

EVALUACIÓN INTEGRADA DE LA SEGURIDAD DE HOSPITALES: IMPLICACIONES EN LA RESILIENCIA DE LAS COMUNIDADES

**Jairo Andrés Valcárcel⁽¹⁾, Lluís Gonzaga Pujades⁽¹⁾, Alex H. Barbat⁽¹⁾,
Miguel Mora⁽¹⁾ y Omar Darío Cardona⁽²⁾**

⁽¹⁾Universidad Politécnica de Cataluña.
Campus Norte UPC, C/ Jordi Girona 1-3, Edificio C1,
08034 Barcelona, España.
jairo.andres.valcarcel@upc.edu

⁽²⁾Universidad Nacional de Colombia,
Campus Palogrande. IDEA, Cra. 27 No. 64-60,
Manizales, Colombia.
odcardona@unal.edu.co

RESUMEN

El objetivo de “hospitales a salvo de desastres” promovido por la Organización Mundial de la Salud sugiere la evaluación de la vulnerabilidad física de las instalaciones, así como la fragilidad socioeconómica de las comunidades que se benefician de sus servicios. De acuerdo a este objetivo, este trabajo presenta un Índice de Riesgo de Hospitales que considera: a) la vulnerabilidad estructural, la cual es evaluada a través de curvas de capacidad y fragilidad, b) la vulnerabilidad no estructural, relacionada con la fragilidad de los contenidos, el equipo médico, los elementos arquitectónicos y las líneas vitales, c) la capacidad de respuesta, en la cual 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, d) indicadores de oferta que reflejan el tamaño y nivel de atención del hospital y e) la fragilidad y resiliencia de la comunidad. Con este marco conceptual se desarrolla un caso de estudio aplicando estos indicadores a los hospitales de la red pública de Cataluña, España, configurando así una herramienta para la toma de decisiones y de asignación de prioridades para la gestión del riesgo en sistemas de salud.

Palabras claves.- Vulnerabilidad de hospitales, seguridad hospitalaria

ABSTRACT

The objective of “safe hospitals from disasters” promoted by the World Health Organization suggests the evaluation of the physical vulnerability of facilities as well as the socioeconomic fragility of communities. According to this goal, this work presents a Hospital Risk Index by considering: a) structural vulnerability, which is considered by means of capacity and fragility curves, b) non-structural vulnerability, related to the fragility of contents, medical equipment, architectural elements, and lifelines, c) response capacity, that evaluates the quality of emergency and contingency plans, workforces, logistics planning in emergency situations and simulation drills, d) supply indicators refers to the size and attention level of the hospital and e) fragility and resilience of the community. These indicators are applied to the public hospitals of Catalonia, Spain, resulting in a decision-making tool for setting priorities for risk management of health systems.

Keywords.- Hospital vulnerability, hospital safety

1. INTRODUCCIÓN

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. Como resultado, 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. Para este propósito, el índice se fundamenta en una escala de evaluación cualitativa, compuesta por las calificaciones baja, media y alta para cada ítem incluido en el análisis (145 en total). Para la aplicación del 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). Actualmente, el uso de este indicador es altamente impulsado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y países como México, Bolivia, Ecuador, Barbados, Dominica, Nevis, St. Kitts, Grenada, Montserrat, San Vicente & las Granadinas, y Anguilla lo han aplicado (WHO 2008a).

Dada la relación entre salud, desarrollo y bienestar, en los compendios de buenas prácticas en la mitigación de riesgos en instalaciones de salud, se señala la importancia del análisis del entorno socioeconómico de los pacientes y de la accesibilidad a los servicios médicos para la adecuada gestión del riesgo de este tipo de instalaciones (WHO 2008a).

Considerando los marcos conceptuales y los aspectos metodológicos desarrollados para evaluar la seguridad, vulnerabilidad y resiliencia de sistemas hospitalarios, el objetivo de este trabajo es adaptar un Índice de Riesgo de Hospitales, (IRH) con el fin de evaluar el riesgo sísmico de las instalaciones de salud conectando la vulnerabilidad de los elementos estructurales y no estructurales con la capacidad de respuesta del hospital y la fragilidad socioeconómica de la sociedad. En la sección 2 se presenta un resumen de las dimensiones de vulnerabilidad consideradas en el IRH y sugerencias para el mejoramiento metodológico del índice de seguridad propuesto por la OMS. En la sección 3 se comentan las relaciones entre salud, desarrollo y bienestar con el fin de justificar la estructura del indicador, la cual se presenta en la sección 4. Comentarios del alcance y potenciales aplicaciones del IRH se presentan en la sección 5. Finalmente, en la sección 6 se presentan los resultados de la aplicación del IRH en los hospitales públicos de Cataluña.

2. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE HOSPITALES

2.1. Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad estructural se refiere al nivel de daño que un sistema puede sufrir dada la ocurrencia de un evento peligroso. La evaluación de la vulnerabilidad a través de indicadores, tal como el Método Italiano (Benedetti & Petrini 1984) es una alternativa para calificar en forma relativa la propensión al daño de un edificio de acuerdo con sus propiedades estructurales asociadas a su regularidad en planta, redundancia, calidad de los materiales, entre otros aspectos. Un enfoque similar es usado en el ISH para evaluar, en forma cualitativa, la seguridad estructural de los hospitales (WHO 2008).

Respecto a la metodología sugerida por la OMS, se señala que la calificación propuesta no realiza distinciones entre diferentes sistemas estructurales, por lo tanto, edificios de diferentes características estructurales pueden ser evaluados con criterios inapropiados o insuficientes.

De acuerdo con el objetivo del índice, el cual 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 2002). Así, el sistema de puntuación usado en el ISH para la evaluación de la seguridad desde la perspectiva estructural no es suficiente. Hace falta definir 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 de primer nivel (Level 1) descritos en el proyecto Risk UE. (Milutinovich & Trendafiloski 2003).

Para propósitos de rápida caracterización y priorización de edificios expuestos a eventos peligrosos, se han desarrollado escenarios sísmicos con el fin de evaluar la capacidad y respuesta de las instalaciones de salud (Zonno *et al.* 2003, Pujades *et al.* 2007). En estos trabajos, el daño de los edificios es estimado con la ayuda de matrices de probabilidad de daño y curvas de fragilidad basadas en la escala macrosísmica. Similarmente, en Bruneau *et al.* (2007) se encuentra una metodología y un marco conceptual para evaluar la resiliencia de un sistema midiendo la funcionalidad como una relación entre la pérdida del servicio y su habilidad para recuperarse. La función de pérdidas es evaluada usando funciones de fragilidad asociadas a niveles de desempeño específicos.

De acuerdo con el reporte ATC 40 (ATC 1996), el comportamiento sísmico de un edificio es evaluado mediante la comparación entre su espectro de capacidad con el espectro de demanda. A través de un análisis push over, la curva de capacidad de un edificio puede definirse y representa un diagrama de fuerza-desplazamiento de la estructura. El espectro de capacidad es obtenido convirtiendo cada punto de la curva de capacidad en coordenadas espectrales del primer modo de la estructura. Por otro lado, el espectro de demanda se obtiene de manera simplificada del espectro de respuesta elástica amortiguado al 5% y reducido para tomar en cuenta el comportamiento inelástico de la estructura. La intersección entre el espectro de capacidad y el de demanda es conocida como el punto de comportamiento (o punto de capacidad por demanda) del edificio y representa el desplazamiento espectral máximo debido a una demanda sísmica específica.

Para la evaluación del comportamiento del edificio ante un escenario sísmico, las curvas de fragilidad definen la probabilidad de que el daño esperado exceda un determinado nivel de daño, dado el desplazamiento espectral de la estructura en el punto de comportamiento. Las curvas de fragilidad se definen para los estados de daño 1-leve, 2-moderado, 3-extensivo y 4-completo; cada estado de daño está descrito en términos del desplazamiento espectral de los puntos de cedencia y de capacidad última del espectro de capacidad del edificio, representado en un formato bilineal.

Si se supone que las curvas de fragilidad siguen una distribución de probabilidad lognormal, éstas pueden definirse completamente a través del desplazamiento espectral asociado a cada estado de daño (el cual representa el valor medio de la distribución) y su correspondiente desviación estándar. Una vez definidas las curvas de fragilidad y conocido el desplazamiento espectral en el punto de comportamiento para un escenario específico, es posible estimar las probabilidades de excedencia de cada estado de daño.

A partir de la relación de las curvas de fragilidad es posible obtener las matrices de probabilidad de daño, las cuales expresan, para cada estado de daño y para cada escenario, la probabilidad de daño. Por último, el grado de daño medio esperado en el edificio ante un escenario sísmico específico, puede estimarse como la suma de los estados de daño, ponderados por su correspondiente probabilidad (Barbat *et al.* 2007). El grado de daño medio puede normalizarse, en forma simplificada en el intervalo (0,1), dividiéndolo por el número total de estados de daño (4 en este caso).

Para propósitos de evaluación de la vulnerabilidad a una escala regional, como en el caso del estudio de una red de hospitales, es aceptado simplificar el problema y clasificar los elementos expuestos en tipologías estructurales dependiendo de las características de los edificios como el número de plantas, el nivel de diseño sismo resistente y los materiales de construcción. Estas tipologías usualmente están caracterizadas por curvas de capacidad bilineales, definidas por los puntos de cedencia y resistencia última (Barbat *et al.* 2007).

Así, al comparar el espectro de capacidad de cada tipología con los espectros elásticos de respuesta correspondientes a la ubicación del edificio, es posible encontrar una aproximación gruesa del daño esperado y así obtener una referencia de su nivel de seguridad ante la ocurrencia de eventos sísmicos de determinada intensidad. Si hay información disponible para aplicar el método simplificado de espectros de capacidad por demanda y el conjunto de hospitales incluidos en el análisis son estructuras similares a los edificios para los cuales se han desarrollado espectros de capacidad, este procedimiento puede reemplazar el sistema de puntuación cualitativa propuesto por la OMS en el ISH.

Considerando la importancia de las instalaciones de salud, la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo de estas instalaciones debe desarrollarse en múltiples etapas con procedimientos cada vez más detallados, similares al esquema de priorización aplicado por Crowley *et al.* (2008) para la planificación de la intervención sísmica en escuelas.

2.2. Vulnerabilidad no estructural

La vulnerabilidad no estructural está asociada a la propensión al daño de los contenidos, equipos metidos, 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 operación del edificio o herir 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 para garantizar el funcionamiento de los elementos 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 ISH propuesto por la OMS presenta una lista extensa de ítems y aplica 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).

La escala cualitativa usada en el ISH 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 estructural a la amenaza o al daño del edificio.

Al respecto, Monti y Nuti (1996) desarrollan un procedimiento basado en confiabilidad para evaluar la capacidad de un hospital para mantenerse en funcionamiento luego 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 para cada uno de estos. Este enfoque requiere de información detallada y procedimientos refinados que sobrepasan el alcance del indicador acá considerado. Como una alternativa, el uso de curvas de fragilidad para los elementos no estructurales es sugerido. En HAZUS-MH (FEMA 2003) hay 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. Paul y Lin (2009) evalúan el daño esperado del edificio y de los componentes no estructurales usando curvas de fragilidad y extienden el análisis con el fin de estimar la capacidad del hospital. En Aref *et al.* (2004) es presentado el trabajo desarrollado por el Centro Multidisciplinario de Investigación en Ingeniería Sísmica de la Universidad de Buffalo (MCEER por su sigla en inglés), quienes estudian la relación entre el comportamiento de los componentes no estructurales y la respuesta estructural a eventos sísmicos con el fin de seleccionar tecnologías de reforzamiento que reduzcan los daños esperados.

Si no hay información sobre funciones de fragilidad para los elementos no estructurales, el uso de indicadores cualitativos debe ser considerado en relación al daño de la estructura como un

factor de modificación de la funcionalidad del edificio. Con fines de evaluar el nivel de operatividad de instalaciones de salud luego de un evento desastroso, Yavary y Chang (2010) proponen un sistema de evaluación post terremoto de la funcionalidad de hospitales 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 se establecen relaciones entre el daño estructural con el de los elementos no estructurales y el de las líneas vitales. Así mismo, estos autores definen, en forma cualitativa, diferentes niveles de comportamiento para realizar la evaluación de las instalaciones de salud en escenarios sísmicos.

Tomando como referencia los niveles propuestas por Yavary y Chang (2010), así como las calificaciones sugeridas por la OMS en el Índice de Seguridad Hospitalaria y las directrices dadas en los documentos ATC 51-1 y ATC 51-2 para la reducción de la vulnerabilidad de elementos no estructurales, en el presente trabajo se sugiere una escala cualitativa para la evaluación de la vulnerabilidad no estructural. Esta escala se resume 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 el Apéndice A se presentan los niveles de calificación sugeridos para la evaluación de la vulnerabilidad de los elementos no estructurales.

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). Así, la extensión de los ítems considerados debe ser consistente con el alcance del índice y los métodos aplicados en el análisis de vulnerabilidad. Por esta razón, resulta conveniente realizar una evaluación más resumida, evitando calificaciones individuales sobre cada componente.

2.3. Capacidad de respuesta

De acuerdo con el marco conceptual desarrollado por Cimelaro *et al.* (2007) para el análisis de la resiliencia de sistemas e instalaciones de salud, la capacidad de respuesta está asociada en mayor medida a la rapidez y disponibilidad de recursos de un sistema en situaciones de emergencia. En el mismo sentido, el ISH verifica, al nivel del hospital, la capacidad funcional en términos de la organización del comité para desastres y del Centro de Operaciones de Emergencias, la aplicación de planes de emergencias y contingencias internas y externas, el 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 índice propuesto por la OMS 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 sugiere sintetizar por actividades y definir metas y objetivos de referencia que pueden ser útiles para planear las estrategias en manejo de emergencias. Cardona *et al.* (2004) 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 es organizada en niveles progresivos que expresan el grado de desarrollo adquirido. Considerando la escala como metas de desarrollo, el indicador permite definir un plan de mejoramiento en múltiples etapas.

Así, en este trabajo se sugiere adaptar la estructura del IGR para evaluar en una forma resumida, coherente y bajo una escala progresiva, la habilidad del hospital para manejar emergencias. Las actividades consideradas son la organización para la respuesta a emergencias, la capacitación del personal en actividades de emergencia, el sistema logístico y el desarrollo de ejercicios de simulación y simulacro. Las descripciones de cada uno de los objetivos incluidos las actividades corresponden a una síntesis de diversos manuales desarrollados por la OMS (ver OPS

1983, 1995, 1996, 2000, 2001, 2003 y 2007). En la Tabla 1 se presentan los criterios empleados en la escala semántica y en el Apéndice B se presentan las descripciones de los niveles de evaluación para cada actividad.

Tabla 1. Criterios semánticos sugeridos para la evaluación de la respuesta a emergencias.

Rango	Agentes involucrados	Grado de desarrollo	Cantidades	Periodicidad
Bajo	Hospital	Inexistente	Ninguno	Nunca
Incipiente	Red de hospitales	En diseño	Pocos	Rara vez
Medio	Administradores de líneas vitales	En ejecución	Algunos	Algunas veces
Notable	Administración de gobierno	En prueba	La mayoría	Muchas veces
Alto	Comunidad	Actualmente en práctica	Todos	Siempre

2.4. Evaluación de las pérdidas físicas y de la capacidad funcional

De acuerdo con la estructura del ISH sugerido por la OMS, en la Ecuación 1 se presenta el índice compuesto por las dimensiones de vulnerabilidad estructural, no estructural y de capacidad de respuesta:

$$R(MDG, NS, RC) = x_{mdg} \times MDG + x_{ns} \times NS + x_{rc} \times RC \quad (1)$$

Donde $R(MDG, NS, RC)$ representa los indicadores de pérdidas físicas y la capacidad de respuesta. MDG en este caso representa el indicador de la vulnerabilidad estructural y se define a través del grado de daño medio normalizado. Este valor puede estimarse a partir del método simplificado de espectros de capacidad para un escenario sísmico específico, tal como se mencionó en la sección 2.1. Por otro lado, NS representa el índice estimado para la vulnerabilidad de los elementos no estructurales y RC el índice de calificación de la capacidad de respuesta. Cada dimensión de la vulnerabilidad es afectada por el peso correspondiente x_i . La OMS sugiere 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).

3. INDICADORES DE OFERTA, RESILIENCIA Y BIENESTAR DE LAS COMUNIDADES

En el Eurocodigo 8 (EN 1998), así como en otros códigos de diseño sismo resistente, los edificios esenciales son considerados como aquellos cuya integridad durante terremotos es de vital importancia para la protección civil (e.g hospitales); también se asigna una importancia especial a aquellos edificios cuyo colapso implique serias consecuencias sociales y económicas (e.g escuelas). Para ser consistentes con esta definición, las evaluaciones de la vulnerabilidad y del riesgo de estas instalaciones deben considerar los costos sociales, económicos y funcionales asociados a las pérdidas probables. No obstante, el riesgo de los edificios esenciales está en mayor parte entendido como un aspecto de administración de emergencias y de respuesta inmediata, en el cual, no hay reflexiones sobre los costos de oportunidad asociados a su pérdida ni se consideran sus contribuciones al bienestar de los ciudadanos.

Hay una fuerte correlación entre salud y desarrollo. De acuerdo a los modelos de crecimiento económico que incorporan la salud de la población (Flessa 2007), el crecimiento económico es una función del crecimiento de la salud de la población. Estos modelos están soportados en datos estadísticos del producto nacional, mortalidad y morbilidad en países desarrollados y en vía de desarrollo. En estos estudios se ha encontrado que entre más alto es el producto nacional, más alta es la esperanza de vida y más baja la mortalidad y morbilidad.

De la misma forma, la calidad de vida está relacionada con determinantes del bienestar en términos de la disponibilidad de comida, vestido, agua potable, instalaciones de educación y salud e ingreso (Dasgupta y Weale 1992). Considerando estos marcos metodológicos, 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, las camas hospitalarias, entre otros. Estos indicadores son también usados por Safina (2002) para evaluar la respuesta de cada hospital público durante un evento de heridos masivos, como un terremoto.

Así, dadas las relaciones entre salud, desarrollo, bienestar y la resiliencia de la comunidad, la evaluación del riesgo de las instalaciones de salud (así como la definición de sus niveles de seguridad) deben incluir este tipo de aspectos para cuantificar apropiadamente el valor de estos bienes. En este contexto, el Índice de Riesgo de Hospitales que se propone en este trabajo es una alternativa para conectar la resiliencia de las comunidades y su bienestar con la vulnerabilidad y riesgo sísmico de los hospitales.

Para la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica, Cardona et al (2004) aplican el 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. En situaciones de emergencia, los adultos mayores y los niños representan grupos vulnerables al ser personas en desventaja cuando enfrentan condiciones críticas. En un caso similar, los desempleados y las personas pobres, dado que tienen ingresos limitados, están restringidos para tener medios de protección (Cardona et al. 2004). Estas condiciones son consideradas como factores agravantes a las situaciones de desastre y manifiestan la capacidad de las comunidades para enfrentar eventos críticos y su habilidad para recuperarse. Como complemento, Carreño et al. (2005) 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. Este enfoque es considerado por los autores como un marco conceptual general y útil para evaluar el riesgo de edificios esenciales y es adoptado para la formulación del IRH.

4. ESTRUCTURA DEL ÍNDICE DE RIESGO DE HOSPITALES

La estructura del Índice de Riesgo de Hospitales (IRH) se presenta en la Figura 1. Ésta propuesta toma como referencia el marco conceptual del IRU (Carreño et al 2005) y las metodologías sugeridas en la Sección 2 para la evaluación de la vulnerabilidad de las instalaciones de salud. En la ecuación (2) se presenta la expresión para su aplicación.

$$R_h = R(MDG, NS, RC) \times (1 + F) \quad (2)$$

Donde R_h representa el riesgo total del hospital, combinando los indicadores de pérdidas físicas (estructurales y no estructurales) $R(MDG, NS, RC)$ y la capacidad de respuesta, tal como se indicó en la ecuación (1). F 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.

$$F = x_{Ef} \times EF + x_{VO} \times VO + x_{TO} \times TO + x_{CO} \times CO \quad (3)$$

$$EF = \sum_i x_{EFi} \times EF_i \quad (4)$$

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 (4) en la cual cada x_{EFi} representa el peso asignado a cada subindicador y cada EFi 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. De acuerdo a Safina (2002), TO toma valores de 0.67 para hospitales de atención básica, 0.85 para hospitales de referencia y 1 para hospitales de alta tecnología. Finalmente CO representa la tasa de hospitalización.

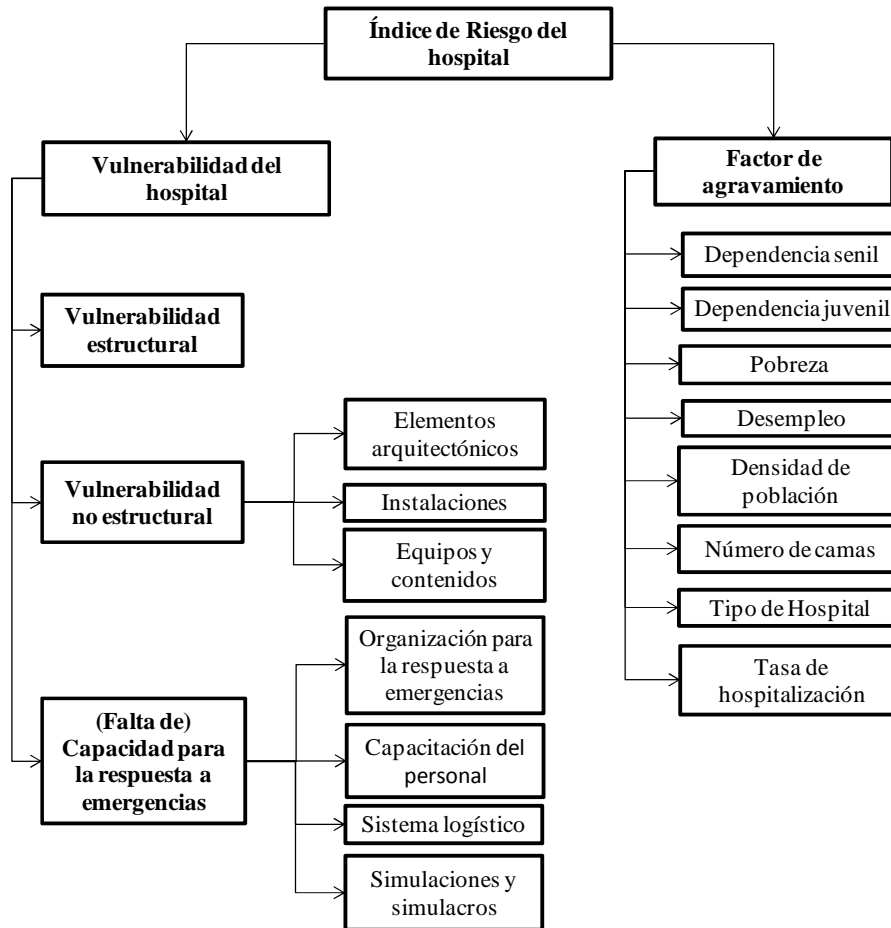


Figura 1. Esquema de la estructura de la vulnerabilidad de hospitales

El máximo valor del IRH es 2 y está asociado por un lado a una alta vulnerabilidad de los hospitales y por el otro a una alta fragilidad socioeconómica de las comunidades. Respecto a la vulnerabilidad estructural, en el caso de emplear el método simplificado de espectros de capacidad para su evaluación, correspondería a los hospitales en los cuales el grado de daño medio esperado es cercano al estado de daño completo. Así mismo, la mayor calificación estaría asociada a las condiciones en las cuales los indicadores de vulnerabilidad estructural y de falta de capacidad 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.

5. COMENTARIOS AL ÍNDICE DE RIESGO DE HOSPITAL

5.1. Alcance del indicador

Dada la información y métodos empleados para la evaluación de la vulnerabilidad estructural y no estructural, el IRH 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 clasificarse 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. Estos resultados 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 en 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).

Además, la escala regional usada para la evaluación del factor de agravamiento debe ser consistente con la escala usada para la planificación de los recursos de salud con el fin de mejorar el análisis de los resultados.

5.2. Modificaciones y aplicaciones del IRH

La estructura del indicador presentada en la Figura 1 y en la Ecuación 2 es un marco genérico 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 este sentido, el IRH puede ser adoptado para evaluar la vulnerabilidad de otras instalaciones de especial importancia como las estaciones de bomberos, escuelas, 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.

5.3. Uso para decisiones sobre la mitigación de riesgos

El IRH es útil para propósitos de priorización basados en estimaciones gruesas de las pérdidas esperadas y de la fragilidad socioeconómica de la sociedad. Usando el IRH es posible evaluar, en términos generales, la reducción de las pérdidas esperadas cuando se consideran alternativas de reforzamiento.

Sin embargo, la selección de las intervenciones específicas que garantizan un determinado nivel de comportamiento y seguridad están por fuera del alcance de este índice. No obstante, es necesario señalar 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, equipo y reposición del inventario. Atención adicional debe prestarse a 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). Un ejemplo de un análisis de beneficio costo probabilista de las estrategias de mitigación de riesgos en instalaciones de salud, considerando sólo los efectos directos se presentan en Mora *et al.* (2009).

5.4. Evaluación de la capacidad de respuesta

En este trabajo se sugiere el uso de indicadores cualitativos de capacidad de respuesta y otros socioeconómicos como información complementaria para el análisis de la resiliencia de los hospitales y de las comunidades. En Cimellaro *et al.* (2006) se establecen funciones de recuperación lineales, exponenciales o logarítmicas dependiendo de la respuesta del sistema y de la sociedad. Por esta razón, la calificación de la rapidez 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.

6. CASO DE ESTUDIO

El IRH ha sido aplicado a los hospitales de la red pública de Cataluña. De acuerdo con el anuario estadístico de Cataluña (Idescat 2010), la superficie total de la región es cercana a 32.092 km², la población total se estima en 7.475.420 habitantes en el 2009. El 15.2% de la población es menor de 15 años y el 16.2% de la población es mayor de 65 años. El número total de camas por cada mil habitantes es cercano a 4.7.

La red de hospitales está organizada en regiones de salud, gobiernos territoriales de salud y unidades básicas de salud, administradas por el Servicio Catalán de la Salud (Generalitat de Catalunya. Departament de Salut 2008). Los hospitales se clasifican en tres categorías como general, de referencia y de alta tecnología. Este análisis incluye 65 hospitales de la red pública. La Tabla 2 muestra el total de camas y hospitales en cada categoría.

Tabla 2. Numero de hospitales y camas según categoría de los hospitales.

Categoría	Número de camas	Número de hospitales
General	4,491	33
Referencia	7,833	24
Alta tecnología	5,143	8
Total	17,467	65

Los edificios fueron clasificados dentro de la matriz de tipologías estructurales del proyecto RISK-UE de acuerdo con la información disponible en Safina (2002) sobre el material

de construcción, la altura y la edad. Los más comunes son muros de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y mampostería (M3.3), muros de mampostería no reforzada con forjados de hormigón armado (M3.4), edificios de pilares y forjados de hormigón armado con muros de relleno irregulares de mampostería no reforzada (RC3.2) y edificios de pilares y forjados de hormigón armado con muros de relleno regulares de mampostería (RC3.1). Adicionalmente, cada tipología es clasificada en tres rangos de altura: bajos (L), medianos (M) y altos (H). La Tabla 3 resume el porcentaje de hospitales y camas hospitalarias según periodos de construcción. La Tabla 4 muestra el número y porcentaje de hospitales según tipologías estructurales.

Con la información disponible en Safina (2002) sobre las propiedades estructurales de los hospitales públicos de Cataluña, se estima el grado de daño medio para cada uno usando el método simplificado de espectros de capacidad descrito en la sección 2.1. El punto de comportamiento es calculado comparando el espectro de capacidad de la tipología asignada con el espectro de respuesta elástica para un escenario de periodo de retorno de 500 años.

Éste es obtenido escalando el espectro normalizado definido en la NCSE-02 (2002) por la aceleración básica estimada en la zona en la que se encuentra el hospital de acuerdo con el mapa de peligrosidad sísmica propuesto por el Instituto Geológico de Cataluña (IGC¹) considerando los efectos locales (Goula *et al.* 1998).

En la Figura 2 se presenta el mapa de peligrosidad en términos de la aceleración horizontal para el escenario sísmico considerado. Los valores de aceleración se presentan para cada municipio. En este mapa se incluye la organización territorial de Cataluña en Comarcas. Para la conversión entre la intensidad macrosísmica y la aceleración se ha empleado la ecuación empírica sugerida en la NCSE-94 (1995). En la Figura 3 se presenta un ejemplo de los espectros de respuesta elástica, para los suelos tipo I, II, III y IV, escalados a una aceleración de 0.04 g.

Tabla 3. Número y porcentaje de hospitales y camas hospitalarias según periodos de construcción.

Período de construcción	Número de hospitales	Porcentaje de hospitales	Número de camas	Porcentaje de camas
≤1950	8	12	835	15
1951 - 1960	18	28	2,216	25
1961 - 1970	6	9	3,937	15
1971 - 1980	17	26	2,452	29
1981 - 1990	9	14	4,986	8
1991 - 2000	7	11	1,400	8
Total	65	100	17,467	100

Tabla 4. Porcentaje de hospitales según tipología estructural

Tipología estructural	Número de hospitales	Porcentaje de hospitales
RC3.2L	2	3
RC3.2M	22	34
RC3.2H	16	25
M3.3M	4	6
M3.3H	11	17
M3.4M	1	2
M3.4H	2	3
RC3.1M	3	5
RC3.1H	4	6
Total	65	100

¹ Antes Servicio Geológico de Cataluña integrado en el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC).

En la Tabla 5 se presentan los parámetros de los espectros de capacidad bilineales de las tipologías estructurales más frecuentes incluidas en este análisis. Los espectros de capacidad de los edificios de muros de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y mampostería (M3.3) fueron obtenidos por Bonett (2003); los espectros de capacidad de los edificios de pilares y forjados de hormigón armado con muros de relleno irregulares de mampostería (RC3.2) fueron desarrollados por Moreno (2006). Por otro lado, los espectros de los edificios de mampostería no reforzada con forjados de hormigón armado (M3.4) fueron desarrollados por Università degli Studi di Genova (UNIGE); se consideran edificios sin diseño sismo resistente (pre code). Por último, los espectros de capacidad de los edificios de pilares y forjados de hormigón armado con muros de relleno regulares de mampostería (RC3.1) fueron desarrollados por Aristotle University of Thessaloniki (AUTH) para edificios de nivel bajo de diseño sismo resistente (Low code). Estos casos se encuentran en el manual del proyecto RISK UE, en el documento centrado en el análisis de la vulnerabilidad de los edificios actuales (Milutinovic & Trendafiloski 2003).

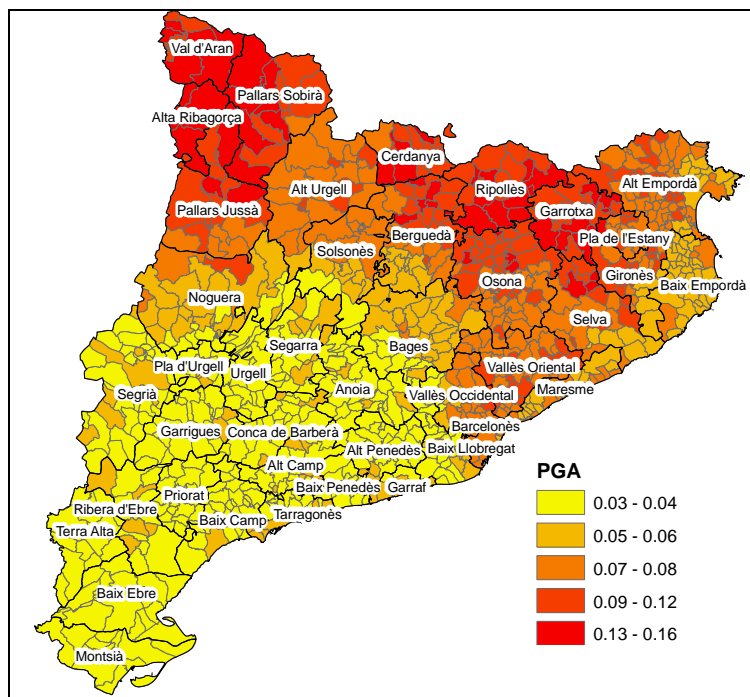


Figura 2. Mapa de peligrosidad sísmica de Cataluña. $T_r = 500$ años (Goula et al 1998)

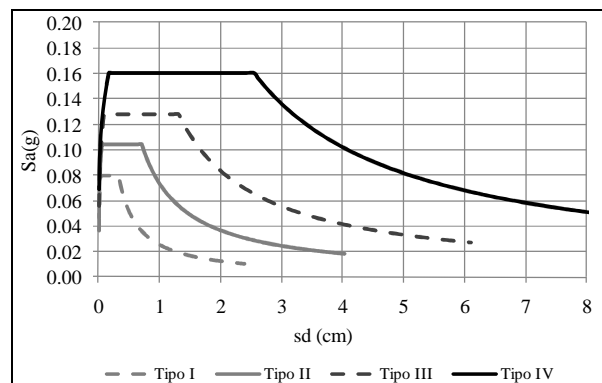


Figura 3. Espectros de respuesta elástica de la la NCSE-02 para diferentes tipos de suelo ($A_b = 0.04g$)

Tabla 5. Parámetros característicos de los espectros de capacidad bilineales de las tipologías estructurales incluidas en el análisis

Tipología	Punto de cedencia		Punto de capacidad última	
	Dy (cm)	Ay(g)	Du(cm)	Au(g)
M3.3L	0.27	0.65	1.36	0.56
M3.3M	0.63	0.13	2.91	0.12
M3.3H	0.68	0.10	2.61	0.08
M3.4L	0.53	0.30	3.18	0.30
M3.4M	0.75	0.15	3.47	0.15
M3.4H	0.92	0.10	3.67	0.10
RC3.2L	0.70	0.13	5.24	0.14
RC3.2M	1.42	0.08	5.11	0.12
RC3.2H	1.89	0.06	4.68	0.08
RC3.1L	0.44	1.54	1.87	2.23
RC3.1M	0.85	0.81	2.63	1.13
RC3.1H	2.14	0.46	5.98	0.63

Una vez obtenido el punto de comportamiento, es posible encontrar la probabilidad de excedencia de cada estado de daño así como la matriz de probabilidad de daño y el grado de daño medio haciendo uso de las curvas de fragilidad desarrolladas por Pujades y Barbat (2007) para las tipologías constructivas más representativas de los edificios de importancia especial en Cataluña.

Finalmente, el grado de daño medio se normaliza en forma simplificada dividiendo por el número total de estados de daño, 4 en este caso. La Tabla 6 muestra el número y porcentaje de hospitales y camas según rangos del grado de daño medio normalizado en el escenario considerado; se estima que cerca del 52% de los hospitales pueden tener daños entre nulos y leves (el grado de daño medio es menor a 1.2), 40% entre leves y moderados (el grado de daño medio varía entre 1.2 y 2) y el 8% restante entre moderados y extensivos (el grado de daño medio es mayor a 2).

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: 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.

Tabla 6. Porcentaje de hospitales y camas según rangos del grado de daño medio

Grado de daño medio	Grado de daño medio normalizado	Número de hospitales	Porcentaje de hospitales	Número de camas	Porcentaje de camas
≤0.4	Nulo-Leve	15	23	3,028	17
0.4-0.8		16	25	5,350	31
0.8-1.2		2	3	230	1
1.2-1.6	Leve-	19	29	5,155	30
1.6-2.0	Moderado	7	11	2,461	14
2.0-2.4	Moderado-Extensivo	6	8	1,243	7
	Total	65	100	17,467	100

La mayoría de los hospitales tienen un plan de emergencia y rutas de evacuación bien definidas; no obstante, no hay consideraciones específicas para el manejo masivo de heridos

en eventos sísmicos. No hay registros del desarrollo de simulaciones y simulacros. Todos los centros tienen fuentes alternativas para el abastecimiento de agua potable, energía y gases médicos. En términos de la accesibilidad, la mayoría de los hospitales la califican como apropiada (Safina 2002). 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 (Idescat 2010). Los indicadores de pobreza, desempleo, dependencia juvenil y senil fueron normalizados en forma lineal, considerando en cada caso los valores máximos y mínimos de las comarcas de la región del estudio.

Como ejemplo, en la Figura 4 se presenta el valor normalizado del porcentaje de personas pobres respecto al total de la población de la comarca. En el caso de la densidad de población y del número de camas, la normalización se estableció utilizando funciones exponenciales.

En las Figuras 5 y 6 se presenta la distribución relativa (curva de Lorenz) de estas variables así como sus valores normalizados. De estas Figuras se puede observar la concentración de la población y de los servicios de salud en los principales centros urbanos.

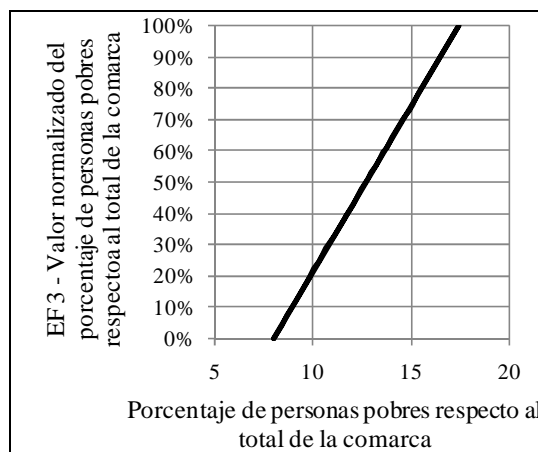


Figura 4. Normalización del porcentaje de personas pobres respecto a la comarca.

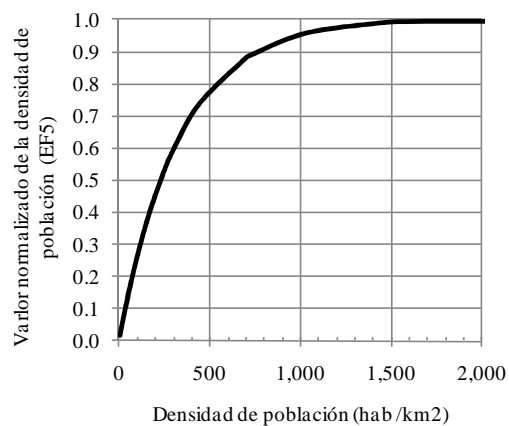
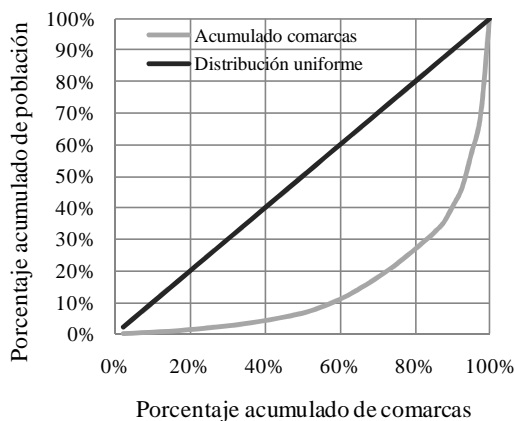


Figura 5. Distribución relativa de la población según comarcas (izquierda). Normalización del índice de densidad de población (derecha)

El IRH ha estimado para cada uno de los hospitales de la red pública de Cataluña, complementando la evaluación de la vulnerabilidad estructural, no estructural y de capacidad de respuesta, con los indicadores de oferta y de fragilidad socioeconómica. La Figura 7 presenta los resultados para cada instalación. Los hospitales se presentan con círculos cuyo radio es proporcional al número de camas. Adicionalmente, la escala de grises representa el factor de agravamiento de cada comarca. Así, estos resultados son útiles para asignar prioridades para asignar futuras intervenciones.

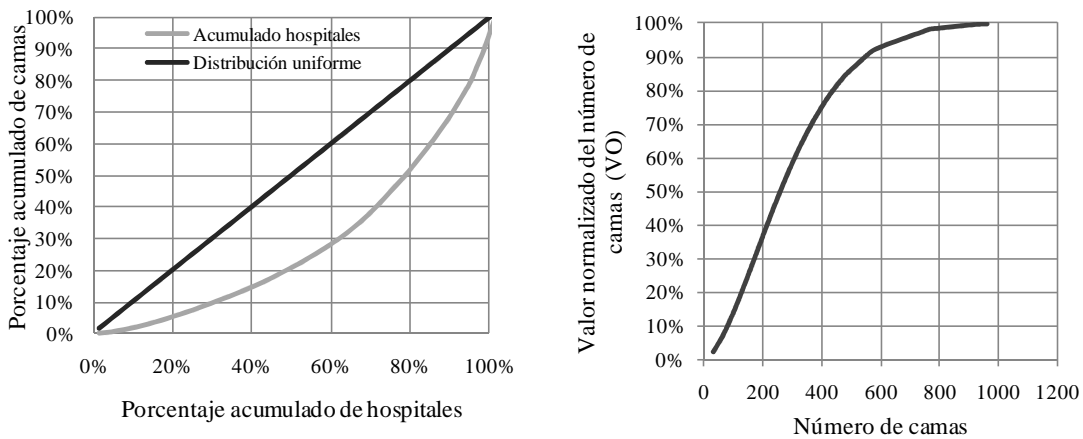


Figura 6. Distribución relativa de las camas hospitalarias según hospitales (izquierda). Normalización del índice de número de camas por hospital (derecha)

Índice de Riesgo de Hospitales

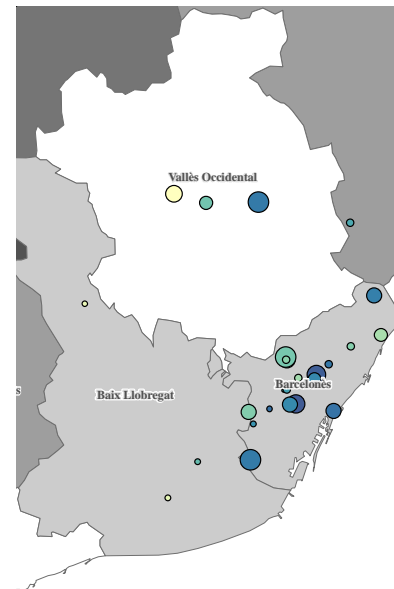
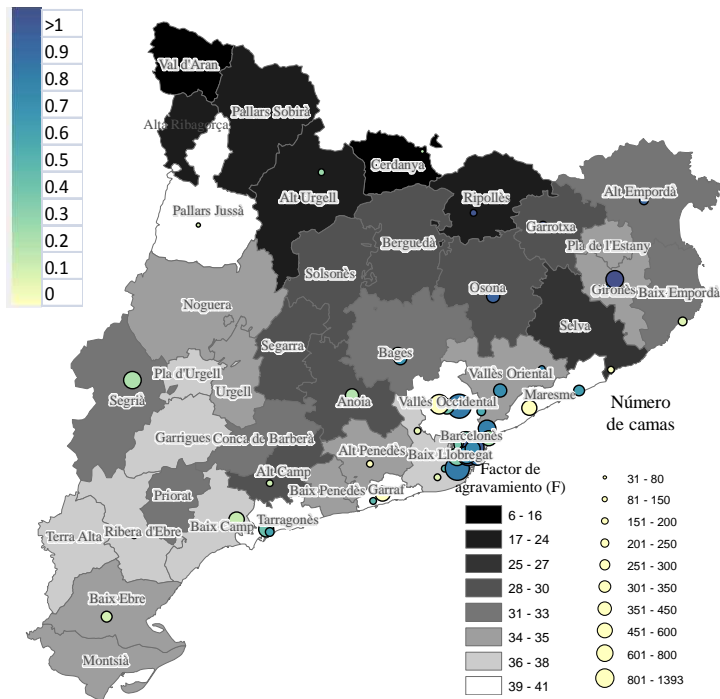


Figura 7 Izquierda. Índice del Riesgo sísmico de los hospitales públicos de Cataluña. Derecha. Vista ampliada de los hospitales de las comarcas de Barcelonés, Vallés Occidental y Baix Llobregat.

De esta manera, se cuenta con un IRH para cada hospital. El valor promedio para el conjunto de instalaciones es 0.39. Para resumir los resultados, en la Tabla 7 se presentan los porcentajes de hospitales según rangos del IRH.

Tabla 7. Porcentaje de hospitales según rangos del Índice de Riesgo de Hospitales (IRH)

Índice de Riesgo de Hospitales (IRH)	Número de hospitales	Porcentaje de hospitales
≤0.2	16	25
0.21-0.4	16	25
0.41-0.6	18	28
0.61-0.8	11	17
>0.8	4	5
Total	65	100
IRH promedio: 0.39		

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan comentarios y sugerencias para el mejoramiento del Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH) propuesto por la Organización Mundial de la Salud, así como un Índice de Riesgo de Hospitales (IRH). Para cumplir el objetivo del ISH, el cual es una revisión de la probabilidad del hospital de permanecer operacional en situaciones de emergencia, es necesario introducir otros métodos para la evaluación de la vulnerabilidad de los elementos estructurales y no estructurales; el uso de curvas de fragilidad es sugerido. Para la capacidad de respuesta se sugiere una escala cualitativa que permite diseñar un plan de mejoramiento de diferentes etapas para la preparación ante emergencias. Para establecer el contexto socioeconómico del hospital, el IRH presenta una alternativa para combinar la vulnerabilidad física del hospital y su capacidad de respuesta con la resiliencia de las comunidades. De la aplicación de este índice es posible tener una idea general del comportamiento de la red de hospitales ante un escenario sísmico. Así, este índice es útil para propósitos de priorización y aplicación de estudios más detallados que permitan diseñar programas de mitigación de riesgos y de preparativos para enfrentar emergencias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente patrocinado por el Instituto Geológico de Cataluña (IGC), por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España, por la Comisión Europea y con becas FEDER a través de los proyectos de investigación, CGL2008-00869/BTE, SEDUREC-CONSOLIDER-CSD2006-00060, INTERREG: POCTEFA 2007-2013/ 73/08 y MOVE- FT7-ENV-2007-1-211590.

REFERENCIAS

Aref, A., Bruneau, M., Constantinou, M., Filiatrault, A., Lee, G.C., Reinhorn, A.M., Whittaker, A.S.: 2004, [En línea] *Seismic Response Modification of Structural and Nonstructural Systems and Components in Acute Care Facilities*. University at Buffalo. MCEER Articles on Hospital Research. Disponible en <http://mceer.buffalo.edu/publications/resacom/04-sp01/08_filiatrault.pdf> [última consulta 31/03/2010].

Astrella, M. & Whittaker, A.S.: 2004, [En línea] *Changing the Paradigm for Performance-Based Seismic Design*. University at Buffalo. MCEER Student Research Accomplishments Articles. Disponible en:< <http://mceer.buffalo.edu/publications/resacom/04-sp06/03astrella.pdf>> [última consulta 31/03/2010].

ATC-40: 1996, *Seismic evaluation and retrofit of Concrete Buildings*. Vol 1. Applied Technology Council. Redwood City. California.

ATC: 2002, *Commentary on the Use of ATC-13 Earthquake damage Evaluation Data for Probable Maximum Loss Studies of California Buildings*. 201 Redwood Shores Parkway, Suite 240 Redwood City, California 94065.

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.

Barbat, A.H.; Lagomarsino, S.; Pujades, L.G.: 2007, *Vulnerability assessment of dwelling buildings. Assessing and Managing Earthquake Risk*. 261 - 286. Springer. Netherlands.

Benedetti, D. & Petrini, V.: 1984, *Sulla vulnerabilità sismica degli edifici in muratura i proposte di un metodo di valutazione*. *L'industria delle Costruzioni* 149: 66-74.

Bonett, R.: 2004, *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

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*, Disponible en: <<http://idea.unalmz.edu.co>> Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Carreño, M.L., Cardona O.D., Barbat A.: 2005, *Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos*. Colección de Monografías Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, Barcelona, España.

Chandler, A.M., Lam, N.T.K.: 2001, *Performance-based design in earthquake engineering: a multi-disciplinary review*. *Engineering Structures* 23(12):1525-1543.

Cimellaro, G.P., Reinhorn, A., Bruneau, M.: 2006, *Quantification of Seismic Resilience*. 8th National Seismic Conference, San Francisco, April 2006.

Crowley, H., Colombi, M., Calvi, G.M., Pinho, R., Meroni, F., Cassera, A.: 2008, *Application of a Prioritization Scheme for Seismic Intervention in Schools Buildings in Italy*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China. Paper ID 09-01-0097.

Dasgupta P., Weale M.: 1992, *On measuring the quality of life*. *World Development* 20(1): 119-131.

EN-1998-1: 2004, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1 General rules, seismic actions and rules for buildings*. English version. 232 pp.

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: <www.fema.gov/plan/prevent/hazus> [Última consulta 08/11/2010].

Flessa, S.: 2007, *Investing in health: Overcoming the poverty trap by effective and efficient health care*. *Journal of Public Health* 15(6): 415-421.

Generalitat de Catalunya. Departament de Salut.: 2008, *Els serveis per a la salut: mirant cap al futur Mapa Sanitari, Sociosanitari i de Salut Pública. Volum 1* [En línea] Disponible en: <<http://www.gencat.cat/salut/depsalut/html/ca/dir488/ms001.pdf>>. [Última consulta 08/11/2010]

Goula, X., Susagna, T., Fleta, J., Secanell, R.:1998, *Informació territorial i anàlisi del risc pel Pla SISMICITAT. Part I: perillositat sísmica*. Instituto Cartográfico de Cataluña. Barcelona.

Grossi, P.; Windeler, D.:2005, *Sources, Nature, and Impact of Uncertainties on Catastrophe Modeling. Catastrophe Modeling. A New Approach To Managing Risk*. Springer. P 68-91.

Idescat 2010. Anuario estadístico de Cataluña [En línea] Disponible en: <<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&lang=en>> [Última consulta 08/11/2010].

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.

Keipi, K., & Tyson, J.: 2002, *Planning and Financial Protection to Survive Disasters*. Catalog in Publication provided by Inter-American Development Bank. Felipe Herrera Library p.cm. Sustainable Development Department Technical studies series ; ENV-139.

Milutinovic, Z.V., & Trendafiloski, G.S.: 2003, *WP4: Vulnerability of current buildings*. Risk-UE project Handbook. 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.

Mora, M.G., Ordaz, M., Yamin, L.E., Cardona, O.D.: 2009, *Relaciones beneficio costo probabilistas del refuerzo sísmico de edificios*. Memorias del IV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Pereira, Colombia mayo 13, 14 y 15 de 2009.

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 05/11/2010].

NCSE-94: 1995, Real Decreto 2543/1994, de 29 de diciembre, por el que se aprueba la Norma de Construcción Sismorresistente. Parte General y de Edificación (NCSE-94). Ministerio de obras públicas, Transportes y Medio Ambiente. Fecha de publicación: 08-02-1995 BOE: 33-1995. Pp. 3935-3980.

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

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 27/10/2010].

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 27/10/2010].

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 27/10/2010].

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].

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 27/10/2010].

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 27/10/2010].

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 27/10/2010].

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.

Pujades, L.G., Barbat, A.H.: 2007, *Estimación de la vulnerabilidad sísmica de las tipologías constructivas más representativas de los edificios de importancia especial en Cataluña*. Segunda versión. Universidad Politécnica de Cataluña.

Pujades, L.G., Roca, X., Oliveira, C.S., Safina, S.: 2007, *Response of hospital system. Assessing and Managing Earthquake Risk*. 261 - 286. Springer. Netherlands.

Royuela, V., & Suriñach, J.: 2005, *Constituents of Quality of Life and Urban Size*. *Social Indicators Research* 74(3): 549-572.

Safina, S.: 2002, *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 05/11/2010]

Shuhaibar, C.: 1999, *Risk Analysis and Probable Maximum Loss*. SEAOC 1999 Convention. San Francisco. California.

WHO 2008, *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.

WHO 2008a, *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 31/03/2010].

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

Zonno, G., García-Fernández, M., Jiménez, M.J., Menoni, S., Meroni, F., Petrini, V.: 2003, *The SERGISAI procedure for seismic risk assessment*. Journal of Seismology 7: 259–277.

APÉNDICE A.

NIVELES DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

A continuación se presenta una escala semántica (bajo, incipiente, apreciable, notable y alto) para evaluar la vulnerabilidad de los equipos y contenidos, elementos arquitectónicos e instalaciones. El evaluador, de acuerdo a la inspección del hospital y a las descripciones correspondientes de cada nivel de calificación, debe establecer cuál es el nivel que mejor representa la situación del hospital.

Tabla A. 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 tienen baja probabilidad de ocasionar lesiones a los ocupantes o de interferir con la respuesta funcional del hospital por su razonable anclaje y ubicación.
Apreciable	Algunos elementos de mobiliario, de oficina y de almacén están anclados apropiadamente; pueden caer o fallar ante la deformación del edificio, causar lesiones a los ocupantes o interferir con el funcionamiento del hospital.
Notable	Muchos elementos de mobiliario, de oficina y de almacén carecen de anclaje o este es insuficiente o inapropiado. Pocos elementos del equipo médico presentan mediana probabilidad de falla.
Alto	La mayoría de los elementos de mobiliario, de oficina y de almacén tienen alta probabilidad de causar lesiones (e incluso muertes) de los ocupantes o de

comprometer seriamente la funcionalidad del hospital. Algunos elementos del equipo médico tienen alta probabilidad de falla y comprometen la funcionalidad del hospital.
--

Tabla A. 2. Niveles de vulnerabilidad de los elementos arquitectónicos.

Nivel	Descripción
Bajo	La mayoría de las particiones, falsos techos y acabados tienen baja probabilidad de falla ante la deformación de la estructura. Uso de materiales livianos en estos elementos. Existencia de aislamientos en toda la ventanería.
Incipiente	Pocas particiones, falsos techos y acabados tienen una moderada probabilidad de ocasionar lesiones a los ocupantes o de interferir con la respuesta funcional del edificio. La mayoría de la ventanería se encuentra adecuadamente aislada.
Apreciable	Algunas particiones y los falsos techos tienen una moderada probabilidad de falla ante la deformación de la estructura. Se considera una moderada probabilidad de causar lesiones a los ocupantes o de interferir con el funcionamiento del edificio. Se evidencian algunas zonas de deficiente conexión entre las ventanas con sus marcos correspondientes
Notable	Muchos acabados, particiones y falsos techos carecen de anclaje o este es insuficiente o inapropiado. Uso de materiales pesados en estos elementos. Pueden fallar y comprometer el funcionamiento del hospital. Se evidencian condiciones deficientes en la conexión de la mayoría de la ventanería con los marcos respectivos.
Alto	La mayoría de los acabados, particiones y falsos techos tienen alta probabilidad de causar lesiones (o incluso muertes) de los ocupantes o de comprometer seriamente la funcionalidad del edificio La mayoría de la ventanería tiene alta probabilidad de ruptura y de afectación a una considerable proporción de los ocupantes.

Tabla A. 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 tienen mediana probabilidad de falla. 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. Gran parte de las redes de transmisión se encuentran en regular estado y tienen una notable probabilidad de falla ante las deformaciones de la estructura. 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 encuentra en regular estado; no tienen anclajes o son insuficientes. Alta probabilidad de falla ante los desplazamientos de la estructura. La dotación de servicios básicos en el perímetro del hospital es deficiente o nula.

APÉNDICE B**NIVELES DE EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA A EMERGENCIAS.**

A continuación se presenta una escala semántica (bajo, incipiente, apreciable, notable y alto) para evaluar la (falta de) capacidad 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 A. 4. Niveles de falta de capacidad en la organización para la respuesta a emergencias

Nivel	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.

Nivel	Descripción
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 y contrarreferencia 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 A. 5. Niveles de falta de capacidad en actividades de capacitación del personal

Nivel	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 A. 6. Niveles de falta de capacidad en el sistema logístico para la atención de emergencias

Nivel	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 A. 7. Niveles de falta de capacidad en las actividades de simulación y simulacros.

Nivel	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