40 meses que dura el proyecto y obra con sistemas no industrializados (Pons 2009).

D.1.7 Criterios para la construcción de nuevos edificios para centros docentes públicos

Como consecuencia de las primeras jornadas sobre Arquitectura Escolar en 1981, así como de la experiencia respecto a la construcción de escuelas durante la década de los noventa en Cataluña, se observó la necesidad de adoptar modelos arquitectónicos bajo parámetros de independencia y singularidad, flexibilidad del diseño, la adaptabilidad de las estructuras a futuros cambios, la consideración del entorno físico e integración al entorno urbano, la aplicación de conceptos de sostenibilidad y de uso eficiente de los recursos, del mantenimiento preventivo y del uso de nuevas tecnologías y de modelos constructivos más eficientes.

En 1999, se publicó por parte del Departament de Ensenyament, el manual "*Criteris per a la construcció de nous edificis per a centres docents públics*". Dicha guía se ha complementado y reeditado en 2001 y 2009. Estos criterios establecen nuevas necesidades de espacios, tal como se observa en la Tabla D. 4. A continuación se presentan las orientaciones asociadas a la tipología de los edificios, las características constructivas y los sistemas estructurales.

Tabla D. 4 Áreas escolares según servicios (1999)

| Modelo | Áreas básicas (m ²) | Áreas complementarias (m ²) | Servicios y circulaciones(m ²) | Total (m ²) | m ² por alumno |
|-------------------------|---------------------------------|---|--|-------------------------|---------------------------|
| CEIP 1 línea (Cataluña) | 1470 | 441 | 1911 | 2102 | 9.34 |
| CEIP 2 línea (Cataluña) | 2015 | 605 | 2620 | 2882 | 6.4 |

Fuente: Pons (2009)

Tipología, principales características constructivas y parámetros de los espacios

Para la construcción de centros escolares se sugiere un sistema modular flexible que permita modificaciones y redistribuciones interiores de espacios. En general, se evita la construcción de centros de una sola planta para los edificios de más de 2000 m² construidos. La altura máxima es de 3 plantas sobre rasante (planta baja más dos). En circunstancias urbanas específicas, se aceptan hasta 5 (planta baja más cuatro). La altura entre forjados estará entre 2.7 y 3.15 m; no se admiten elementos constructivos, ni de instalaciones, que limiten la altura libre por debajo de 2.5 m. La altura libre estándar del gimnasio sugerida es de 4.5 m; no se admiten elementos constructivos, ni de instalaciones, por debajo de 4 m. La altura de los talleres de módulos profesionales que precisen grandes volúmenes, se definirán en cada caso. Por cuestiones de iluminación, el ancho de las aulas será superior a 6 m y su profundidad conviene que no sobrepase los 7.5 m (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2009)

Actuaciones en edificios existentes y sistemas estructurales

Respecto al diseño estructural, en estas guías se establece que el dimensionamiento de los elementos corresponde al procedimiento de cálculo, evitando estructuras sobredimensionadas por criterios formales. Así, deben diseñarse los edificios en función de su rigidez, de manera que se dispongan juntas de dilatación estructurales cada 30-50 m. Al respecto, los criterios sugieren planificar los edificios de manera que sean necesarias las mínimas juntas posibles.

En cuanto a los materiales y sistemas estructurales, recomienda el uso de estructura de hormigón por su mejor comportamiento con el resto de elementos constructivos y se restringe el uso de estructuras de muros de carga. La estructura metálica queda restringida para los casos en los que razonablemente sea necesario por las exigencias de términos de ejecución (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2009). Respecto al uso de pórticos de hormigón armado, los criterios no los definen exclusivamente como estructuras in situ, por lo tanto, se puede suponer que pueden ser prefabricadas (Pons, 2009). También se observan limitaciones para la construcción de voladizos desmesurados y pórticos de luces exageradas, salvo en el caso de gimnasios y algunos talleres específicos, dado su propio requerimiento funcional.

En relación a los sistemas estructurales y materiales de construcción de los edificios, desde la normativa sismoresistente PDS-1 (1974) se restringía el uso de estructuras de adobe, tapial, mampostería en seco y estructuras de madera para obras cuya destrucción llegara a ocasionar víctimas humanas, interrumpir un servicio necesario para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas. Asimismo, para obras cuya destrucción pudiera interrumpir un servicio imprescindible después de ocurrido un terremoto o dar lugar a efectos catastróficos, sólo se admitía el uso de estructuras metálicas o de hormigón armado. Estas consideraciones sobre los edificios de importancia normal y especial se han mantenido en la NCSE-94, así como en la NCSE-02. No obstante, las escuelas no han sido incluidas en forma explícita dentro de estas categorías.

Si bien, los criterios para la construcción de nuevos centros docentes públicos incluyen restricciones al uso de estructuras de muros de carga y favorecen el uso de estructuras porticadas de hormigón, estas limitaciones están enfocadas hacia la viabilidad económica del proyecto; no son explícitamente una restricción asociada a su seguridad frente al peligro sísmico. Como referencia a la construcción de centros según las normas de construcción sismoresistente vigentes, en la Figura D. 12 se presenta el total de centros construidos según periodos de construcción y en la Figura D. 13 se presenta su distribución territorial de acuerdo a los periodos de construcción (a) antes de 1962; (b) entre 1962 y 1974; (c) entre 1974 y 1994; (d) entre 1994 y 2002; (e) luego de 2002 y (f) todos los centros.

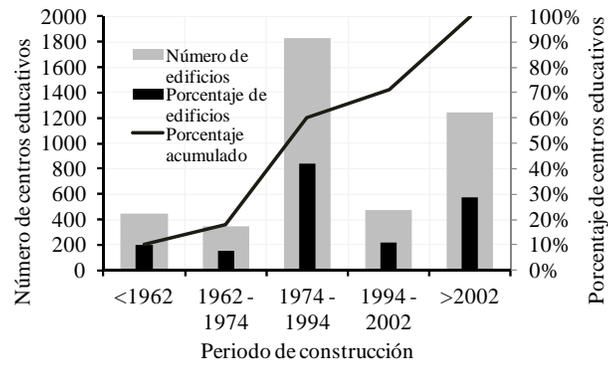


Figura D. 12 Número y porcentaje de centros educativos construidos según periodos de construcción

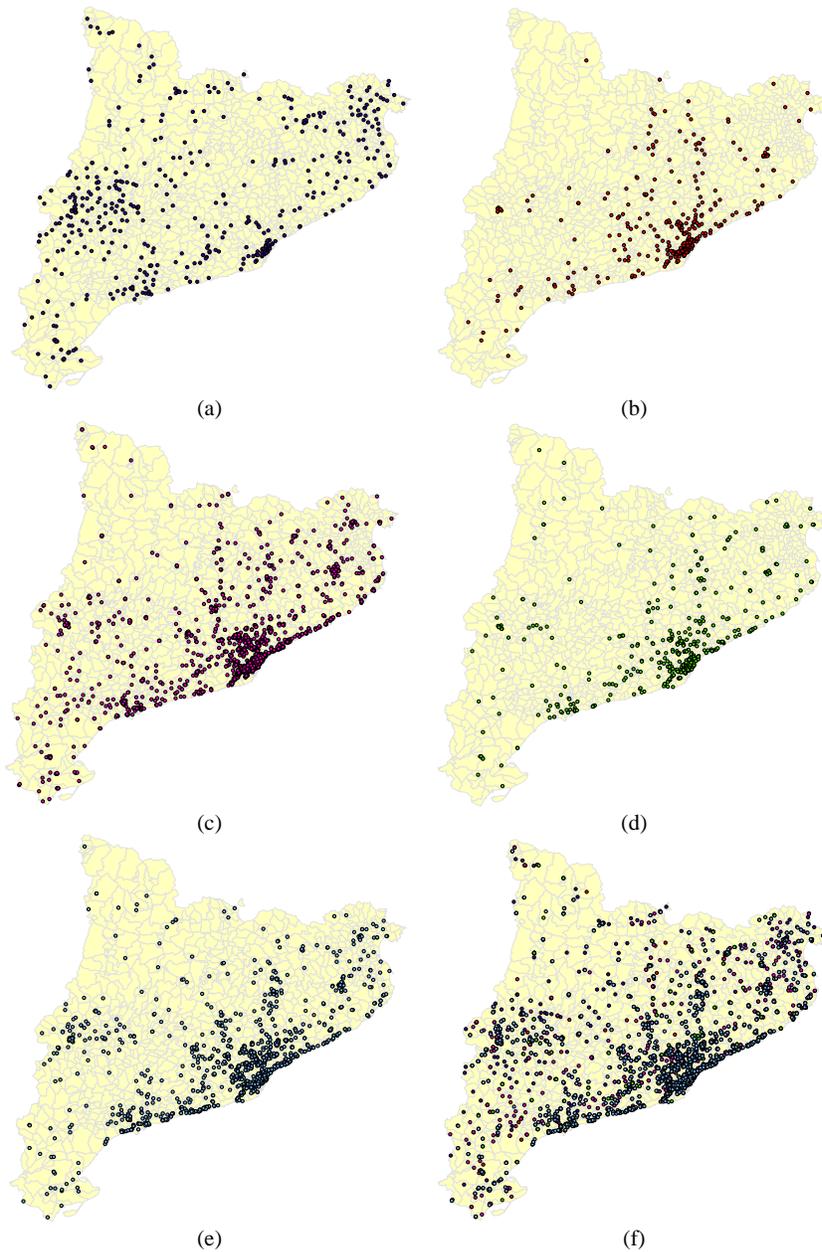


Figura D. 13 Centros construidos según periodos de construcción (a) antes de 1962; (b) entre 1963 y 1974; (c) entre 1974 y 1994; (d) entre 1995 y 2001; (e) después de 2002; (f) total de centros

Se observa que la construcción de los centros educativos está relacionada con los centros urbanos de mayor población en las Provincias de Barcelona y Girona. A su vez, se observa que los periodos de mayor construcción corresponden a los periodos de 1974 a 1994, así como después del 2002, en los cuales se utilizaron sistemas industrializados.

Comentarios finales

Respecto a la eficiencia económica en la construcción de los centros educativos, en *Les Jornades tècniques d'Arquitectura Escolar*", celebradas en el año 2002, se incorporó el concepto de mantenimiento preventivo en la fase de proyecto técnico, con el fin de prever, según las propiedades constructivas, los costos futuros de mantenimiento y los posibles cambios y adaptaciones. (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2003).

De esta manera, estas guías promueven la búsqueda de formas de construcción y de diseños que tengan los menores costos posibles. En este sentido, la evaluación previa del costo real del mantenimiento de los edificios escolares puede determinar la conveniencia o no de la utilización de determinadas soluciones constructivas y del uso de determinados materiales (Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament, 2003), siendo los sistemas industrializados la técnica constructiva más apta para producir escuelas con las restricciones de tiempo y de costos existentes (Pons 2009).

No obstante, se señala nuevamente que los criterios para el diseño de nuevos centros no tratan explícitamente la seguridad frente al peligro sísmico. Los criterios de diseño están asociados a minimizar los costos de construcción y mantenimiento durante la vida útil del proyecto, buscando dar solución a la demanda de plazas educativas.

Con el fin de complementar la administración de la infraestructura escolar, considerando la seguridad de las instalaciones y de sus ocupantes ante diferentes eventos peligrosos, resulta de interés incluir en el análisis de los costos de la construcción y mantenimiento de las escuelas, los valores esperados de la pérdida asociada a eventos desastrosos, como los sísmicos.

Anexo E: Base de datos del conjunto de hospitales públicos de Cataluña estudiado

En la Tabla E. 1 se presentan los datos empleados para el análisis de seguridad y riesgo sísmico del conjunto de hospitales públicos de Cataluña. Se incluyen datos relacionados con su ubicación (Región sanitaria, municipio y coordenadas UTM, zona 31N) y el tipo de suelo de acuerdo a un estudio de mesozonación sísmica de Cataluña¹. A su vez, se presentan datos de la oferta de servicios y las tipologías estructurales representativas.

Para el tipo de hospital se presentan los siguientes casos:

- 1- Hospital Básico
- 2- Hospital de Referencia
- 3- Hospital de alta tecnología

Para estimar la tasa de atención horaria de urgencias (λ) se consideraron los datos asistenciales presentados por el Departament de Salut (2003)²

Tabla E. 1 Base de datos de los hospitales incluidos en el estudio

| ID | Nombre | Ubicación | | | | Tipo de suelo | Tipo de hospital | Oferta de servicios | | | Tipologías estructurales | |
|----|------------------------------------|------------------|--------------------|-------------|---------|---------------|------------------|---------------------|-------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| | | Región sanitaria | Código (municipio) | Municipio | X (UTM) | | | Y (UTM) | Camas | Índice Ocupación | | Urgencias/hora (λ) |
| 1 | Pius Hospital de Valls | Tarragona | 43161 | Valls | 353571 | 4571698 | 3 | 1 | 120 | 75% | 3.21 | RC32M |
| 2 | Hospital Comarcal Móra d'Ebre | Terres de l'Ebre | 43093 | Móra d'Ebre | 301760 | 4551934 | 6 | 1 | 106 | 85% | 1.61 | RC32L |
| 3 | Hospital Tortosa Verge de la Cinta | Terres de l'Ebre | 43155 | Tortosa | 291333 | 4520785 | 6 | 2 | 202 | 95% | 4.7 | RC32M |
| 4 | H. Univ. De Tarragona Joan XXIII | Tarragona | 43148 | Tarragona | 352147 | 4554131 | 3 | 2 | 355 | 77% | 8.36 | S3H |
| 5 | Hospital de Sant Pau i Santa Tecla | Tarragona | 43148 | Tarragona | 353523 | 4553130 | 6 | 1 | 170 | 69% | 4.4 | M34H |

¹ IGC (2011) “ Mapa de mesozonació sísmica de Catalunya (1:100.000), adaptat a la classificació EC-8”. Informe IGC GS-008/11. Institut Geològic de Catalunya. C/Balmes, 209-211 08006 Barcelona, España

² Generalitat de Catalunya. Departament de Salut (2003) Els equipaments de la Xarxa Sanitaria Pública de Cataluña. Servei Català de la Salut. Travesera de les Corts, 131-159. Edifici Olímpia. 08028. Barcelona, España

Anexo E: Base de datos del conjunto de hospitales públicos de Cataluña

| ID | Nombre | Región sanitaria | Código (municipio) | Ubicación | | X (UTM) | Y (UTM) | Tipo de suelo | Tipo de hospital | Oferta de servicios | | | Tipologías estructurales | | |
|----|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|--|---------|---------|---------------|------------------|---------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-------|------|
| | | | | Municipio | | | | | | Camas | Índice Ocupación | Urgencias/hora (λ) | | | |
| 6 | H. Universitari Sant Joan de Reus | Tarragona | 43123 | Reus | | 340880 | 4557870 | 3 | 2 | 314 | 85% | 6.99 | M34M | | |
| 7 | Espitau Val d'Aran Hospital | Lleida | 25243 | Vielha e Mijaran | | 319634 | 4730073 | 1 | 1 | 31 | 62% | 1.16 | RC32M | | |
| 8 | Comarcal del Pallars | Lleida | 25234 | Tremp | | 326297 | 4670203 | 1 | 1 | 60 | 75% | 0.64 | RC32M | | |
| 9 | Fundació Sant Hospital | Lleida | 25203 | La Seu d'Urgell | | 373222 | 4690350 | 4 | 1 | 80 | 65% | 1.38 | RC32M | | |
| 10 | Clínica de Ponent | Lleida | 25120 | Lleida | | 302288 | 4610558 | 1 | 1 | 132 | 58% | 2.31 | RC32H | | |
| 11 | Hospital de Santa Maria H. Univ. | Lleida | 25120 | Lleida | | 301423 | 4610647 | 6 | 1 | 125 | 86% | 0.28 | M31L | RC32M | |
| 12 | Arnau de Vilanova de Lleida Hospital | Lleida | 25120 | Lleida | | 301188 | 4611051 | 6 | 2 | 125 | 86% | 8.67 | M33H | RC32M | |
| 13 | Comarcal de Blanes | Girona | 17023 | Blanes | | 483592 | 4615056 | 2 | 1 | 434 | 90% | 5.45 | RC4M | | |
| 14 | Hospital de Puigcerdà | Centro | 17141 | Puigcerdà | | 411672 | 4698348 | 3 | 1 | 120 | 80% | 1.71 | M34M | | |
| 15 | Hospital de Palamós | Girona | 17118 | Palamós | | 510906 | 4633440 | 5 | 1 | 31 | 75% | 5.64 | RC32M | | |
| 16 | Hospital Sant Jaume d'Olot | Girona | 17114 | Olot | | 457687 | 4669972 | 1 | 1 | 96 | 88% | 3.34 | RC32M | | |
| 17 | Hospital Provincial Santa Caterina | Girona | 17079 | Girona | | 483317 | 4646484 | 3 | 1 | 82 | 76% | 3.51 | RC32L | | |
| 18 | Clínica Girona, S. A. H. Univ. De | Girona | 17079 | Girona | | 485037 | 4647490 | 3 | 1 | 149 | 70% | 0.02 | M34H | RC32H | |
| 19 | Girona Dr. Josep Trueta | Girona | 17079 | Girona | | 485084 | 4649463 | 6 | 2 | 131 | 66% | 6.6 | RC32H | | |
| 20 | Hospital de Figueres | Girona | 17066 | Figueres | | 496173 | 4679569 | 1 | 1 | 423 | 78% | 7.39 | M33L | RC32L | |
| 21 | Hospital de Campdevàno | Girona | 17036 | Campdevàno | | 431232 | 4674833 | 6 | 1 | 101 | 90% | 1.25 | M34L | RC32L | |
| 22 | Hospital de Mataró | Barcelones Nord i Maresme | 08121 | Mataró | | 452462 | 4600462 | 2 | 1 | 64 | 82% | 11.65 | RC32L | S1L | RC6L |
| 23 | Institut Català d'Oncologia | Costa de Ponent | 08101 | L'Hospitalet de Llobregat | | 425602 | 4577386 | 4 | 2 | 330 | 85% | 0.82 | RC32H | | |

Anexo E: Base de datos del conjunto de hospitales públicos de Cataluña

| ID | Nombre | Región sanitaria | Código (municipio) | Ubicación | | X (UTM) | Y (UTM) | Tipo de suelo | Tipo de hospital | Oferta de servicios | | | Tipologías estructurales | |
|----|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|--|---------|---------|---------------|------------------|---------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-----------|
| | | | | Municipio | | | | | | Camas | Índice Ocupación | Urgencias/hora (λ) | | |
| 24 | Hospital Comarcal de l'Alt Penedès | Costa de Ponent | 08305 | Vilafrande del Penedès | | 391734 | 4579123 | 3 | 1 | 126 | 85% | 4.65 | RC2H | |
| 25 | Fundació Sanitària d'Igualada F.P | Costa de Ponent | 08102 | Igualada | | 384869 | 4605209 | 1 | 2 | 110 | 80% | 6.92 | RC32M | RC32H |
| 26 | H. Materno-Infantil Vall d'Hebron | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Horta-Guirardo) | | 428398 | 4586615 | 2 | 3 | 273 | 70% | 9.13 | RC32H | S3L |
| 27 | Centre Hospitalari | Centro | 08113 | Manresa | | 403323 | 4619440 | 1 | 2 | 466 | 85% | 7.23 | M33H | RC32H |
| 28 | Hospital de Viladecans | Costa de Ponent | 08301 | Viladecans | | 417486 | 4573921 | 6 | 1 | 224 | 95% | 4.4 | M33M | RC32M S1L |
| 29 | Hospital General de Vic | Centro | 08298 | Vic | | 438670 | 4643064 | 6 | 2 | 116 | 75% | 6.92 | RC32H | |
| 30 | Corporació Sanitària Parc Tauli | Centro | 08187 | Sabadell | | 425787 | 4601036 | 3 | 2 | 225 | 95% | 20.19 | RC32H | RC32M |
| 31 | Hospital de Terrassa | Centro | 08279 | Terrassa | | 420994 | 4600983 | 3 | 2 | 587 | 95% | 9.96 | RC32H | RC32L |
| 32 | H. Universitari Germans Trias i Pujol | Barcelones Nord i Maresme | 08015 | Badalona | | 436388 | 4592484 | 2 | 2 | 548 | 75% | 13.43 | RC32H | RC32M |
| 33 | Fundació H. Comarcal Sant Antoni Abat | Costa de Ponent | 08307 | Vilanova i la Geltrú | | 392949 | 4564959 | 3 | 1 | 485 | 85% | 4.25 | M12M | RC32L |
| 34 | Hospital Mútua de Terrassa | Centro | 08279 | Terrassa | | 418051 | 4601800 | 3 | 2 | 34 | 80% | 15.24 | M34M | RC32H |
| 35 | Hospital de l'Esperit Sant | Barcelones Nord i Maresme | 08245 | Santa Coloma de Gramenet | | 434263 | 4587817 | 2 | 1 | 548 | 75% | 7.21 | RC32M | RC4M |
| 36 | Hospital Residència Sant Camil | Costa de Ponent | 08231 | Sant Pere de Ribes | | 396554 | 4567736 | 3 | 2 | 203 | 85% | 5.37 | RC4M | |
| 37 | Hospital de Sant Celoni | Centro | 08202 | Sant Celoni | | 457218 | 4615251 | 3 | 1 | 179 | 75% | 2.99 | M34L | |
| 38 | Hospital de Sant Boi | Costa de Ponent | 08200 | Sant Boi de Llobregat | | 420222 | 4577238 | 6 | 1 | 60 | 80% | 7.16 | S3ML | |
| 39 | Fundació Privada Hospital de Mollet | Centro | 08124 | Mollet de Vallès | | 434207 | 4599160 | 3 | 1 | 127 | 75% | 7.54 | RC32M | |

Anexo E: Base de datos del conjunto de hospitales públicos de Cataluña

| ID | Nombre | Región sanitaria | Código (municipio) | Ubicación | | X (UTM) | Y (UTM) | Tipo de suelo | Tipo de hospital | Oferta de servicios | | | Tipologías estructurales | | |
|----|--|---------------------------|--------------------|----------------------------|--|---------|---------|---------------|------------------|---------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-------|------|
| | | | | Municipio | | | | | | Camas | Índice Ocupación | Urgencias/hora (λ) | | | |
| 40 | Fundació Hospital de Sant Joan de Déu (Martorel) C. | Costa de Ponent | 08114 | Martorell | | 409876 | 4591731 | 4 | 1 | 167 | 75% | 6.72 | RC32M | | |
| 41 | Hospitalari-Unit. Coronària Manresa Hospital | Centro | 08113 | Manresa | | 402284 | 4621044 | 1 | 2 | 110 | 75% | 5.47 | RC32M | | |
| 42 | Hospital Universitari de Bellvitge Princeps d'Espanya Consorci | Costa de Ponent | 08101 | L'Hospitalet de Llobregat | | 425059 | 4577411 | 4 | 3 | 290 | 85% | 11.76 | RC32H | RC32L | RC4L |
| 43 | Hospital de la Creu Roja Policlínica del Vallés, S.A | Costa de Ponent | 08101 | L'Hospitalet de Llobregat | | 425320 | 4580696 | 3 | 2 | 960 | 90% | 6.83 | RC32L | RC2M | |
| 44 | Hospital General de Granollers | Centro | 08096 | Granollers | | 440893 | 4606608 | 3 | 1 | 259 | 75% | 3.41 | RC32M | | |
| 45 | Hospital de Sant Joan de Déu (Llobregat) | Costa de Ponent | 08077 | Esplugues de Llobregat | | 424889 | 4581805 | 6 | 3 | 348 | 95% | 12.54 | RC32H | RC32L | |
| 47 | Hospital de Sant Jaume | Barcelones Nord i Maresme | 08035 | Calella | | 471449 | 4607053 | 6 | 1 | 369 | 90% | 6.63 | RC32M | | |
| 48 | Hospital de Sant Bernabé H. de Trauma-Rehabilit. Vall d'Hebron | Centro | 08022 | Berga | | 405113 | 4662244 | 1 | 1 | 166 | 85% | 2.79 | RC32M | | |
| 49 | Hospital General Vall d'Hebron | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Horta-Guirardo) | | 428428 | 4586590 | 2 | 3 | 141 | 75% | 9.13 | RC32M | | |
| 50 | Hospital General Vall d'Hebron | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Horta-Guirardo) | | 428428 | 4586590 | 2 | 3 | 355 | 90% | 9.13 | RC32H | | |
| 51 | Institut Guttmann | Barcelones Nord i Maresme | 08019 | Barcelona (Sant Andreu) | | 436403 | 4592070 | 2 | 2 | 762 | 90% | 0.08 | RC32L | RC2L | S3M |
| 52 | Hospital Casa de Maternitat | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Les Corts) | | 426811 | 4581862 | 3 | 1 | 95 | 80% | 1.01 | M33M | | |

Anexo E: Base de datos del conjunto de hospitales públicos de Cataluña

| ID | Nombre | Región sanitaria | Código (municipio) | Ubicación | | X (UTM) | Y (UTM) | Tipo de suelo | Tipo de hospital | Oferta de servicios | | | Tipologías estructurales | | |
|----|--|---------------------------|--------------------|---------------------------------|--|---------|---------|---------------|------------------|---------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-------|-------|
| | | | | Municipio | | | | | | Camas | Índice Ocupación | Urgencias/hora (λ) | | | |
| 53 | Hospital Sant Rafael | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Horta-Guirardo) | | 428315 | 4586299 | 2 | 1 | 138 | 90% | 0.79 | RC32M | RC32L | |
| 54 | Fundació Puigvert, I.U.N.A | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Sant Martí) | | 431053 | 4584672 | 3 | 3 | 200 | 62% | 2.34 | RC32M | RC32L | |
| 55 | Hospital de l'Esperança | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Gracia) | | 429335 | 4584734 | 1 | 2 | 175 | 60% | 2.48 | RC32H | RC32M | |
| 56 | Hospital Dos de Maig | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Sant Martí) | | 431220 | 4584677 | 3 | 2 | 174 | 65% | 4.07 | M31M | | |
| 57 | Hospital Clínic Provincial | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Eixample) | | 429082 | 4582302 | 3 | 3 | 246 | 65% | 13.81 | M33H | RC32H | |
| 58 | Barna Clínica Quirúrgica Adrià | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Sarria-Sant Gervasi) | | 428006 | 4583546 | 1 | 1 | 922 | 85% | 0.22 | M33M | | |
| 59 | Clínica Plató, Fundació Privada | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Sarria-Sant Gervasi) | | 428310 | 4583600 | 1 | 1 | 74 | 65% | 0.62 | M33H | | |
| 60 | Hospital del Mar | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Ciutat Vella) | | 432653 | 4581577 | 4 | 2 | 198 | 95% | 12.74 | M34L | RC32H | |
| 61 | Fund. Gest. San. Hosp. Sta. Creu i St. Pau | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Sant Martí) | | 430991 | 4584902 | 2 | 3 | 458 | 85% | 15.41 | M33L | M33M | RC2M |
| 62 | Hospital Universitari Sagrat Cor | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Eixample) | | 428584 | 4582224 | 3 | 2 | 777 | 68% | 1.16 | RC32H | S3M | |
| 63 | Hospital Central - L'Aliança | Barcelona Ciutat | 08019 | Barcelona (Eixample) | | 430874 | 4584634 | 3 | 2 | 379 | 80% | 5.47 | M33H | M33M | RC32H |
| 64 | Hospital Municipal de Badalona, S.A | Barcelones Nord i Maresme | 08015 | Badalona | | 436979 | 4589044 | 4 | 1 | 409 | 75% | 5.71 | RC32M | | |

En la Tabla E. 2 se presenta para cada hospital las tipologías estructurales consideradas a partir de la información disponible en Safina (2003)³ y en los informes del Departament de Salut (Generalitat de Catalunya. Departament de Salut (2003)⁴. Al respecto se señala que se asignaron a cada tipología un porcentaje de participación respecto al total del área construida en los hospitales.

Tabla E. 2 Tipologías estructurales asignadas a cada hospital y porcentajes de participación

| ID | Nombre del hospital | Tipologías estructurales | | | Porcentajes de participación | | |
|----|---------------------------------------|--------------------------|--------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | | Tipo1 | Tipo2 | Tipo3 | Tipo1 | Tipo2 | Tipo3 |
| 1 | Pius Hospital de Valls | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 2 | Hospital Comarcal Móra d'Ebre | RC3.2L | | | 100% | 0% | 0% |
| 3 | Hospital Tortosa Verge de la Cinta | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 4 | H. Univ. De Tarragona Joan XXIII | S3H | | | 100% | 0% | 0% |
| 5 | Hospital de Sant Pau i Santa Tecla | M3.4H | | | 100% | 0% | 0% |
| 6 | H. Universitari Sant Joan de Reus | M3.4M | | | 100% | 0% | 0% |
| 7 | Espitau Val d'Aran | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 8 | Hospital Comarcal del Pallars | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 9 | Fundació Sant Hospital | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 10 | Clínica de Ponent | RC3.2H | | | 100% | 0% | 0% |
| 11 | Hospital de Santa Maria | M3.1L | RC3.2M | | 30% | 70% | 0% |
| 12 | H. Univ. Arnau de Vilanova de Lleida | M3.3H | RC3.2M | | 40% | 60% | 0% |
| 13 | Hospital Comarcal de Blanes | RC4M | | | 100% | 0% | 0% |
| 14 | Hospital de Puigcerdà | M3.4M | | | 100% | 0% | 0% |
| 15 | Hospital de Palamós | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 16 | Hospital Sant Jaume d'Olot | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 17 | Hospital Provincial Santa Caterina | RC3.2L | | | 100% | 0% | 0% |
| 18 | Clínica Girona, S. A | M3.4H | RC3.2H | | 40% | 60% | 0% |
| 19 | H. Univ. De Girona Dr. Josep Trueta | RC3.2H | | | 100% | 0% | 0% |
| 20 | Hospital de Figueres | M3.3L | RC3.2L | | 40% | 60% | 0% |
| 21 | Hospital de Campdevàrol | M3.4L | RC3.2L | | 60% | 40% | 0% |
| 22 | Hospital de Mataró | RC3.2L | S1L | RC6L | 60% | 20% | 20% |
| 23 | Institut Català d'Oncologia | RC3.2H | | | 100% | 0% | 0% |
| 24 | Hospital Comarcal de l'Alt Penedés | RC2H | | | 100% | 0% | 0% |
| 25 | Fundació Sanitària d'Igualada F.P | RC3.2M | RC3.2H | | 40% | 60% | 0% |
| 26 | H. Materno-Infantil Vall d'Hebron | RC3.2H | S3L | | 90% | 10% | 0% |
| 27 | Centre Hospitalari | M3.3H | RC3.2H | | 40% | 60% | 0% |
| 28 | Hospital de Viladecans | M3.3M | RC3.2M | S1L | 60% | 30% | 10% |
| 29 | Hospital General de Vic | RC3.2H | | | 100% | 0% | 0% |
| 30 | Corporació Sanitària Parc Tauli | RC3.2H | RC3.2M | | 60% | 40% | 0% |
| 31 | Hospital de Terrassa | RC3.2H | RC3.2L | | 70% | 30% | 0% |
| 32 | H. Universitari Germans Trias i Pujol | RC3.2H | RC3.2M | | 70% | 30% | 0% |
| 33 | Fundació H. Comarcal Sant Antoni Abat | M1.2M | RC3.2L | | 60% | 40% | 0% |
| 34 | Hospital Mútua de Terrassa | M3.4M | RC3.2H | | 50% | 50% | 0% |

³ Safina, S. (2003) "Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 271 pp. [En línea]

Disponible en: < <http://www.tdx.cat/TDX-0225103-164824>>. [Última consulta 25/09/2012].

⁴ Generalitat de Catalunya. Departament de Salut (2003) "Els equipaments de la Xarxa Sanitària Pública de Catalunya". Servei Català de la Salut. Travesera de les Corts, 131-159. Edifici Olímpia. 08028. Barcelona, España.

| ID | Nombre del hospital | Tipologías estructurales | | | Porcentajes de participación | | |
|----|---|--------------------------|--------|--------|------------------------------|-------|-------|
| | | Tipo1 | Tipo2 | Tipo3 | Tipo1 | Tipo2 | Tipo3 |
| 35 | Hospital de l'Esperit Sant | RC3.2M | RC4M | | 50% | 50% | 0% |
| 36 | Hospital Residència Sant Camil | RC4M | | | 100% | 0% | 0% |
| 37 | Hospital de Sant Celoni | M3.4L | | | 100% | 0% | 0% |
| 38 | Hospital de Sant Boi | S3M | | | 100% | 0% | 0% |
| 39 | Fundació Privada Hospital de Mollet | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 40 | Fundació Hospital de Sant Joan de Déu (Martorel) | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 41 | C. Hospitalari-Unit. Coronària Manresa | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 42 | Hospital Universitari de Bellvitge Prínceps d'Espanya | RC3.2H | RC3.2L | RC4L | 50% | 30% | 20% |
| 43 | Consorti Hospital de la Creu Roja | RC3.2L | RC2M | | 60% | 40% | 0% |
| 44 | Policlínica del Vallés, S.A | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 45 | Hospital General de Granollers | M3.4L | RC3.2M | | 40% | 60% | 0% |
| 46 | Hospital de Sant Joan de Déu (Llobregat) | RC3.2H | RC3.2L | | 50% | 50% | 0% |
| 47 | Hospital de Sant Jaume | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 48 | Hospital de Sant Bernabé | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 49 | H. de Trauma-Rehabilit. Vall d'Hebron | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |
| 50 | Hospital General Vall d'Hebron | RC3.2H | | | 100% | 0% | 0% |
| 51 | Institut Guttmann | RC3.2L | RC2L | S3M | 60% | 30% | 10% |
| 52 | Hospital Casa de Maternitat | M3.3M | | | 100% | 0% | 0% |
| 53 | Hospital Sant Rafael | RC3.2M | RC3.2L | | 60% | 40% | 0% |
| 54 | Fundació Puigvert, I.U.N.A | RC3.2M | RC3.2L | | 70% | 30% | 0% |
| 55 | Hospital de l'Esperança | RC3.2H | RC3.2M | | 60% | 40% | 0% |
| 56 | Hospital Dos de Maig | M3.1M | | | 100% | 0% | 0% |
| 57 | Hospital Clínic Provincial Barna | M3.3H | RC3.2H | | 60% | 40% | 0% |
| 58 | Clínica Quirúrgica Adrià | M3.3M | | | 100% | 0% | 0% |
| 59 | Clínica Plató, Fundació Privada | M3.3H | | | 100% | 0% | 0% |
| 60 | Hospital del Mar | M3.4L | RC3.2H | | 30% | 70% | 0% |
| 61 | Fund. Gest. San.Hosp.Sta. Creu i St. Pau | M3.3L | M3.3M | RC2M | 30% | 30% | 40% |
| 62 | Hospital Universitari Sagrat Cor | RC3.2H | S3M | | 70% | 30% | 0% |
| 63 | Hospital Central - L'Aliança | M3.3H | M3.3M | RC3.2H | 40% | 60% | 0% |
| 64 | Hospital Municipal de Badalona, S.A | RC3.2M | | | 100% | 0% | 0% |

Anexo F: Índice de Vulnerabilidad de Hospitales

F.1 Introducción

A nivel mundial, en las prioridades del Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 (ISDR 2005), el objetivo de “hospitales a salvo de desastres” fue considerado como una actividad clave para reducir los factores subyacentes de riesgo. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2008 lanzó la campaña de hospitales a salvo de desastres y diseñó un Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH).

El propósito del ISH es evaluar la seguridad estructural, no estructural y funcional de las instalaciones de salud. Éste índice se fundamenta en una escala de evaluación cualitativa, compuesta por las calificaciones de *baja*, *media* y *alta* para cada ítem incluido en el análisis (145 en total). Para la aplicación de este índice, la OMS desarrolló un cuestionario detallado que debe ser rellenado durante la inspección de los hospitales. Para dar soporte a la evaluación, el índice cuenta con un manual que ilustra los criterios de calificación para cada ítem (WHO 2008 b). Dicho índice ha sido ya aplicado en México, Bolivia, Ecuador, Barbados, Dominica, Nevis, St. Kitts, Grenada, Montserrat, San Vicente & las Granadinas, y Anguilla (WHO 2008 a).

Para evaluar la funcionalidad de los hospitales después de un terremoto, Yavary y Chang (2010) proponen un sistema de evaluación considerando aspectos estructurales, no estructurales, de seguridad de las líneas vitales y del personal médico. A partir del análisis estadístico de los daños observados en este tipo de instalaciones establecen relaciones entre el daño estructural con el de los elementos no estructurales y el de las líneas vitales. Por otro lado, Bruneau et al. (2007) presentan una metodología para evaluar la resiliencia de un sistema hospitalario relacionando la pérdida del servicio y su habilidad para recuperarse. Las pérdidas se estiman usando funciones de fragilidad asociadas a niveles de comportamiento específicos.

Como alternativa para el estudio de la seguridad sísmica de hospitales, en este Anexo se propone un Índice de Vulnerabilidad de Hospitales en el cual se consideran aspectos estructurales, no estructurales, de capacidad de respuesta, así como el contexto social. La evaluación de la seguridad estructural se realiza mediante un método simplificado basado en espectros de capacidad. Bajo este enfoque es posible tener una evaluación preliminar de la seguridad de los hospitales y centros de salud, considerando criterios más objetivos, relacionados con la peligrosidad sísmica y las propiedades estructurales de los edificios que los albergan. Este índice se aplica a un conjunto de hospitales públicos de Cataluña.

F.1.1 Vulnerabilidad estructural

Para la evaluación de la seguridad estructural, en el índice promovido por la OMS se considera una evaluación cualitativa, similar al índice de vulnerabilidad propuesto por Benedetti & Petrini (1984). De esta manera, se califica en forma relativa la propensión al daño de un edificio de acuerdo con sus propiedades estructurales asociadas a su regularidad en planta, redundancia y calidad de los materiales, entre otros aspectos.

Una de las limitaciones del método sugerido por la OMS es que no se consideran variaciones de los parámetros de evaluación para diferentes sistemas estructurales. Por lo tanto, edificios de diferentes características estructurales pueden ser evaluados con criterios insuficientes, parciales o incluso inapropiados. Por otro lado, en este enfoque la seguridad de los edificios no depende de la peligrosidad a la que se encuentran expuestos. Dado que el objetivo del índice es identificar si un hospital permanece en

funcionamiento en situaciones de emergencia, es necesario tener referencias del grado de daño que puede alcanzar dada la intensidad de las amenazas a las que está expuesto (Safina 2003).

Así, el sistema de puntuación usado en el ISH para la evaluación de la seguridad estructural no parece suficiente para cumplir con su objetivo. Hace falta emplear funciones de vulnerabilidad que relacionen la intensidad del evento con el daño esperado, tal como se sugiere en Barbat et al. (1996), o en los métodos de evaluación descritos en el proyecto Risk UE (Milutinovich & Trendafiloski 2003).

Para salvar dicha limitación se sugiere emplear el método simplificado basado en espectros de capacidad, siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo 4 de esta Tesis. A través de la comparación entre el espectro de capacidad asociado a cada edificio con el espectro de respuesta elástico correspondientes a su ubicación, se describe el comportamiento del edificio y el daño esperado para escenarios relacionados con un determinado periodo de retorno.

F.1.2 Vulnerabilidad no estructural

La vulnerabilidad no estructural está asociada a la propensión al daño de los contenidos, equipos médicos, elementos arquitectónicos, líneas vitales y está influenciado por la respuesta del edificio a los eventos peligrosos. El daño de los elementos no estructurales puede interrumpir la operatividad del edificio o incluso herir o matar a sus ocupantes. Adicionalmente, el porcentaje del valor de los elementos no estructurales y de los contenidos puede ser tanto como el 80% del valor total del hospital (Cardona 1999, Aref et al. 2004, Paul & Lin 2009). Por esta razón, el comportamiento sísmico de los hospitales debe ser orientado no sólo a prevenir el colapso de los edificios, sino a garantizar el funcionamiento de los elementos no estructurales con el fin de evitar la interrupción de los servicios médicos (Astrella et al. 2004).

Para la evaluación de la vulnerabilidad de los elementos no estructurales, el índice propuesto por la OMS considera una lista de ítems y para cada uno especifica una escala cualitativa con el fin de verificar la estabilidad y características de los soportes, anclajes, la seguridad de los depósitos y la redundancia de las líneas vitales e instalaciones (WHO 2008 b). Esta escala es útil para identificar elementos que requieren especial atención debido a las deficiencias de su ubicación y conexión con la estructura. No obstante, con esta información no es posible establecer una referencia del nivel de daño esperado ni de la pérdida de funcionalidad ante un evento de una determinada intensidad. Por esta razón, la evaluación de la posible interrupción de los servicios debe basarse en parámetros relacionados con la respuesta a la intensidad del movimiento o al daño del edificio.

A este respecto, Monti y Nuti (1996) evalúan la capacidad de un hospital para mantenerse en funcionamiento después de un evento sísmico de una determinada intensidad, considerando la organización de los servicios y subservicios en el hospital y asignando un criterio de colapso, entendido aquí como la pérdida total de su función, para cada uno de estos. Este enfoque requiere de información detallada y procedimientos refinados que sobrepasan el alcance de un indicador que se desea aplicar a un conjunto de edificios. Como alternativa, Paul y Lin (2009) evalúan el daño esperado del edificio y de los componentes no estructurales usando curvas de fragilidad. Estos datos son útiles para estimar la capacidad residual del hospital ante eventos sísmicos.

En HAZUS MH (FEMA/NIBS 2003) se encuentra un conjunto de curvas de fragilidad definidas para componentes no estructurales dependiendo de la tipología del edificio, el tipo de componente y el estado de daño. Otros ejemplos de curvas de fragilidad para elementos no estructurales se encuentran en Shinozuka et al. (2008) y en Achour (2007). Además de los estudios analíticos y simulaciones para la evaluación de la vulnerabilidad no estructural, Yavary y Chang (2010) presentan métodos empíricos para la evaluación de la funcionalidad de los hospitales, estableciendo relaciones entre los daños observados en elementos estructurales, no estructurales, efectos en el personal sanitario y el estado de servicio de las instalaciones después del evento.

Tomando como referencia los niveles propuestas por Yavary y Chang (2010), así como las calificaciones sugeridas por la OMS en el ISH y los requisitos de seguridad establecidos en los documentos ATC 51-1 y ATC 51-2 para la reducción de la vulnerabilidad de elementos no estructurales, en este trabajo se propone una escala cualitativa para clasificar la vulnerabilidad no estructural y así aplicar un índice que permita cuantificar los daños no estructurales.

Las escalas para clasificar la vulnerabilidad no estructural se resumen por tipo de elemento (arquitectónico, equipo médico y mobiliario, instalaciones y líneas vitales), cantidades (ninguno, pocos, algunos, la mayoría, todos) y efectos en la funcionalidad e integridad de los ocupantes. Este enfoque también es considerado en Cardona (1999) y resulta útil para sintetizar la información requerida para la inspección de la instalación. Así mismo, facilita la interpretación y análisis de los resultados. En la Tabla F. 1, Tabla F. 2 y Tabla F. 3 se presentan los niveles de clasificación propuestos.

Tabla F. 1 Niveles de vulnerabilidad del equipo médico y de los contenidos

| Nivel | Descripción |
|------------|---|
| Bajo | Todos los elementos de mobiliario, de oficina, de almacén y el equipo médico se encuentran razonablemente bien anclados y se les realiza frecuente mantenimiento |
| Incipiente | La mayoría de los elementos de mobiliario, de oficina y de almacén están bien anclados. En pocas áreas la falla de estos elementos puede ocasionar lesiones a los ocupantes o interferir con la respuesta funcional del hospital. |
| Apreciable | Algunos elementos de mobiliario, de oficina y de almacén no están anclados apropiadamente; pueden caer o fallar ante la deformación del edificio, causar lesiones a los ocupantes o interferir parcialmente con el funcionamiento del hospital. |
| Notable | Muchos elementos de mobiliario, de oficina y de almacén carecen de anclaje o este es insuficiente o inapropiado. Su falla puede ocasionar daños a una porción considerable de los ocupantes o afectar severamente la funcionalidad del hospital. Pocos elementos del equipo médico no están apropiadamente sujetos. |
| Alto | La mayoría de los elementos de mobiliario, de oficina y de almacén no están anclados. Su caída o falla puede causar lesiones (e incluso muertes) de los ocupantes o de comprometer seriamente la funcionalidad del hospital. Algunos elementos del equipo médico no están apropiadamente sujetos y su falla compromete la funcionalidad del hospital. |

Tabla F. 2 Niveles de vulnerabilidad de los elementos arquitectónicos

| Nivel | Descripción |
|------------|--|
| Bajo | La mayoría de las particiones, falsos techos y acabados están bien anclados. Uso de materiales livianos en estos elementos. Existencia de aislamientos en toda la ventanería. |
| Incipiente | La mayoría de las particiones, falsos techos y acabados están bien anclados. En pocas áreas, su falla puede ocasionar lesiones a los ocupantes o interferir parcialmente con la respuesta funcional del edificio. La mayoría de la ventanería se encuentra adecuadamente aislada. |
| Apreciable | En algunas áreas, las particiones, falsos techos y acabados no están bien anclados. Su falla puede causar lesiones a los ocupantes o interferir con el funcionamiento del edificio. Se evidencian algunas zonas de deficiente conexión entre las ventanas con sus marcos correspondientes |
| Notable | En muchas áreas, las particiones, falsos techos y acabados carecen de anclaje o este es insuficiente o inapropiado. Uso de materiales pesados en estos elementos. Su falla puede causar heridas a una porción considerable de los ocupantes y comprometer el funcionamiento del hospital. Se evidencian conexiones deficientes en la mayoría de la ventanería. |
| Alto | La mayoría de los acabados, particiones y falsos techos no están bien anclados. Su caída puede causar heridas graves (o incluso muertes) a los ocupantes o comprometer seriamente la funcionalidad del edificio. La mayoría de la ventanería no está adecuadamente conectada y su ruptura puede afectar una considerable proporción de los ocupantes. |

Tabla F. 3 Niveles de vulnerabilidad de las instalaciones y líneas vitales

| Nivel | Descripción |
|------------|---|
| Bajo | Existen fuentes de abastecimiento alternas que dan autonomía al hospital. Están bien ancladas y cuentan con acoples flexibles. Se les realiza frecuente mantenimiento Existen mecanismos automáticos de interrupción y control. El hospital dispone de áreas externas dotadas completamente de todos los servicios básicos. |
| Incipiente | El hospital cuenta con fuentes de abastecimiento alternas que garantizan autonomía para periodos limitados. Se encuentran bien protegidas. Las redes de transmisión de las líneas vitales en su mayoría se encuentran en buen estado y cuentan con anclajes, acoples y materiales adecuados. Notable dotación de servicios básicos en el perímetro del hospital |
| Apreciable | Las fuentes de abastecimiento alternas están parcialmente protegidas. Se evidencian algunos ductos de transmisión de las líneas vitales en estado regular. Apreciable dotación de servicios básicos en el perímetro del hospital. |
| Notable | Las fuentes de abastecimiento alternas carecen de anclajes o estos son deficientes. Las fuentes alternas proveen servicios para niveles bajos de demanda. Gran parte de las redes de transmisión se encuentran en regular estado. La dotación de servicios básicos en el perímetro del hospital es incipiente. |
| Alto | No existen fuentes de abastecimiento alternas. El hospital no es autónomo en situaciones de emergencia. Los ductos y redes de transmisión se encuentran en regular estado; no tienen anclajes o son insuficientes. La dotación de servicios básicos en el perímetro del hospital es deficiente o nula. |

Para la aplicación de este índice se sugiere que un evaluador realice una inspección de las instalaciones y de acuerdo a su observación seleccione el nivel que mejor representa la situación del hospital. Para cada clase de vulnerabilidad no estructural (bajo, incipiente, apreciable, notable, alto) se ha elaborado un índice de daño no estructural I_{NS} considerando los niveles de seguridad sugeridos en el documento FEMA 396 (2003) y las escalas de daño estructural sugeridas por Rosseto & Elnashai (2003).

Para la construcción de este índice se consideran los siguientes supuestos:

- Respecto a los niveles de comportamiento y daño estructural, se adoptan los siguientes rangos para el grado de daño medio y daño no estructural

| Nivel de comportamiento | Operacional | Ocupación inmediata | Seguridad de la vida | Prevención de colapso |
|-----------------------------------|-------------|--|---|-----------------------|
| Grado de daño medio (estructural) | 0-20 | 20-50 | 50-70 | >70 |
| Daño no estructural | Mínimo | Equipo y contenidos están seguros. Pueden no funcionar por fallas mecánicas o falla en las instalaciones | Sin caída de elementos. Muchos elementos arquitectónicos, mecánicos y eléctricos pueden fallar. | Daño extensivo |

- Los objetivos de comportamiento sugeridos en el documento FEMA 396 (2003) se asociaron a la clase de baja vulnerabilidad.
- Para la clase de baja vulnerabilidad, para un grado de daño medio (estructural) del 50% se asoció un índice de daño de los elementos no estructurales igual al 0.5 y cercano a 1 cuando el grado de daño es igual a o superior al 70%, de acuerdo con los criterios de FEMA 396 (2003).
- Para la clase de alta vulnerabilidad se consideró que los daños en los elementos no estructurales son cercanos al 100% para el nivel de comportamiento de ocupación inmediata. De esta manera son edificios que no cumplen con los requisitos del FEMA 396. Para las clases restantes, el índice de daño no estructural I_{NSj} de la clase de vulnerabilidad j (bajo, incipiente, apreciable, notable, alto) se ajustó entre los valores de las clases de baja y alta vulnerabilidad de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_{NSj} = \exp \left(\log(0.5) \left(1 - \frac{ds}{\alpha I_j} \right)^{\alpha 2_j} \right) \quad [F-1]$$

En donde ds representa el daño estructural, medido a través del grado de daño medio normalizado; αI_j y $\alpha 2_j$ son parámetros que se ajustaron para evaluar el índice de vulnerabilidad no estructural de acuerdo a la clase de vulnerabilidad j . Dichos Los parámetros empleados en este estudio se presentan en la Tabla F. 4.

Tabla F. 4 Factores empleados para el índice de vulnerabilidad no estructural según clase de vulnerabilidad

| Factor | Clase de vulnerabilidad | | | | |
|------------|-------------------------|------------|----------|------------|------|
| | Baja | Incipiente | Moderada | Apreciable | Alta |
| α_1 | 0.43 | 0.48 | 0.53 | 0.58 | 0.63 |
| α_2 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 |

En la Figura F- 1 se presentan los índices de daño no estructural para cada clase de vulnerabilidad. Se debe resaltar que el alcance del índice no es reemplazar un análisis de vulnerabilidad detallado. Es una herramienta de decisión correspondiente a una política nacional-regional de mitigación de riesgos en las instalaciones de salud (WHO 2008). Por esta razón, resulta conveniente realizar una evaluación más resumida, evitando calificaciones individuales sobre cada componente.

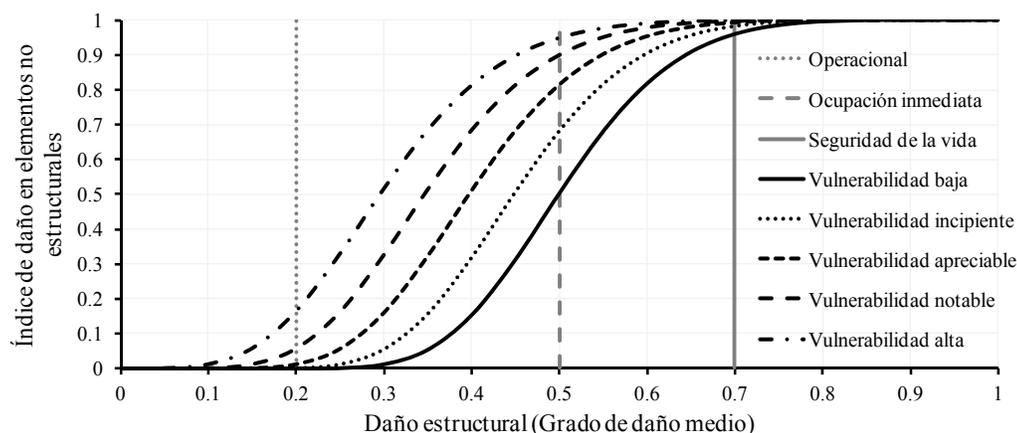


Figura F- 1 Índice de daño en elementos no estructurales según grado de vulnerabilidad no estructural y daño estructural del edificio

F.1.3 Capacidad de respuesta

La resiliencia de un sistema está asociada a la rapidez de la respuesta y a la disponibilidad de recursos de un sistema en situaciones de emergencia (Bruneau y Reinhorn 2007; Cimelaro et al. 2010). En cada hospital, dicha capacidad se asocia a la organización para la respuesta a emergencias, a la aplicación de planes de emergencias y contingencias internas y externas, al mantenimiento preventivo y correctivo de las líneas vitales y la disponibilidad de recursos para la preparación y respuesta a desastres.

Como una lista de chequeo, el ISH es útil para identificar vacíos en las actividades de fortalecimiento de la capacidad de respuesta. No obstante, dada la extensión y las definiciones de los niveles de calificación, éstos son más apropiados para una guía que para un indicador. Por esta razón, se propone sintetizar por actividades y definir metas de referencia que pueden ser útiles para planificar los procedimientos respecto a la gestión de emergencias. Cardona et al. (2003) proponen en el Índice de Gestión del Riesgo (IGR) una escala cualitativa como referencia para la evaluación de la preparación y de la respuesta a emergencias a un nivel regional. Esta escala está organizada en niveles progresivos que expresan el grado de desarrollo que se ha logrado en cada actividad. Considerando la escala como metas de gestión, el indicador permite definir un plan de mejoramiento en múltiples etapas.

Así, para la evaluación de la capacidad de respuesta se propone adaptar el enfoque del IGR. Las actividades consideradas son: (i) la organización para la respuesta a emergencias, (ii) la capacitación del personal en actividades de emergencia, (iii) el sistema logístico y (iv) el desarrollo de ejercicios de simulación y simulacro. Las descripciones de cada uno de los objetivos incluidos corresponden a una

síntesis de diversos manuales desarrollados por la OMS (ver OPS 1983, 1995, 1996, 2000, 2001, 2003 y 2007).

En la Tabla F. 5 se presentan los criterios empleados para describir el avance en cada actividad, así como el valor sugerido para el índice de incapacidad de respuesta según la clasificación cualitativa de las actividades.

Tabla F. 5 Criterios cualitativos sugeridos para la evaluación de la incapacidad para la respuesta a emergencias

| Nivel de incapacidad | Agentes involucrados | Grado de desarrollo | Cantidades | Periodicidad | Índice de incapacidad |
|----------------------|----------------------------------|-------------------------|------------|---------------|-----------------------|
| Bajo | Comunidad | Actualmente en práctica | Todos | Siempre | 0.2 |
| Incipiente | Administración de gobierno | En prueba | La mayoría | Muchas veces | 0.4 |
| Medio | Adminstradores de líneas vitales | En ejecución | Algunos | Algunas veces | 0.6 |
| Notable | Red de hospitales | En diseño | Pocos | Rara vez | 0.8 |
| Alto | Hospital | Inexistente | Ninguno | Nunca | 1 |

En la Tabla F. 6, Tabla F. 7, Tabla F. 8 y Tabla F. 9 se presentan escalas cualitativas (bajo, incipiente, apreciable, notable y alto) para evaluar la incapacidad de respuesta a emergencias en términos de la organización para la respuesta a emergencias, simulaciones y simulacros, la capacitación del personal y el sistema logístico para la atención de emergencias. En dicha escala el nivel bajo representa la menor vulnerabilidad (la mayor capacidad) y el nivel alto la mayor vulnerabilidad (la menor capacidad). El evaluador, de acuerdo con la inspección del hospital y con apoyo del comité de emergencias o del personal responsable en el hospital, debe establecer cuál es el nivel que mejor representa la situación observada en el hospital.

Tabla F. 6 Niveles de incapacidad en la organización para la respuesta a emergencias

| Nivel de incapacidad | Descripción |
|----------------------|---|
| Bajo | Avanzada coordinación interinstitucional entre entidades públicas, privadas y comunitarias para la respuesta a emergencias. Alto grado de organización y adaptación del plan de emergencias. Notable planificación y flexibilidad de espacios dentro del hospital para aumentar su capacidad. Existen procedimientos para la rápida transferencia de pacientes, para la habilitación de sitios para la ubicación temporal de cadáveres y medicina forense y para la informar al público y la prensa. |
| Incipiente | Notable organización para la clasificación y atención de heridos. Notable coordinación entre del Plan de Emergencias hospitalario con las entidades operativas, de servicios públicos, las autoridades locales y organismos de la sociedad civil. Adecuada coordinación en el sistema de referencia de pacientes. Adecuada señalización y acceso a las vías de escape. Sistemas de detección de incendios y de equipos contra incendios funcionando Existe un sistema de vigilancia y programas especiales para el control de enfermedades en situaciones de emergencia |
| Apreciable | Existe un Plan de Emergencias para el hospital. Se definen niveles de autoridad, la cadena de mando la organización y responsabilidades institucionales en la respuesta a emergencias. El plan se consulta y revisa frecuentemente con el sistema sanitario y las autoridades civiles y locales. |
| Notable | Formulación preliminar del plan de emergencias. Alta dependencia funcional entre las áreas de urgencias y atención médica del hospital con las restantes |
| Alto | Precaria organización para la respuesta a emergencia. Se cuenta con un inventario de personal y recursos disponibles durante emergencias. Listas básicas de chequeo o tarjetas de acción de actividades para realizar durante la atención de emergencias |

Tabla F. 7 Niveles de incapacidad en actividades de capacitación del personal

| Nivel de incapacidad | Descripción |
|----------------------|---|
| Bajo | Todo el personal del hospital se encuentra capacitado y entrenado para la respuesta a emergencias y desastres. Frecuente actualización y entrenamiento. |
| Incipiente | Notable avance en la capacitación de personal. Gran parte del personal se encuentra certificado |
| Apreciable | Desarrollo de un programa de capacitación al personal según las disposiciones del sistema sanitario, nivel de atención y necesidades del hospital. Apreciable avance en la capacitación de personal del servicio de salud para la respuesta a eventos desastrosos |
| Notable | Definición de necesidades de capacitación. Bajo grado de preparación y capacitación del personal para la respuesta a emergencias |
| Alto | Incipiente grado de capacitación para la respuesta a eventos desastrosos |

Tabla F. 8 Niveles de incapacidad en el sistema logístico para la atención de emergencias

| Nivel de incapacidad | Descripción |
|----------------------|---|
| Bajo | Óptima disponibilidad de recursos para la atención y administración de emergencias. Notable capacidad de manejo de desechos. Se cuenta con un sistema de distribución del personal durante la atención de la emergencia de acuerdo a los perfiles, condiciones de atención y periodos de relevo necesarios. Existe un sistema de apoyo psicosocial para el personal que atiende la emergencia |
| Incipiente | Notable disponibilidad de recursos. Uso de herramientas sistematizadas y software especializado para el inventario y administración de recursos e información. Se estiman necesidades de recursos médicos y sanitarios a partir del análisis de escenarios de daños. Notable coordinación con las autoridades de seguridad, protección civil y movilidad para garantizar el abastecimiento y transporte de recursos durante la emergencia. Notable dotación y organización de las áreas de expansión médica y del Centro de Operaciones de Emergencias. |
| Apreciable | Adecuada disponibilidad de recursos. Apreciable coordinación con proveedores y fuentes de abastecimiento. El hospital cuenta con una bodega para el almacenamiento de suministros médicos y sanitarios para la atención de emergencias. Apreciable organización y dotación del Centro de Operaciones de Emergencia y de las áreas de expansión médica. |
| Notable | Baja disponibilidad de recursos. Se definen procedimientos para las actividades de compra, préstamo y donación en situaciones de emergencia. Existe un Centro de Operaciones de Emergencia así como áreas de expansión médica con dotación mínima. |
| Alto | Insuficiente disponibilidad de recursos para la atención y administración de emergencias. Identificación de proveedores y recursos necesarios sólo hasta la ocurrencia de desastres. Uso de bodegas temporales para el almacenamiento de recursos en situaciones de emergencia. |

Tabla F. 9 Niveles de incapacidad en las actividades de simulación y simulacros

| Nivel de incapacidad | Descripción |
|----------------------|---|
| Bajo | Permanente prueba de planes de emergencia y contingencia y actualización de procedimientos operativos en ejercicios de simulación y simulacros. Uso de escenarios de daño por eventos de gran magnitud |
| Incipiente | Realización de simulaciones y simulacros en conjunto con la red de hospitales. Hay participación de personas de la comunidad, del sector privado y de los medios de comunicación. Mejoras en los tiempos de respuesta |
| Apreciable | Ejercicios esporádicos de simulación y simulacros de situaciones de emergencia en coordinación con las entidades de servicios públicos y la administración local. Evaluación y análisis de resultados. |
| Notable | Ejecución esporádica de ejercicios de simulación y simulacros a nivel interno |
| Alto | Incipiente preparación y entrenamiento del personal de respuesta médica ante la ocurrencia de eventos desastrosos |

F.1.4 Seguridad de los hospitales y fragilidad socioeconómica

Existe una fuerte correlación entre salud y desarrollo. Se ha encontrado en países desarrollados y en vía de desarrollo que entre más alto es el producto nacional, más alta es la esperanza de vida y más baja la mortalidad y morbilidad (Flessa 2007). De esta manera, la seguridad de la infraestructura hospitalaria es un factor relevante en la relación entre la salud de la población y el desarrollo.

A su vez, la calidad de vida y el bienestar están relacionados con la disponibilidad de alimentos, vestido, agua potable, instalaciones de educación y de salud y el nivel de ingresos (Dasgupta y Weale 1992). Royuela y Suriñach (2005) han medido la calidad de vida en la Provincia de Barcelona usando 18 indicadores básicos. En el caso de la salud, estos están relacionados con la cobertura y la oferta de servicios médicos, expresados como el número de médicos por cada mil habitantes, y el número de camas hospitalarias, entre otros.

En cuanto a la fragilidad socioeconómica, el sistema sanitario catalán considera como factores sociales de riesgo para la salud el nivel de ingresos y la capacidad de organización doméstica, el desempleo, el bajo nivel educativo, la superpoblación, la fragmentación social, las oleadas migratorias intensivas, elevados niveles de violencia y delincuencia. (Generalitat de Catalunya, Departament de Salut 2008). Dichos factores representan grupos de población vulnerables.

Respecto a la capacidad de respuesta de las comunidades en situaciones de emergencia, la proporción de personas de mayor edad y de niños con respecto a la población en capacidad de trabajar representa la población que en general está en desventaja para llevar a cabo medidas de autoprotección y recuperación, manifestando al mismo tiempo el grado de dependencia y responsabilidad de las personas económicamente activas durante los procesos post-desastre. De la misma manera, el desempleo se entiende como una desventaja económica agravante en situaciones de crisis ya que se considera una restricción para el acceso a recursos y medios de protección (Cardona et al. 2003).

Para la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica, Cardona et al. (2003) sugieren un Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) con el fin de establecer referencias sobre la exposición y susceptibilidad, la fragilidad socioeconómica y la falta de resiliencia a un nivel regional usando indicadores sociales. Estas condiciones son consideradas como factores agravantes a las situaciones de desastre y representan la capacidad de las comunidades para enfrentar eventos críticos y su habilidad para recuperarse.

Como complemento, Carreño et al. (2007) proponen el Índice de Riesgo Urbano (IRU) que incluye las pérdidas esperadas (efectos primarios del desastre) y la vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades, reflejadas en un factor de agravamiento (efectos secundarios del desastre). Este factor de agravamiento intenta representar los problemas adicionales de comunidades de baja resiliencia cuando se enfrentan a emergencias y a la posterior fase de recuperación; dicho factor es una alternativa para valorar las pérdidas en el contexto socioeconómico que ocurren.

Así, tanto la evaluación de las pérdidas esperadas en las instalaciones de salud, como la definición de sus niveles de seguridad, deben incluir aspectos relacionados con el desarrollo humano, el bienestar, la fragilidad socioeconómica y la capacidad de respuesta de las comunidades, para cuantificar apropiadamente los beneficios de la seguridad de esta infraestructura.

F.1.5 Estructura del índice de vulnerabilidad de Hospitales

La estructura del Índice de Vulnerabilidad de Hospitales (IVH) se presenta en la Figura F- 2. Se adopta el marco conceptual del IRU (Carreño et al. 2007) y las metodologías sugeridas para la evaluación de la seguridad estructural, no estructural y de capacidad de respuesta de las instalaciones de salud, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IVH = V(I_S, I_{NS}, I_{RC}) \times (I + FS) \quad [F-2]$$

Donde $V(I_S, I_{NS}, I_{RC})$ representa los indicadores de daños estructurales I_S , no estructurales I_{NS} y de capacidad de respuesta I_{RC} . Cada uno de estos índices se multiplica por un peso correspondiente x_i . La OMS sugiere los siguientes valores: $x_S = 0.5$ para los componentes estructurales (en este caso el grado de daño medio normalizado), 0.3 para los componentes no estructurales y 0.2 para la capacidad de respuesta (WHO 2008). Así $V(I_S, I_{NS}, I_{RC})$ se evalúa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V(I_S, I_{NS}, I_{CR}) = x_S \times I_S + x_{NS} \times I_{NS} + x_{CR} \times I_{CR} \quad [F-3]$$

Por otro lado, FS representa el Factor de agravamiento dada la vulnerabilidad socioeconómica de la comunidad. Éste factor se considera un indicador compuesto tal como se presenta a continuación.

$$FS = x_{EF} \times EF + x_{VO} \times VO + x_{TO} \times TO + x_{CO} \times CO \quad [F-4]$$

$$EF = \sum_i x_{EFi} \times EF_i \quad [F-5]$$

Donde, x_{EF} , x_{VO} , x_{TO} , x_{CO} son los pesos asignados a cada indicador. (EF) representa la exposición y fragilidad de la población en términos de la tasa de dependencia senil ($EF1$), la dependencia juvenil ($EF2$), la tasa de pobreza ($EF3$), la tasa de desempleo ($EF4$) y la densidad de población ($EF5$). La combinación de estos indicadores se presenta en la expresión [F-4] en la cual cada x_{EFi} representa el peso asignado a cada subindicador y cada EF_i representa el valor normalizado de cada subindicador. Por otro lado, VO es el valor normalizado del número de camas, TO representa la calificación del nivel de atención del hospital. TO toma valores de 1 para hospitales de atención básica, 2 para hospitales de referencia y 3 para hospitales de alta tecnología. Finalmente CO representa la tasa de hospitalización.

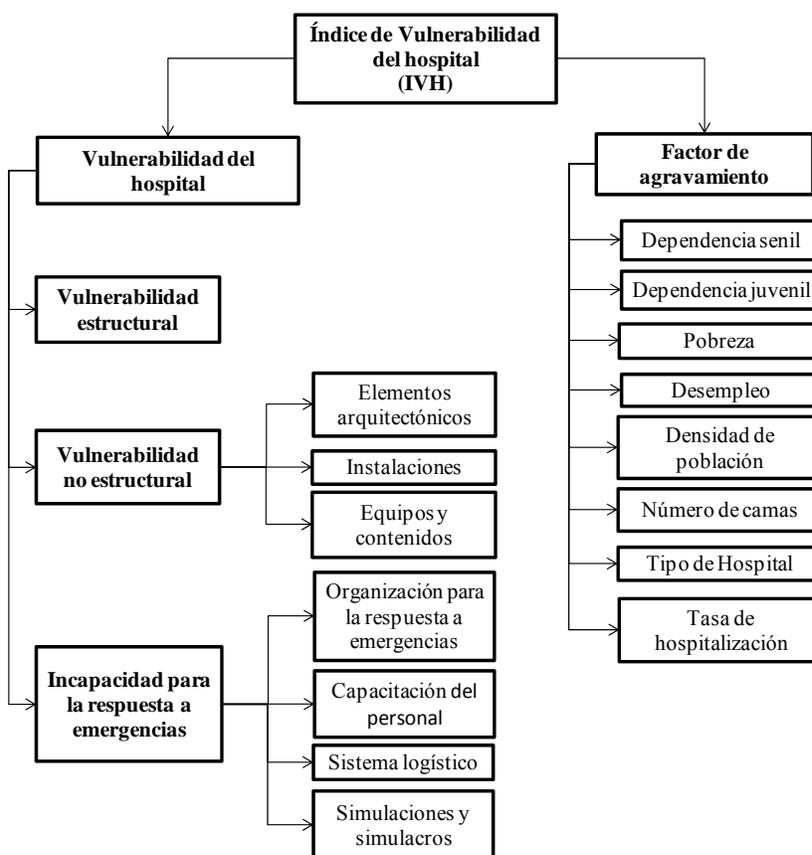


Figura F- 2 Estructura del Índice de Vulnerabilidad de Hospitales

El máximo valor del IVH es 2 y está asociado por un lado a una alta vulnerabilidad estructural y no estructural de los hospitales y por el otro a una alta fragilidad socioeconómica de las comunidades. Respecto a la vulnerabilidad estructural y de elementos no estructurales, la mayor calificación corresponde a los hospitales en los cuales el grado de daño medio esperado es cercano al estado de daño completo (grado de daño medio igual a uno). Asimismo, la mayor calificación estaría asociada a las condiciones en las cuales los indicadores de incapacidad de respuesta son altos. Estos resultados son

afectados por el factor de agravamiento, de tal forma que la mayor calificación también reflejaría precarias condiciones del contexto socioeconómico.

F.2 Aplicación del Índice de Vulnerabilidad de Hospitales: Hospitales públicos de Cataluña.

En el Capítulo 7 se presenta una estimación del daño (estructural) esperado considerando periodos de retorno de 475 y 975 años. En dicho análisis, el grado de daño medio de los edificios se estima usando un método simplificado basado en espectros de capacidad. Para este fin, los hospitales se clasificaron en tipologías estructurales de acuerdo a la información disponible en Safina (2003), así como en informes del Departament de Salut (Generalitat de Catalunya. Departament de Salut 2003). Para estas tipologías se adoptan los espectros de capacidad propuestos en el proyecto RISK UE (Milutinovic y Trendafiloski 2003), HAZUS (FEMA/NIBS 2003) para edificios de estructura metálica y Biondini et al. (2008) y Biondini et al. (2010) para el caso de edificios construidos con sistemas industrializados.

De los resultados, se concluye que cerca del 16% de los hospitales tienen daños mayores al estado moderado. Cerca del 45% de los hospitales tienen un daño esperado que varía entre leve y moderado. El 39% de los hospitales tienen un grado de daño esperado que varía entre nulo y leve.

Para escenarios de periodo de retorno de 975 años se estima que ningún hospital tenga un daño esperado mayor que el estado de daño extensivo. Cerca del 44% de los hospitales tienen un grado de daño medio esperado que varía entre moderado y extensivo. Cerca del 31% de los hospitales tienen daños entre leves y moderados y el 25% restante entre nulos y leves. En la Figura F- 3 se presenta un mapa de los hospitales y el grado de daño medio estimado para los dos periodos de retorno.

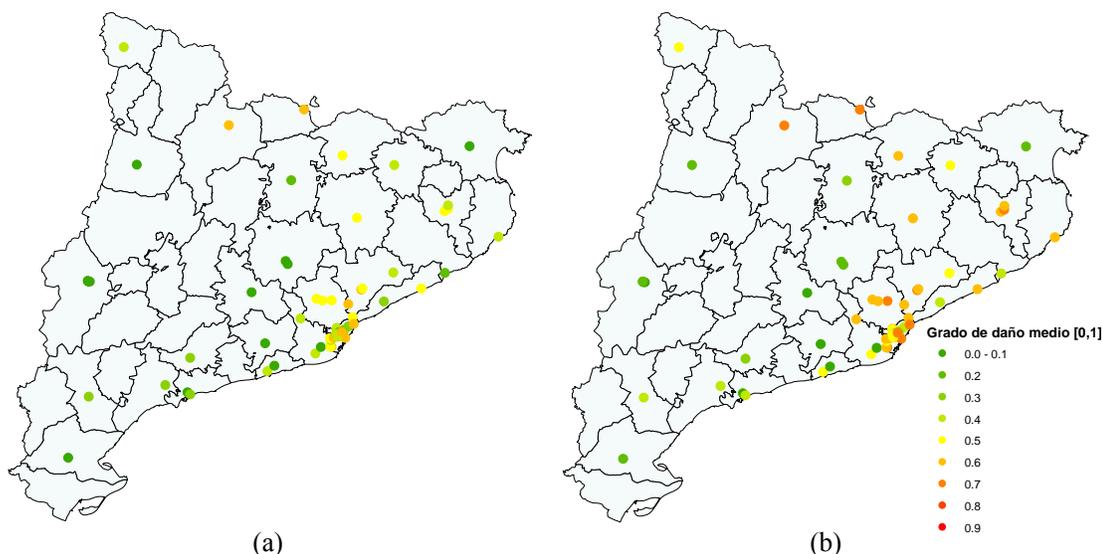
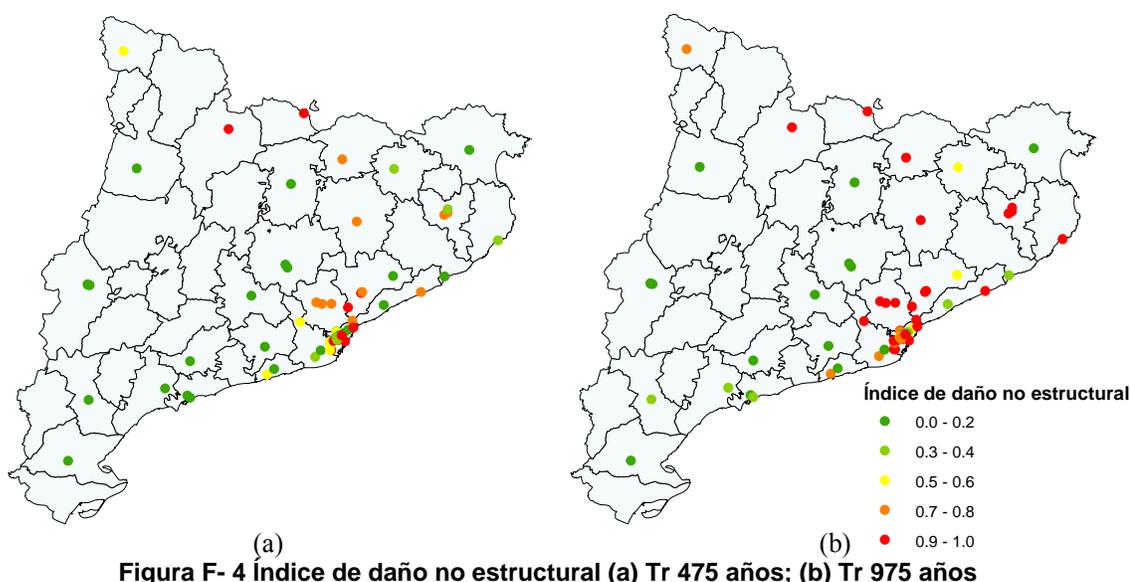


Figura F- 3 Grado de daño medio (a) Tr 475 años; (b) Tr 975 años

Con respecto a la vulnerabilidad no estructural y a la capacidad de respuesta de los hospitales, la información es escasa. La siguiente es una breve descripción de la situación del conjunto de hospitales: La calidad de las conexiones, anclaje y arriostamiento del equipo médico en la mayoría de las instalaciones es considerado entre bueno y regular. En otros hospitales se considera que éste no existe o que es de baja calidad (Safina 2003). Con esta información, se supuso que todos los hospitales tienen una vulnerabilidad no estructural apreciable. El índice de vulnerabilidad no estructural se evaluó siguiendo la expresión [F-1]. En la Figura F- 4 se presenta el mapa del índice de daño no estructural estimado en los hospitales.



En cuanto a la capacidad de respuesta, la mayoría de los hospitales tienen un plan de emergencia y rutas de evacuación bien definidas; no obstante, no hay consideraciones específicas para una gestión de un número masivo de heridos en eventos sísmicos. No hay datos ni información del desarrollo de simulaciones y simulacros. Todos los centros tienen fuentes alternativas para el abastecimiento de agua potable, energía y gases medicinales. En términos de la accesibilidad, la mayoría de los hospitales la califican como apropiada (Safina 2003). Con esta información, muy limitada, se supuso que todos los hospitales tienen un índice de capacidad de respuesta de 0.5, es decir entre incipiente y apreciable. Para posteriores evaluaciones, se sugiere que la información de la vulnerabilidad no estructural y de la capacidad de respuesta debe complementarse a través de inspecciones visuales rápidas en cada instalación.

Respecto a la resiliencia de las comunidades, todos los indicadores fueron obtenidos del anuario estadístico catalán a nivel de Comarcas (Idescat 2010). Los indicadores de pobreza, desempleo, dependencia juvenil y senil se normalizaron respecto a los valores máximos y mínimos encontrados en la región de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VNL = \frac{I_{max} - I}{I_{min}} \quad [F-6]$$

En donde VNL es el valor normalizado del indicador estudiado. I representa el valor del indicador que se desea normalizar (por ejemplo el desempleo), I_{max} es el valor máximo encontrado para el indicador en la región de estudio, I_{min} es el valor mínimo encontrado para el indicador en la región de estudio. Como ejemplo, en la Figura F- 5 se presenta el valor normalizado del porcentaje de personas pobres respecto al total de la población de la comarca.

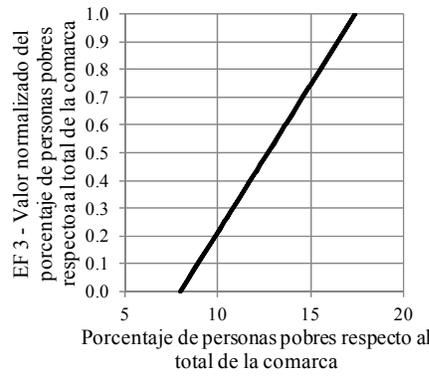


Figura F- 5 Normalización del porcentaje de personas pobres respecto a la comarca

En el caso de la densidad de población y del número de camas, la normalización se estableció utilizando funciones exponenciales, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$VNE = 1 - 0.5^\theta \tag{F-7}$$

En donde VNE corresponde al valor normalizado del indicador. θ es un factor empleado para la normalización y se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\theta = \left(\frac{I}{R}\right)^n \tag{F-8}$$

En donde I representa el valor del indicador que se desea normalizar, R corresponde a un valor de referencia sobre el cual se desea realizar la normalización y n a un factor de ajuste de la normalización.

En la Figura F- 6 (a) se presenta la distribución relativa de población así como los valores normalizados del indicador de densidad de población por comarcas (b). En este caso R se asumió igual a 230 (habitantes/km²). En esta Figura se puede observar cómo el 80% de las comarcas corresponden al 30% de la población. En forma análoga un 20% de las comarcas corresponde al 70% de la población, lo que determina pocas zonas de mucha mayor densidad.

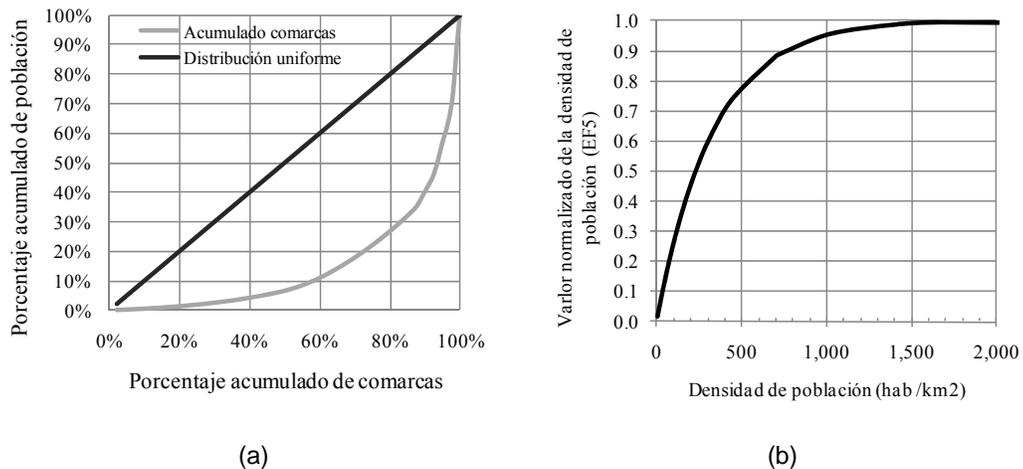


Figura F- 6 (a) Distribución relativa de la población según comarcas. Factor de densidad de población (b)

En el caso de las camas hospitalarias, En la Figura F- 7 (a) se observa que un 80% de los hospitales corresponde a un 50% de las camas hospitalarias. En forma análoga, un 20% de los hospitales concentra el 50% de las camas hospitalarias. En la Figura F- 7 (b) se presenta el factor normalizado del número de camas empleando una función exponencial de acuerdo a las expresiones [F-7] y [F-8], con $R=259$ (camas) y $n=1.6$.

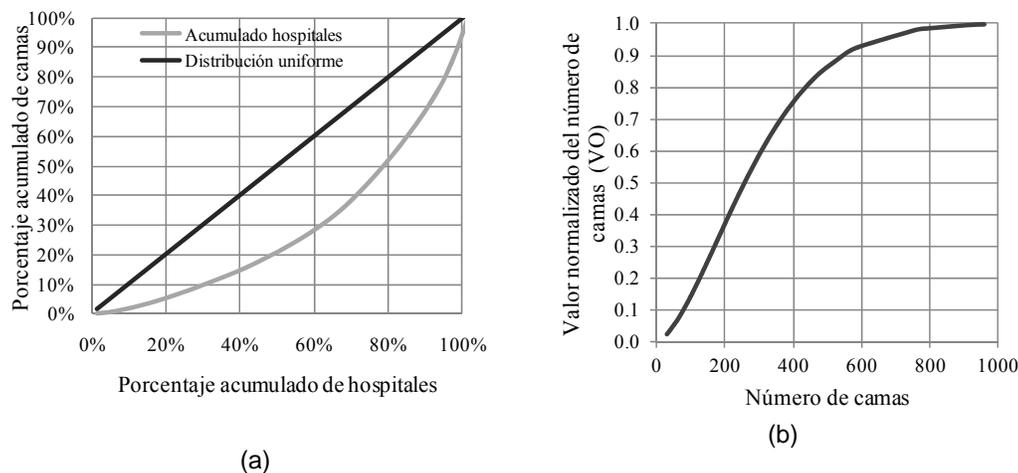


Figura F- 7 (a) Distribución relativa de las camas hospitalarias según hospitales. (b) Factor por número de camas por hospital

En la Figura F- 8 se presentan los factores de dependencia senil y juvenil, en la Figura F- 9 se presentan los factores por desempleo (relación entre activos/inactivos laboralmente) y la tasa de pobreza. Por último en la Figura F- 10 se presenta el factor por densidad de población y el Factor de agravamiento total asignado a cada comarca.

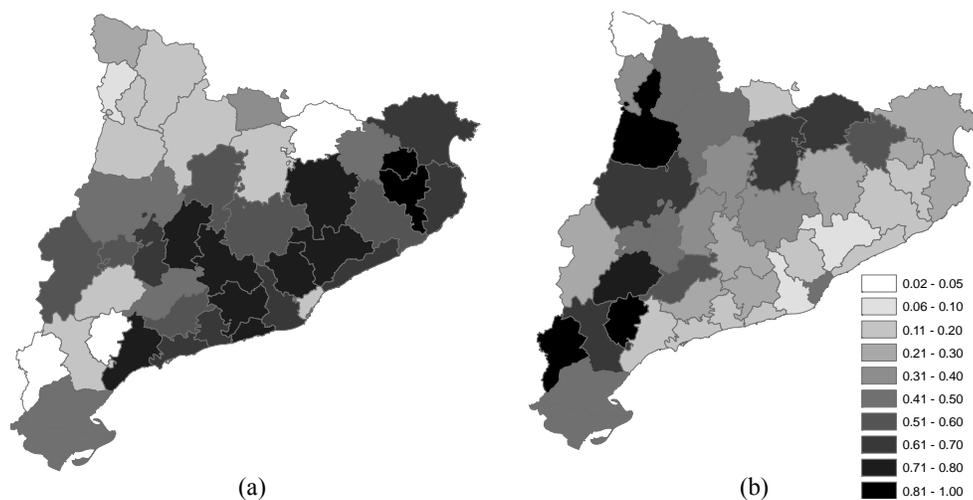


Figura F- 8 (a) Factor de dependencia juvenil; (b) factor de dependencia senil

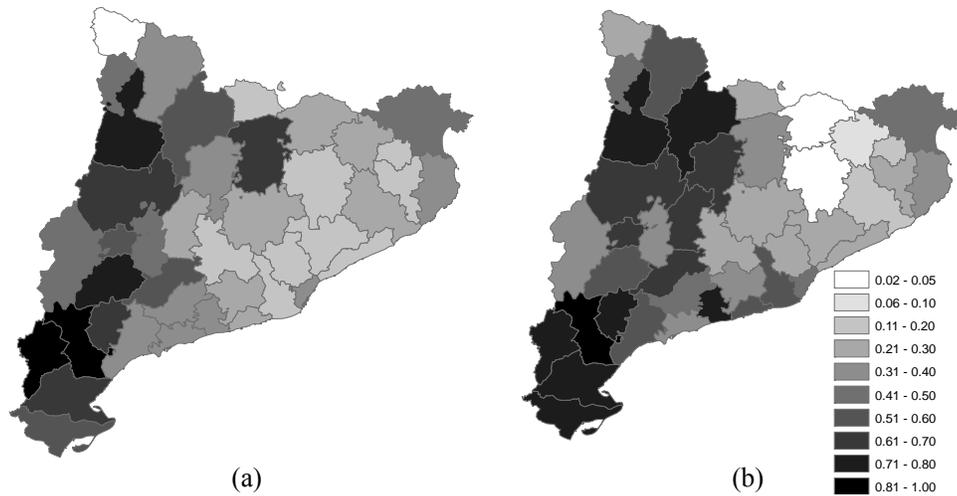


Figura F- 9 (a) Factor de inactivos / activos laboralmente; (b) Porcentaje de población pobre

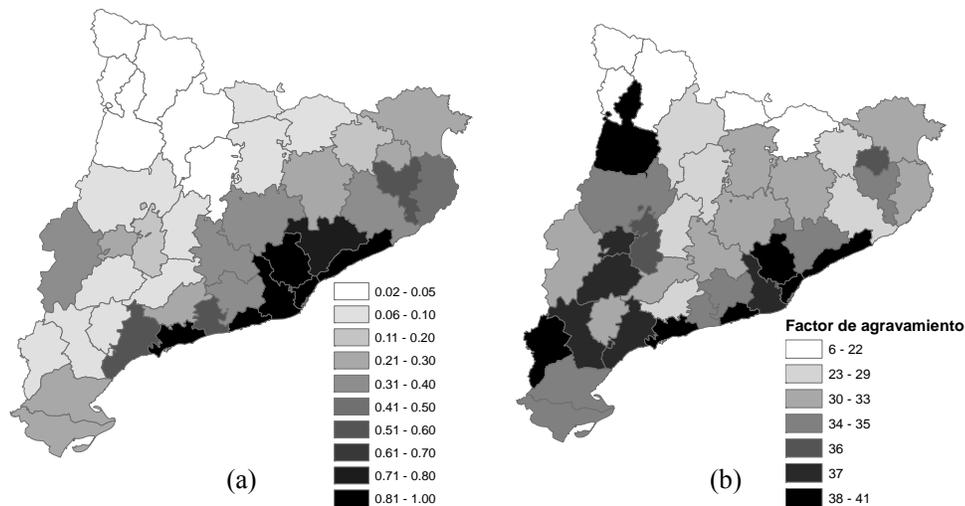


Figura F- 10 (a) Factor por densidad de población; (b) factor de agravamiento

El IVH se ha estimado para cada uno de los hospitales de la red pública de Cataluña analizados en el Capítulo 7 de esta Tesis, complementando la evaluación de la vulnerabilidad estructural, no estructural y de capacidad de respuesta, con los indicadores de oferta y de fragilidad socioeconómica. En la Tabla F. 10 y en la Figura F- 11 se presenta el porcentaje de hospitales según rangos del IVH. Se observa que para periodos de retorno de 475 años, cerca del 47% de los hospitales tienen un IVH mayor a 0.6. Para periodos de retorno de 975 años, este porcentaje es cercano al 62%. En la Tabla F. 11 se presentan los hospitales según rangos del índice de vulnerabilidad para los periodos de retorno de 475 y 975 años. El valor promedio para el conjunto de instalaciones es 0.55 para periodos de retorno de 475 años y de 0.72 para periodos de retorno de 975 años.

Tabla F. 10 Porcentaje de hospitales según rangos del Índice de Vulnerabilidad de Hospitales

| Índice de vulnerabilidad de Hospitales | Tr 475 años | | Tr 975 | |
|--|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| | Número de hospitales | Porcentaje de hospitales | Número de hospitales | Porcentaje de hospitales |
| <0.1 | 0 | 0% | 0 | 0% |
| 0.1 - 0.2 | 13 | 20% | 7 | 11% |
| 0.2 - 0.3 | 5 | 8% | 6 | 9% |
| 0.3 - 0.4 | 5 | 8% | 2 | 3% |
| 0.4 - 0.5 | 7 | 11% | 6 | 9% |
| 0.5 - 0.6 | 4 | 6% | 3 | 5% |
| 0.6 - 0.7 | 7 | 11% | 4 | 6% |
| 0.7 - 0.8 | 5 | 8% | 4 | 6% |
| 0.8 - 0.9 | 7 | 11% | 4 | 6% |
| >0.9 | 11 | 17% | 28 | 44% |
| IVH promedio | | 0.55 | | 0.72 |

Tabla F. 11 Hospitales según rango del Índice de vulnerabilidad para periodos de retorno de 475 y 975 años

| Rango del Índice de vulnerabilidad de hospitales | Tr 475 años | Tr 975 años |
|--|---|---|
| 0.0 - 0.2 | 3, 4, 8,10, 11, 12, 20, 24, 25, 27,36,38, 41 | 4,10, 11,24, 25, 36, 38 |
| 0.2 - 0.4 | 1, 2, 5, 6, 13, 35, 48, 55, 58, 61 | 41, 12, 20, 3, 8, 27, 48, 1 |
| 0.4 - 0.6 | 15, 16, 19, 22, 26, 28, 37,51, 59 | 61, 55, 13, 5, 22, 2, 51, 6, 58 |
| 0.6 - 0.8 | 17,18, 29, 33, 43, 46, 47, 49, 50,53, 56,62 | 37, 16, 40, 35, 7, 28, 59, 33 |
| >0.8 | 9,14, 21, 23, 30, 31, 32, 34, 39,42, 44, 45, 52, 54, 57,60, 63,64 | 53, 15, 43, 62, 17, 21, 26, 56, 47, 52, 45, 18, 49, 44, 29, 19, 46, 39, 9, 64, 14, 42, 54, 50, 23, 32, 63, 34, 60, 31, 30, 57 |

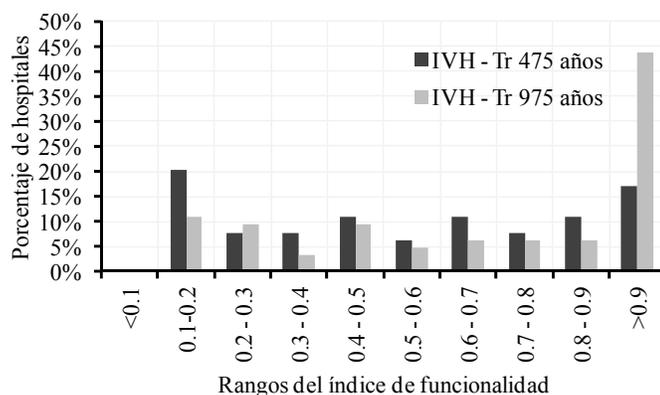


Figura F- 11 Porcentajes de hospitales según rangos del Índice de Vulnerabilidad para periodos de retorno de 475 y 975 años

La Figura F- 12 presenta los resultados para cada instalación. Se observa que estos resultados son semejantes a los del grado de daño medio y del índice de daño no estructural. Se observa que los hospitales con mayores índices de vulnerabilidad están situados en la provincia de Barcelona, Girona y en las comarcas al del norte de Cataluña. Así, tal como concluía también Safina (2003), la zona norte y noroeste está condicionada por la mayor peligrosidad sísmica mientras que la zona de Barcelona y alrededores está más condicionada por la alta vulnerabilidad y la mayor demanda de servicios debido a la enorme densidad de población y al contexto social de la misma.

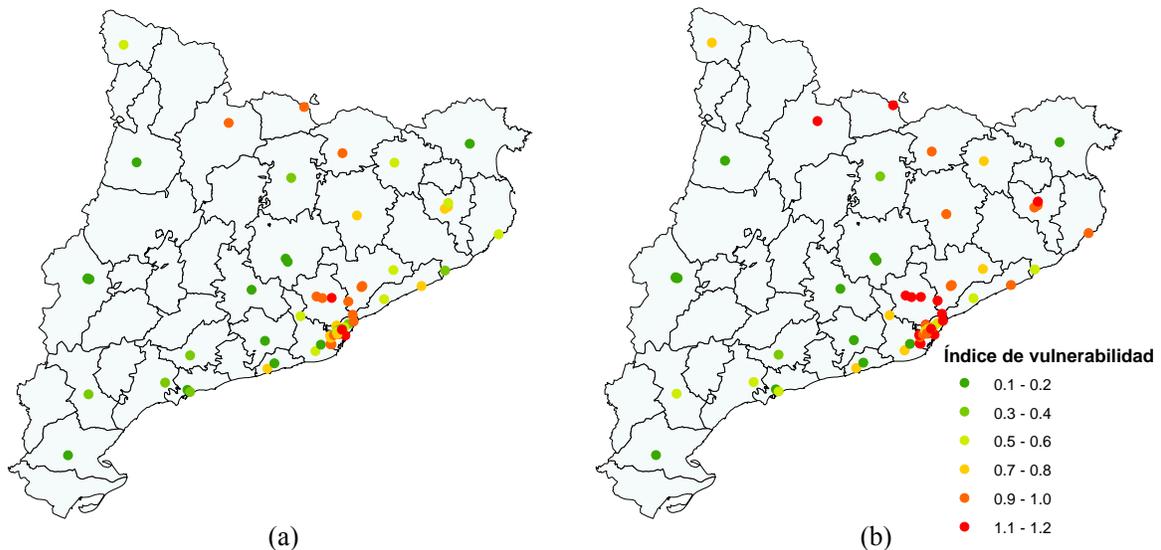


Figura F- 12 Índice de Vulnerabilidad de Hospitales (a) Tr 475 años; (b) 975 años

Con el fin de establecer un umbral para calificar los hospitales de acuerdo al IVH, se ha realizado una comparación entre este indicador y el Índice de funcionalidad presentado en el Capítulo 4 (ver la Figura F- 13). Se observa que un índice de funcionalidad menor a 0.5 corresponde a instalaciones con un índice de vulnerabilidad mayor a 0.6.

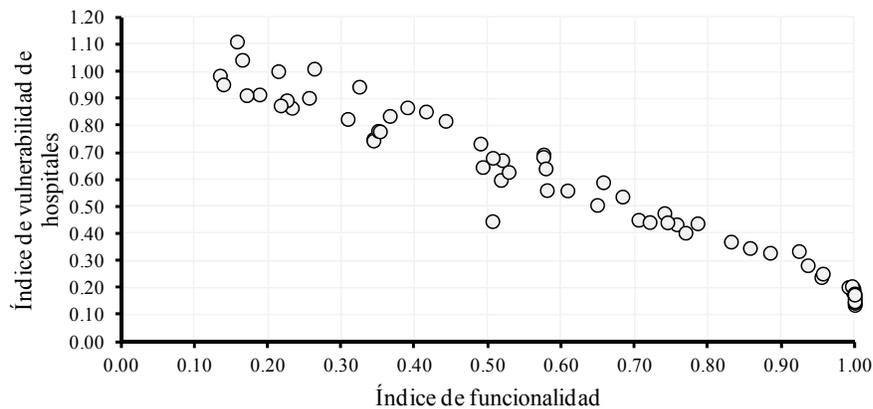


Figura F- 13 Relación entre el índice de funcionalidad y el de vulnerabilidad de hospitales

Con base en esta comparación, se establecen los siguientes criterios para evaluar la vulnerabilidad de los hospitales

Tabla F. 12 Criterios para la calificación de la vulnerabilidad a partir del IVH

| Rango del IVH | Calificación de la vulnerabilidad |
|---------------|-----------------------------------|
| 0.0 - 0.3 | Baja |
| 0.3-0.45 | Incipiente |
| 0.45-0.6 | Apreciable |
| 0.6-0.9 | Notable |
| >0.9 | Alta |

Por último, en la Tabla F. 13 se presentan los resultados del grado de daño medio y del índice de Vulnerabilidad de Hospitales obtenidos para los hospitales públicos de Cataluña. A partir de estos resultados los hospitales se clasifican según clases de vulnerabilidad considerando los valores obtenidos para eventos de periodo de retorno de 475 años.

Tabla F. 13 Resultados del grado de daño medio y del índice de funcionalidad por instalación

| ID | Institución | Grado de daño | Índice de Vulnerabilidad |
|----|---|-------------------|--------------------------|
| | | normalizado [0-1] | de Hospitales |
| | | Tr 475 | Tr 475 |
| 57 | Hospital Clínic Provincial Barna | 0.55 | 1.12 |
| 63 | Hospital Central - L'Aliança | 0.54 | 1.06 |
| 30 | Corporació Sanitària Parc Tauli | 0.49 | 1.03 |
| 60 | Hospital del Mar | 0.52 | 1.02 |
| 14 | Hospital de Puigcerdà | 0.56 | 0.99 |
| 31 | Hospital de Terrassa | 0.47 | 0.96 |
| 64 | Hospital Municipal de Badalona, S.A | 0.56 | 0.96 |
| 39 | Fundació Privada Hospital de Mollet | 0.53 | 0.93 |
| 44 | Policlínica del Vallès, S.A | 0.54 | 0.92 |
| 54 | Fundació Puigvert, I.U.N.A | 0.5 | 0.92 |
| 23 | Institut Català d'Oncologia | 0.51 | 0.91 |
| 52 | Hospital Casa de Maternitat | 0.52 | 0.89 |
| 9 | Fundació Sant Hospital | 0.51 | 0.88 |
| 32 | H. Universitari Germans Trias i Pujol | 0.44 | 0.88 |
| 34 | Hospital Mútua de Terrassa | 0.43 | 0.86 |
| 45 | Hospital General de Granollers | 0.45 | 0.85 |
| 21 | Hospital de Campdevànol | 0.47 | 0.84 |
| 42 | Hospital Universitari de Bellvitge Prínceps d'Espanya | 0.42 | 0.82 |
| 29 | Hospital General de Vic | 0.45 | 0.79 |
| 47 | Hospital de Sant Jaume | 0.45 | 0.79 |
| 17 | Hospital Provincial Santa Caterina | 0.46 | 0.76 |
| 18 | Clínica Girona, S. A | 0.46 | 0.76 |
| 46 | Hospital de Sant Joan de Déu (Llobregat) | 0.4 | 0.73 |
| 49 | H. de Trauma-Rehabilit. Vall d'Hebron | 0.37 | 0.67 |
| 56 | Hospital Dos de Maig | 0.39 | 0.67 |
| 43 | Consorci Hospital de la Creu Roja | 0.39 | 0.66 |
| 50 | Hospital General Vall d'Hebron | 0.37 | 0.66 |
| 33 | Fundació H. Comarcal Sant Antoni Abat | 0.4 | 0.64 |
| 53 | Hospital Sant Rafael | 0.39 | 0.62 |
| 62 | Hospital Universitari Sagrat Cor | 0.37 | 0.62 |
| 7 | Espítaiu Val d'Aran | 0.39 | 0.59 |
| 26 | H. Materno-Infantil Vall d'Hebron | 0.34 | 0.56 |
| 28 | Hospital de Viladecans | 0.37 | 0.54 |
| 59 | Clínica Plató, Fundació Privada | 0.35 | 0.54 |
| 19 | H. Univ. De Girona Dr. Josep Trueta | 0.32 | 0.5 |
| 15 | Hospital de Palamós | 0.34 | 0.48 |
| 40 | Fundació Hospital de Sant Joan de Déu (Martorel) | 0.39 | 0.44 |
| 22 | Hospital de Mataró | 0.3 | 0.43 |
| 16 | Hospital Sant Jaume d'Olot | 0.32 | 0.42 |
| 37 | Hospital de Sant Celoni | 0.31 | 0.41 |
| 51 | Institut Guttmann | 0.3 | 0.4 |
| 6 | H. Universitari Sant Joan de Reus | 0.28 | 0.39 |
| 35 | Hospital de l'Esperit Sant | 0.29 | 0.39 |
| 58 | Clínica Quirúrgica Adrià | 0.29 | 0.36 |
| 5 | Hospital de Sant Pau i Santa Tecla | 0.25 | 0.33 |
| 2 | Hospital Comarcal Móra d'Ebre | 0.24 | 0.3 |
| 1 | Pius Hospital de Valls | 0.22 | 0.29 |
| 61 | Fund. Gest. San.Hosp.Sta. Creu i St. Pau | 0.19 | 0.29 |
| 55 | Hospital de l'Esperanca | 0.18 | 0.25 |
| 48 | Hospital de Sant Bernabé | 0.16 | 0.22 |
| 13 | Hospital Comarcal de Blanes | 0.16 | 0.21 |
| 20 | Hospital de Figueres | 0.09 | 0.17 |
| 27 | Centre Hospitalari | 0.07 | 0.17 |
| 3 | Hospital Tortosa Verge de la Cinta | 0.07 | 0.16 |
| 12 | H. Univ. Arnau de Vilanova de Lleida | 0.05 | 0.16 |
| 8 | Hospital Comarcal del Pallars | 0.06 | 0.15 |
| 36 | Hospital Residència Sant Camil | 0.03 | 0.14 |
| 41 | C. Hospitalari-Unit. Coronària Manresa | 0.02 | 0.14 |
| 4 | H. Univ. De Tarragona Joan XXIII | 0.01 | 0.13 |
| 25 | Fundació Sanitària d'Igualada F.P | 0.01 | 0.12 |
| 38 | Hospital de Sant Boi | 0.02 | 0.12 |
| 11 | Hospital de Santa Maria | 0.01 | 0.11 |
| 24 | Hospital Comarcal de l'Alt Penedés | 0.01 | 0.11 |
| 10 | Clínica de Ponent | 0 | 0.1 |

Alta Notable Apreciable Incipiente Baja

F.3 Comentarios finales

En este Anexo se ha propuesto un índice de vulnerabilidad de hospitales en el cual se consideran, además de los aspectos estructurales, también los no estructurales y otros relacionados con la capacidad de respuesta y el contexto social. La evaluación de la seguridad estructural se realiza a través de un método simplificado basado en espectros de capacidad. Para la evaluación de la vulnerabilidad no estructural se establecen clases de vulnerabilidad de acuerdo a las condiciones de anclaje y seguridad de los elementos no estructurales. Considerando los niveles de comportamiento sugeridos en FEMA 396 (2003), se sugiere un índice de daño no estructural para cada clase en términos del grado de daño medio (estructural). Para la evaluación de la capacidad de respuesta se establecen criterios cualitativos para las actividades de preparación, logística y gestión de emergencias. Por último el contexto social se evalúa considerando índices asociados con el acceso a recursos (empleo y pobreza), dependencia de grupos vulnerables (jóvenes y adultos mayores) y densidad de población.

Este índice se aplicó a los hospitales públicos de Cataluña. Se encuentra que los hospitales con mayor índice de vulnerabilidad se encuentran en la Provincia de Barcelona, en Cataluña Central y en las comarcas del norte de Cataluña siendo importantes las contribuciones de la peligrosidad y de la vulnerabilidad, pero también del contexto social. Así, tal como concluía también Safina (2003) la zona norte y noroeste está condicionada por la mayor peligrosidad sísmica mientras que la zona de Barcelona y comarcas está más condicionada por la alta vulnerabilidad y la mayor demanda de servicios debido a la enorme densidad de población y a su contexto social de la misma.

Alcance del indicador

Dada la información y métodos empleados para la evaluación de la vulnerabilidad estructural y no estructural, el IVH está concebido como un primer paso en un procedimiento para definir prioridades de intervención de la vulnerabilidad de los hospitales de acuerdo al índice de riesgo. Las limitaciones de los resultados de la vulnerabilidad estructural se derivan de la clasificación de los edificios en tipologías y de la selección de la forma del espectro de respuesta elástico (Chandler et al. 2001). El grado de daño medio (y en general el procedimiento de estimación de pérdidas) es altamente sensible a la selección de diferentes curvas de fragilidad o tipos de suelos (Grossi 2000). Por esta razón, el análisis de vulnerabilidad desarrollado bajo el método simplificado de espectros de capacidad debe entenderse como preliminar y útil para propósitos de priorización.

Por otro lado, la estimación de pérdidas basadas en el análisis del comportamiento sísmico de tipologías estructurales no debería aplicarse para el análisis de estructuras individuales. Los resultados aquí obtenidos representan la estadística de un grupo extenso de edificios de un tipo similar, que es diferente al comportamiento de un edificio promedio. Por esta razón, el grado de daño medio debe observarse a una escala regional, considerando el inventario completo de los edificios (ATC 2002).

En el caso de la vulnerabilidad socioeconómica, la comparación entre diferentes ciudades o unidades administrativas debe desarrollarse usando el mismo procedimiento con el fin de normalizar todos los indicadores en la misma escala. Estandarizaciones lineales pueden aplicarse en los casos en los cuales la variación no es mayor a dos órdenes de magnitud. De otro modo, otras funciones (e.g exponenciales) pueden ser consideradas. Para más detalles sobre la aplicación de funciones de transformación para la normalización de indicadores ver Carreño et al. (2005).

Adaptación y aplicaciones del índice

El indicador se basa en un marco conceptual que relaciona la vulnerabilidad física de los elementos expuestos con el entorno socioeconómico de la comunidad. Este indicador está diseñado para señalar que el riesgo de un sistema debe ser observado en el contexto social al que pertenece, de tal forma que el factor de agravamiento es una alternativa para reflejar qué tan serias pueden ser las pérdidas esperadas en términos de la resiliencia de la comunidad.

En Cimellaro et al. (2010) se establecen funciones de recuperación lineales, exponenciales o logarítmicas dependiendo de la respuesta del sistema. Por esta razón, la calificación de la rapidez de respuesta y de la disponibilidad de recursos, así como la selección de la función de recuperación más apropiada pueden

justificarse en términos de los indicadores socioeconómicos propuestos y de las calificaciones presentadas para evaluar la capacidad de respuesta del sistema hospitalario.

En este sentido, el IVH puede ser adoptado para evaluar la vulnerabilidad de otras instalaciones de especial importancia como las estaciones de bomberos y centros educativos, entre otras. En estos casos, es necesario identificar apropiadamente los indicadores usados para el análisis de la vulnerabilidad no estructural y de la capacidad de respuesta, así como los indicadores de los servicios que proveen y sus implicaciones en el bienestar de la comunidad. Con respecto a la estimación de la vulnerabilidad estructural y del riesgo, otros métodos de evaluación pueden introducirse empleando métricas diferentes del riesgo físico, como por ejemplo, la pérdida anual esperada.

Uso para la toma de decisiones en gestión de riesgos

Uno de los objetivos principales del IVH es que sea útil para propósitos de priorización, considerando las estimaciones de los daños estructurales y los índices para evaluar la vulnerabilidad no estructural y la capacidad de respuesta. Métodos similares han sido propuestos por Foo y Davenport (2003). Por otro lado, el factor de agravamiento es una alternativa para priorizar los hospitales de acuerdo a las condiciones socioeconómicas de las comunidades que atienden.

Así, a través del IVH es posible evaluar, en términos generales, la reducción de la vulnerabilidad de las instalaciones cuando se desarrollan proyectos de reducción de la fragilidad estructural, no estructural y de mejora de la capacidad de respuesta. No obstante, la decisión de los niveles de seguridad requeridos debe fundamentarse en estudios detallados de la vulnerabilidad estructural y no estructural de los edificios, tal como se presenta en Nuti y Vanzi (1998) o en Lupoi et al. (2008).

Al respecto, se resalta que la cuantificación de los beneficios y costos de la mitigación de riesgos en instalaciones esenciales debe expresarse en términos de las pérdidas económicas directas e indirectas asociadas a la reparación y/o reconstrucción de los edificios, equipos y reposición del inventario, a la pérdida de su funcionalidad en situaciones de emergencia y a los impactos en los servicios que prestan después del desastre. A su vez, es importante considerar los costos de oportunidad de la reposición del capital afectado, especialmente cuando es financiado a través de la reasignación de recursos públicos (Keipi & Tyson 2002).

Referencias

- Achour, N. (2007) "Estimation of Malfunctioning of a Health Care Facility in Case of Earthquake" Ph.D. Thesis, Kanazawa University, Japan.
- Aref, A., Bruneau, M., Constantinou, M., Filiatrault, A., Lee, G.C., Reinhorn, A.M., Whittake, A.S. (2004) "Seismic Response Modification of Structural and Nonstructural Systems and Components in Acute Care Facilities". [En línea] University at Buffalo. MCEER Articles on Hospital Research. Disponible en: http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/04-sp01/08_filiatrault.pdf. [última consulta 25/09/2012].
- ATC 51-1 (2002) "Recommended US – Italy Collaborative Procedures for Earthquake Emergency Response Planning for Hospitals in Italy". 555 Twin Dolphin Drive, Suite 550. Redwood City, California 94065.
- ATC 51-2 (2002) "Recommended US – Italy Collaborative guidelines for bracing and anchoring nonstructural components in Italian hospitals". 555 Twin Dolphin Drive, Suite 550. Redwood City, California 94065.
- Barbat, A.H., Yépez, F. & Canas, J. A. (1996) "Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban zones". *Earthquake Spectra*, 12(3), 371-394.
- Benedetti, D. & Petrini, V. (1984) "Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura i proposte di un metodo di valutazione". *L'industria delle Costruzioni*, 149, 66-74.

- Biondini, F., Toniolo, G., Tsionis, G. (2008) "Seismic design criteria for multi-storey precast structures". *The 14 th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Biondini, F., Toniolo, G., Tsionis, G. (2010) "Capacity Design and Seismic Performance of multy storey precast structures". *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 14(1), 11-28.
- Bruneau, M. Reinhorn, A. (2007) "Exploring the Concept of Seismic Resilience for Acute Care Facilities". *Earthquake Spectra* 23(1): 41-62.
- Cardona, O.D. (1999) "Vulnerabilidad sísmica de hospitales: fundamentos para ingenieros y arquitectos". Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Cardona, O.D, Hurtado, J.E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A.C., Velásquez, L., Prieto, S.D. (2003) [En línea] "Indicadores para la medición del riesgo"- Fundamentos metodológicos IADB/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible en: <http://idea.unalmz.edu.co> [Última consulta 10/04/2010].
- Carreño, M. L., Cardona, O.D., Barbat, A.H. (2007) "Urban seismic risk evaluation: A holistic approach". *Natural Hazards*, 40, 137-172.
- Cimellaro, G.P., Reinhorn, A.M., Bruneau, M (2010) "Seismic resilience of a hospital system". *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1-2) 127-144.
- Dasgupta P., Weale M. (1992) "On measuring the quality of life". *World Development*, 20(1), 119-131.
- FEMA 396 (2003)"Incremental seismic rehabilitation of Hospital buildings - Providing protection to people and buildings". Risk Management Series. Federal Emergency Management Agency [En línea]. Disponible en: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=1981>. [Última consulta 11/11/2012]
- FEMA/NIBS (2003) "Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model HAZUS@MH MR4" Technical Manual. Department of Homeland Security, Emergency Preparedness and Response Directorate, Mitigation Division and National Institute of Building Sciences Washington, D.C.
- Flessa, S. (2007) "Investing in health Overcoming the poverty trap by effective and efficient health care". *Journal of Public Health* 15(6), 415-421.
- Foo S., Davenport A. (2003) "Seismic Hazard Mitigation for Buildings". *Natural Hazards*, 28 (2-3), 517-536
- Generalitat de Catalunya. Departament de Salut (2008) "Els Serveis per a la Salut: mirant cap al futur: mapa sanitari, sociosanitari i de salut pública". [En línea]. Disponible en: http://www20.gencat.cat/docs/salut/Home/Ambits%20tematics/Linies%20dactuacio/Planificacio/Planificacio_serveis_i_mapa%20sanitari/Mapa_sanitari_sociosanitari_i_salut_publica/Que_es/Documentos/ms001.pdf. [Última consulta 25/09/2012]
- Idescat (2010) Base de dades municipals [En línea]. Disponible en: <http://www.idescat.cat/territ/BasicTerr?TC=9> [Última consulta 12/05/2011].
- ISDR (2005) "Hyogo Framework for Action 2005-2015. Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters". World Conference on Disaster Reduction 18-22 January 2005, Kobe, Hyogo, Japan.
- Milutinovic Z.V, Trendafiloski G.S (2003), "WP4: Vulnerability of current buildings". RISK-UE project Handbook. Sep. 2003. RISK-UE project report.111 pp.

- Monti, G., Nuti, C. (1996) “A procedure for assessing the functional reliability of Hospital Systems”. *Structural Safety*, 18(4), 277-292.
- OPS (1983) “Organización de los Servicios de Salud para Situaciones de Desastre Clasificación de los centros asistenciales para casos de desastre” [En línea] Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/068/index.htm> [Última consulta 25/09/2012].
- OPS (1995) “Guías de Evaluación de los Preparativos para Desastres en el Sector de la Salud”. [En línea] Disponible en: <http://helid.desastres.net/fr/d/J061/> [Última consulta 25/09/2012].
- OPS (1996) “Establecimiento de un Sistema de Atención de Víctimas en Masa”. [En línea] Disponible en: http://www.disaster-info.net/safehospitals_refdocs/documents/spanish/estableDeUnSistema.pdf [Última consulta 25/09/2012].
- OPS (1999) “Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud”. Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud, OPS, ©1999, 2004 153 p.—(Serie Mitigación de Desastres). [En línea] Disponible en: <http://www.paho.org/Spanish/PED/fundaspa.htm> [Última consulta 25/09/2012].
- OPS (2001) “Logística y gestión de suministros humanitarios en el sector salud”. Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en casos de Desastre Departamento de Emergencias y Acción Humanitaria. Desarrollo Sostenible y Entornos Saludables. [En línea] Disponible en: <http://helid.desastres.net/en/d/Js2912s/> [Última consulta 25/09/2012].
- OPS (2003) “Organización de los Servicios de Salud para Situaciones de Desastre”. Preparativos de Salud para Situaciones de Desastres - Serie Manuales y Guías sobre Desastres, N° 3 - Guía para el Nivel Local [En línea] Disponible en: <http://helid.desastres.net/en/d/Js3072s/11.html> [Última consulta 25/09/2012].
- OPS (2007) “¿Su hospital es seguro? Preguntas y respuestas para el personal de salud” Serie manuales y guías sobre desastres N° 11. [En línea]. Disponible en: <http://www.planeamientohospitalario.info/contenido/referencia/HospitalSeguro.pdf> [Última consulta 25/09/2012].
- Paul, J.A & Lin, L. (2009) “Impact of facility damages on hospital capacities for decision support in disaster response planning for an earthquake”. *Prehospital Disaster Medicine*, 24(4), 333–341.
- Rossetto, T., Elnashai, A. (2003) “Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data”. *Engineering Structures*, 25, 1241–1263.
- Royuela, V., & Suriñach, J. (2005) “Constituents of Quality of Life and Urban Size”. *Social Indicators Research*, 74(3), 549-572.
- Safina, S. (2003) “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 271 pp. [En línea] Disponible en: < <http://www.tdx.cat/TDX-0225103-164824>>. [Última consulta 25/09/2012].
- Shinozuka, M., Grigoriu, M., Ingraffea, R.A, Billington, S.A., Feenstra, P., Tsu T. Soong. T.T., Reinhorn, A.M., Maragakis, E. (2008) “Development of Fragility Information for Structures and Nonstructural Components” [En línea]. Disponible en: <http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/00-sp01/chapter2.pdf> [Última consulta 25/09/2012].

Yavari S., Chang, S. (2010) “Modeling Post-Earthquake Functionality of Regional Health Care Facilities”. *Earthquake Spectra* 26(3), 869- 892.

WHO (2008 a) “2008-2009 World Disaster Reduction Campaign. Hospitals Safe from Disasters. Reduce Risk, Protect Health Facilities, Save Lives” [En línea] .Disponible en:

http://safehospitals.info/index.php?option=com_content&task=view&id=30&Itemid=1

[Última consulta 25/09/2012].

WHO (2008 b) “Hospital Safety Index. Guide for Evaluators”. Washington, D.C.: PAHO, © 2008 107 p.-
- (Series Hospitals Safe from Disasters, 1) ISBN 978 92 75 13256 2.