

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/258368527>

59 VALCARCEL

Dataset · November 2013

READS

39

6 authors, including:



Jairo Valcárcel

GEM

18 PUBLICATIONS 9 CITATIONS

SEE PROFILE



Omar Dario Cardona

National University of Colombia

167 PUBLICATIONS 1,440 CITATIONS

SEE PROFILE



Lluís Pujades Beneit

Polytechnic University of Catalonia

168 PUBLICATIONS 1,244 CITATIONS

SEE PROFILE



Alex H. Barbat

Polytechnic University of Catalonia

327 PUBLICATIONS 2,394 CITATIONS

SEE PROFILE

ANÁLISIS DE BENEFICIO COSTO DE LA MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LAS ESCUELAS DE LA REGIÓN ANDINA Y DE CENTRO AMÉRICA



J.A Valcárcel¹, M.G Mora¹, O.D.Cardona², L.G Pujades¹ A.H. Barbat¹ G.A Bernal¹

¹Universitat Politècnica de Catalunya, jairo.andres.valcarcel@upc.edu

¹Universitat Politècnica de Catalunya, mgmora@cimne.upc.edu

¹Universitat Politècnica de Catalunya, lluis.pujades@upc.edu

¹Universitat Politècnica de Catalunya, alex.barbat@upc.edu

¹Universitat Politècnica de Catalunya, gabernal@cimne.upc.edu

²Universidad Nacional de Manizales, odcardonaa@unal.edu.co

RESUMEN

Los daños observados en escuelas ante terremotos han motivado el desarrollo de proyectos para reducir su vulnerabilidad. Estos proyectos han sido fundamentados por evaluaciones de daños y análisis de beneficio costo para escenarios específicos. En este sentido, éste estudio presenta una evaluación aproximada del riesgo sísmico de las escuelas de los países de la Región Andina y en Centro América siguiendo un enfoque probabilista. El estudio comprende: i) la definición de modelos probabilistas de la peligrosidad sísmica a nivel nacional utilizando ordenadas espectrales como medidas de intensidad; ii) la estimación del área escolar construida, su valor económico y su distribución geográfica, así como su clasificación en tipologías estructurales; iii) la selección de curvas de vulnerabilidad representativas para cada tipología estructural; iv) la estimación de la Tasa de Excedencia de Pérdidas (LEC) y de la Pérdida Promedio Anual (AAL) del área educativa en el estado actual y en el caso de un reforzamiento hipotético. Al comparar estos resultados con los costos de reforzamiento, es posible encontrar una relación de beneficio costo desde una perspectiva financiera. Así, éste estudio es útil para comparaciones regionales y para la orientación, a nivel nacional, de programas de reducción del riesgo sísmico del sector educativo.

Palabras clave: Edificios esenciales, riesgo sísmico, Análisis de Beneficio-Costo

SUMMARY

The observed damages in schools during earthquakes have encouraged the development of projects oriented to reduce its vulnerability. Those projects have been supported by damage assessments and Benefit Cost Analysis for specific scenarios. In this sense, this study presents a rough estimate of the seismic risk of the schools in the Andean Region and Central America following a probabilistic approach. This study encompasses: i) the definition of probabilistic seismic hazard models at the country level, using spectral ordinates as intensity measurements, ii) the estimation of the schools' built area, its economic value and geographical distribution, as well as its classification in structural typologies; iii) the selection of representative vulnerability curves for each structural typology; iv) the estimation of the Loss Exceedance Curve (LEC) and the Annual Average Loss (AAL) of the schools' built area in the current conditions as well as in the case of a hypothetical structural rehabilitation. The comparison of those results with the reinforcement costs leads to Benefit Cost ratios from a financial perspective. Thus, this study is useful for regional comparisons and national screening purposes, as a first step in guiding the national seismic risk reduction programs of the educational sector

Keywords: Essential buildings, seismic risk, Cost Benefit Analysis

Introducción

Los daños observados en escuelas durante terremotos han motivado varios programas nacionales e iniciativas globales orientadas a la reducción de su vulnerabilidad. Ferreira et al., (2008) y Ferreira y Proença (2008) presentan los casos de evaluación de daños esperados en escuelas en la Isla de Faial (Portugal) y en Bucarest, respectivamente. En estos casos, la evaluación de daños se basa en la escala de intensidad EMS 98. En Yakut et al., (2008) se presenta el proyecto desarrollado en Estambul para reducir la vulnerabilidad de las escuelas considerando los requisitos de seguridad señalados por el código sismoresistente de Turquía. En Ventura et al., (2006) se presenta el conjunto de guías orientadas a reducir el riesgo de escuelas públicas en British Columbia (Canada), identificando los procedimientos de evaluación y las medidas de mitigación. En Martinelli et al., (2008) se presentan los procedimientos desarrollados para la priorización de la reducción del riesgo sísmico de escuelas a nivel regional en Italia. En este programa se sugieren procedimientos progresivos de evaluación que van desde la clasificación por el PGA correspondiente a la ubicación del edificio, el uso de índices de vulnerabilidad, o métodos similares basados en escalas de intensidad macrosísmica, hasta el uso de métodos basados en el espectro de capacidad de los edificios. Para priorizar las intervenciones, en dicho proyecto se estableció una relación de beneficio costo de la intervención estructural, en la cual, los costos de la reconstrucción fueron estimados en términos del área de los edificios y del daño esperado. El área de los edificios se estimó como una función del número de estudiantes, el número de clases y el nivel de instrucción de acuerdo a los datos disponibles en el departamento de educación. Para refinar la priorización, las escuelas fueron agrupadas en rangos según los daños estimados y el número de estudiantes (Crowley et al., 2008). Por otro lado, en Smyth et al., (2004) se presenta un análisis de beneficio costo de la mitigación del riesgo sísmico de una escuela prototipo haciendo uso de curvas de fragilidad y de un modelo de evaluación de los costos durante la vida útil de la instalación.

Otros proyectos de este tipo han sido desarrollados en la región de análisis. En Colombia, la Secretaría de educación de Bogotá ordenó la evaluación de la vulnerabilidad de las escuelas públicas de la ciudad. En 2004 se identificaron 710 escuelas, de las cuales, 434 se calificaron como de alta vulnerabilidad. Debido a los altos costos que implicaban la mitigación y reubicación de estas instalaciones, las más críticas (201) fueron declaradas prioritarias. En el año 2004, con el soporte del Banco Mundial (BM) se aprobó un crédito para rehabilitar las escuelas de acuerdo a los estándares de seguridad establecidos en la norma sismoresistente colombiana NSR-98, así como para mejorar la infraestructura educativa e introducir la gestión del riesgo en la cultura (Coca 2006).

Así mismo, en Venezuela se adelantó un programa nacional para evaluar y reducir el riesgo de las escuelas del país. El número de escuelas considerado en el análisis es alrededor de 28000. Este programa incluyó la inspección de 250 centros, el análisis detallado de 10 tipologías estándar, la definición de estrategias de reforzamiento y el diseño de una guía para la reducción estructural y no estructural. Para cada instalación y diferentes escenarios, se estimaron índices de riesgo empleando curvas de fragilidad asociadas al PGA correspondiente a su ubicación. Los costos de reparación fueron obtenidos como el producto entre el grado de daño normalizado y el valor del edificio, considerando su nivel de instrucción y nivel de importancia social (López et al., 2008).

En general, los métodos empleados para la priorización de las escuelas según al riesgo sísmico se basan en el análisis de escenarios específicos. Aún si dichos escenarios están relacionados con los requisitos de diseño sismoresistente y de comportamiento deseado para edificios esenciales, la estimación determinista de las pérdidas esperadas es sólo útil para el escenario considerado, ignorando así la incertidumbre que prevalece en la estimación de riesgos. De esta manera, se observan las ventajas de los análisis

probabilistas. La metodología que se plantea en este trabajo es considerada la más robusta para este tipo de modelación y señala los aspectos más importantes del riesgo catastrófico desde la perspectiva de la protección financiera. Además, los resultados del análisis pueden ser particularmente útiles en la orientación de planes nacionales de reducción del riesgo sísmico del sector educativo.

Objetivos

Los objetivos de este estudio son: i) desarrollar un proxy del área escolar construida y de su vulnerabilidad sísmica en países de la Región Andina y de Centro América; ii) estimar a nivel nacional la Curva de Excedencia de Pérdidas (LEC) y la Pérdida Promedio Anual (AAL) del área educativa dada la ocurrencia de eventos sísmicos; iii) estimar la relación costo-beneficio de la mitigación del riesgo en las escuelas. Este análisis se desarrolla para los siguientes países: Argentina (ARG), Bolivia (BOL), Chile (CHL), Colombia (COL), Costa Rica (CRI), Ecuador (ECU), El Salvador (ESV), Guatemala (GTM), Honduras (HND), México (MEX), Nicaragua (NIC), Panamá (PAN), Perú (PER) y Venezuela (VEN).

Metodología para la estimación probabilista del riesgo sísmico

La metodología empleada en la estimación de riesgos está compuesta por cuatro módulos: i) la modelización de la peligrosidad sísmica, ii) la valoración de los elementos expuestos, iii) la modelización de la vulnerabilidad y iv) la estimación de riesgos. En las siguientes secciones se presenta una breve descripción de cada uno. Una descripción detallada de los módulos y de los resultados del estudio se encuentra en ERN-AL (2010).

a) Módulo de peligrosidad sísmica

Este modulo permite calcular los valores de intensidad para diferentes periodos de retorno. Se considera que las intensidades sísmicas relevantes son ordenadas del espectro de respuesta (5% amortiguado). La estimación de la amenaza sísmica comprende: i) la definición y caracterización de las principales fuentes sísmicas, ii) la definición de la sismicidad de las fuentes, iii) la generación de un conjunto de eventos considerando la distribución regional de la profundidad, frecuencia y magnitud de los terremotos, iv) la definición de modelos de atenuación para cada fuente. Este procedimiento ha sido desarrollado usando el software CRISIS 2007 versión 7.2 (Ordaz et al., 2007)¹. De esta manera, se ha utilizado un modelo de peligrosidad para cada país incluido en el análisis. Los resultados de este modulo se resumen en archivo tipo denominado "AME", el cual describe la amenaza sísmica mediante un cierto número de escenarios, a los cuales corresponde una frecuencia anual de ocurrencia y para los cuales se conoce la distribución espacial de su intensidad.

b) Módulo de exposición

Se desarrolló un modelo simplificado para describir la infraestructura (proxy) dada la ausencia de información detallada. Así, el área construida de las escuelas se estimó, para cada municipio, suponiendo un área construida por alumno. El número de alumnos se obtuvo a partir de los censos de población a nivel municipal y en consultas sobre las bases de datos de los ministerios de educación correspondientes. En el modelo, el área construida por alumno varía de acuerdo al número de habitantes de cada municipio y de acuerdo al índice "Educational for All Development Indicator" (EDI), el cual representa una calificación de los logros en educación en cada país (UNESCO 2010).

¹ Disponible en: http://ecapra.org/capra_wiki/en_wiki/index.php?title=Hazard_Evaluation_Modules [Última revisión 11/02/2010]

Los valores del área construida por alumno se obtuvieron de varias fuentes. Por un lado, se adoptaron los valores de la base de datos del programa de evaluación de vulnerabilidad y de mitigación del riesgo sísmico en Bogotá (Secretaría de Educación de Bogotá, 2004), así como del manual de evaluación de los efectos socioeconómicos de los desastres naturales (ECLAC 2003). Estos valores fueron usados como referencia para establecer una escala que relaciona el EDI con el área escolar construida por estudiante, bajo el supuesto que entre mayor sea el EDI, mayor será el área por estudiante (Ver Figura 1, izquierda). Para estimar los costos de la construcción, se obtuvieron precios por metro cuadrado para diferentes países a partir de la información existente en los institutos nacionales de estadística y de catastro. Esta información es incompleta y no siempre está disponible en todos los países. Por esta razón, fue necesario establecer una relación entre el valor expuesto por alumno con el salario mínimo y el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita. Así, los costos por metro cuadrado fueron ajustados de acuerdo a estos valores (ver Figura 1, derecha).

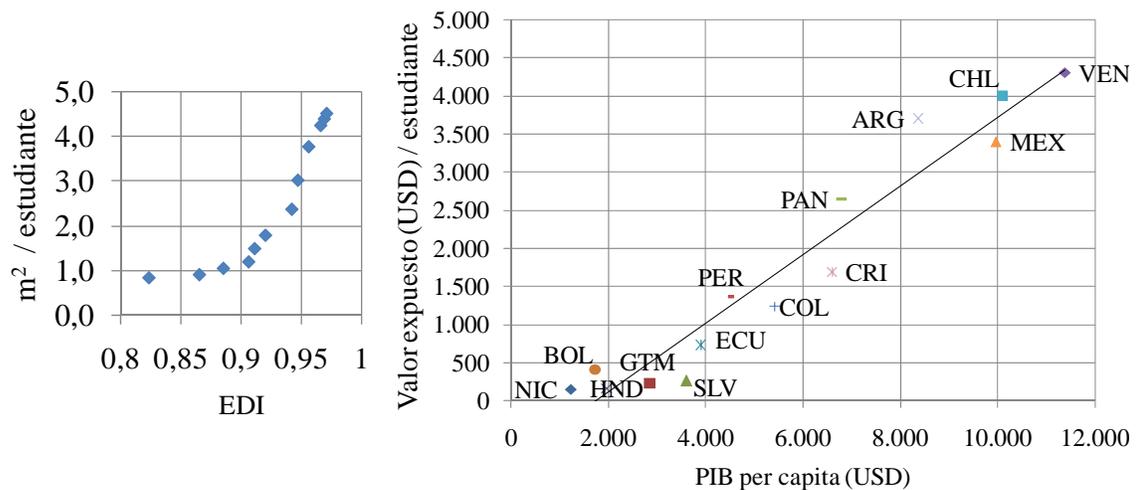


Figura 1. (Izquierda) Relación entre los m² por estudiante y el EDI. (Derecha) Relación entre el PIB per cápita y el valor expuesto por estudiante

Finalmente, para cada país, el área escolar se clasificó en diferentes tipologías estructurales de acuerdo a las técnicas de construcción predominantes en cada región (Ver Figura 2). Estas tipologías a su vez se distribuyeron en los municipios de acuerdo al número de habitantes. Como resultado, en el módulo de exposición se obtiene un archivo en formato "shape" (.shp) que contiene para cada municipio, su identificación, su ubicación, el área construida, el valor expuesto, el número estimado de estudiantes y su clasificación en tipologías estructurales.

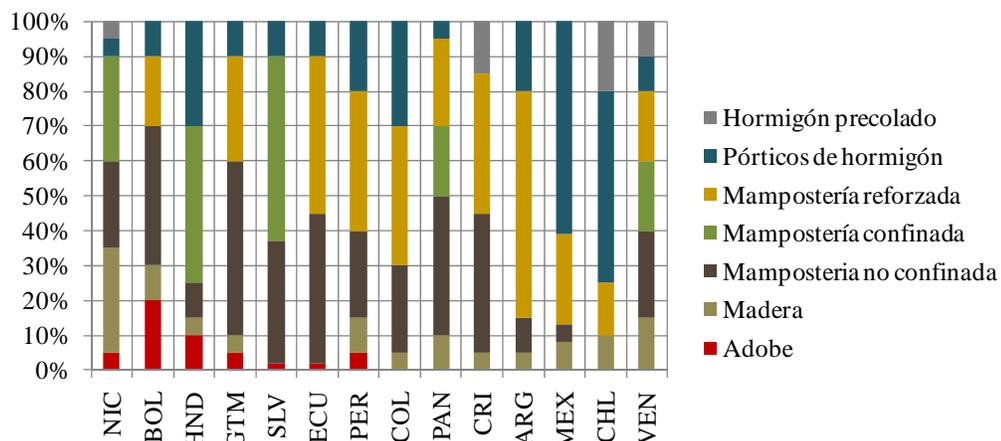


Figura 2 Composición del área construida según tipologías estructurales para cada país

c) Módulo de vulnerabilidad

Para la evaluación de la pérdida de los edificios se dispone de un conjunto de curvas de vulnerabilidad que representan la relación entre una medida de intensidad de la amenaza y el nivel de pérdida esperado. Así, a cada tipología estructural del modelo de exposición se asigna una función de vulnerabilidad. Dichas curvas han sido calculadas en el software ERN-Vulnerabilidad² y se fundamentan en las curvas de capacidad de tipologías desarrolladas en los proyectos Hazus MH (FEMA/NIBS 2003) y Risk UE (Milutinovich y Trendafiloski 2003) Un resumen de las funciones empleadas se presenta en la Figura 5.

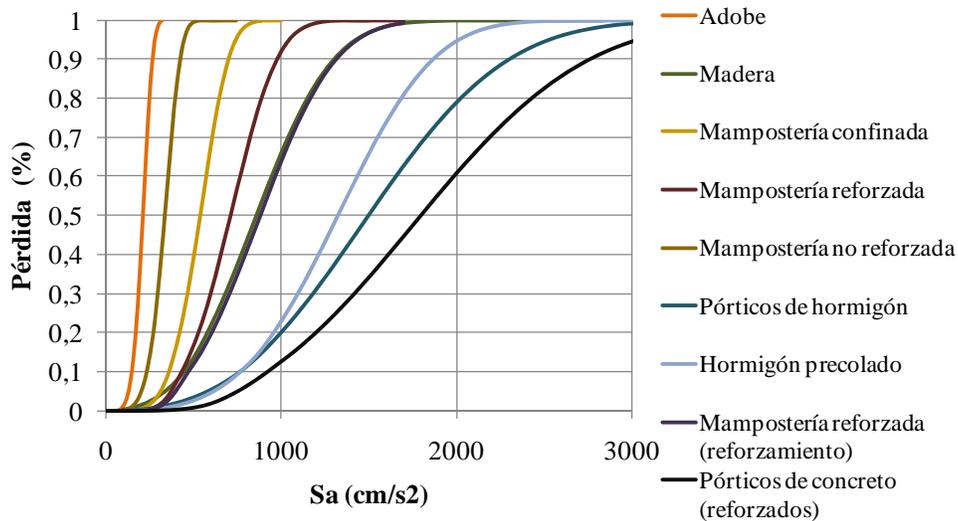


Figura 3. Curvas de vulnerabilidad usadas en el análisis

d) Módulo de riesgo

El análisis probabilista de riesgo se realiza para el conjunto de escenarios generados en el módulo de amenaza, sobre los cuales se conocen las frecuencias anuales de ocurrencia y la distribución espacial de sus intensidades. Así, a partir de la información obtenida en el módulo de exposición y usando las funciones de vulnerabilidad, es posible obtener los valores de la pérdida para cada escenario. Esta información se resume en la Curva de Excedencia de Pérdidas (LEC), la cual especifica las tasas de excedencia, usualmente anuales, de valores específicos de pérdida de acuerdo a la [Ec 1],

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{eventos}} P(P > p | i) F_A(i) \quad [\text{Ec. 1}]$$

En dónde $v(p)$ es la tasa de excedencia para la pérdida p , $F_A(i)$ es la frecuencia (anual) de ocurrencia del evento i , $P(P > p | i)$ es la probabilidad de que la pérdida sea mayor que un valor p , dada la ocurrencia del evento i . La tasa de excedencia de pérdidas se obtiene de la suma de todos los eventos. El inverso de la $v(p)$ es la tasa de retorno de la pérdida. Por otro lado, el área bajo la curva de excedencia es conocida como la Pérdida Promedio Anual (AAL) y representa, en un esquema de seguro sencillo, la prima actuarialmente justa. Estos indicadores son útiles para el diseño de instrumentos de retención / transferencia del riesgo. Por esto, se considera que este estudio pueda ser una contribución valiosa para posteriores análisis enfocados a la definición de estrategias de protección financiera. Para llevar a cabo este estudio, las métricas de riesgo descritas fueron

² Disponible en http://ecapra.org/capra_wiki/en_wiki/index.php?title=ERN-Vulnerabilidad [Última consulta 11/02/2010]

estimadas utilizando el software ERN CAPRA-GIS³, diseñado con el soporte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) el Banco Mundial (BM) y la EIRD.

Para cada país del estudio, el análisis de beneficio costo de la mitigación de riesgo sísmico de la infraestructura escolar se desarrolló bajo la expresión dada en la [Ec 2]:

$$Q = \frac{L_U - L_R}{C_R} \quad [\text{Ec } 2]$$

En dónde L_U representa el valor presente de la AAL para el área escolar en el estado actual y L_R el valor presente de la AAL en el estado reforzado. Esta diferencia representa el ahorro asociado a la disminución de pérdidas por la mitigación. Por último, C_R representa los costos del reforzamiento. Dichos costos fueron definidos con base en las experiencias de los proyectos de mitigación desarrollados en Quito (GeoHazards 1995) y Bogotá (Coca 2006,). En Mora et al., (2009) y en Mora et al., (2011) se encuentran aspectos metodológicos para la evaluación probabilista de relaciones de beneficio costo y su aplicación edificios esenciales.

La tasa de descuento usada para calcular el valor presente las pérdidas es relevante en la decisión sobre el reforzamiento de edificios. Cuando esta tasa decrece, los futuros beneficios aumentan y así las relaciones de beneficio costo. En el caso de Thessaloniki (Grecia), Kappos y Dimitrakopoulos (2008) aplican una tasa de descuento de 4% en el análisis de viabilidad de un reforzamiento estructural utilizando un modelo de costos durante el ciclo de vida de los edificios. Por otro lado, la Agencia Federal para la Administración de Emergencias (FEMA), en el modelo de Beneficio-Costo para la evaluación de la rehabilitación estructural de los edificios federales (FEMA 1992) sugiere valores para la tasa de descuento que varían entre 3% y 6%. Siguiendo estas consideraciones, la tasa de descuento empleada para estimar los valores presentes de la AAL fue de 3%.

Resultados

La Figura 4 presenta, para cada país, los valores estimados de la AAL del área educativa en los estados actual y reforzado. Se pueden identificar 3 categorías de países de acuerdo a las estimaciones de la AAL para el estado actual. Los valores más bajos (menores al 1 ‰) se encontraron en Argentina, Venezuela y México. En general, estos resultados reflejan la baja concentración de edificios en zonas de moderada y alta sismicidad, así como la composición del área del sector educativo en tipologías estructurales de menor vulnerabilidad como hormigón armado y mampostería reforzada (ver Figura 2).

Los valores más altos de la AAL (mayores al 10 ‰) fueron estimados para Perú, Ecuador, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Guatemala. Estos resultados reflejan la composición del área del sector educativo en tipologías de mayor vulnerabilidad como mampostería no reforzada y adobe, ubicadas en zonas de relativa alta sismicidad. Se debe señalar que los valores estimados de la AAL para estos países son considerables.

Para Bolivia, Panamá, Chile, Honduras y Colombia, los valores estimados de la AAL oscilan entre 1‰ y 10‰. Estos resultados también se relacionan con los modelos de amenaza empleados en cada país, así como las tipologías estructurales consideradas relevantes. En el caso de Chile, la amenaza sísmica es relativamente alta, mientras que el área construida escolar está compuesta por tipologías estructurales de baja vulnerabilidad (Ver Figura 2). En el caso de Honduras, Panamá y Colombia, la concentración de valores expuestos en zonas de alta sismicidad es moderada.

³ Software disponible en: http://ecapra.org/capra_wiki/en_wiki/index.php?title=CAPRA-GIS [última consulta 11/02/2010]

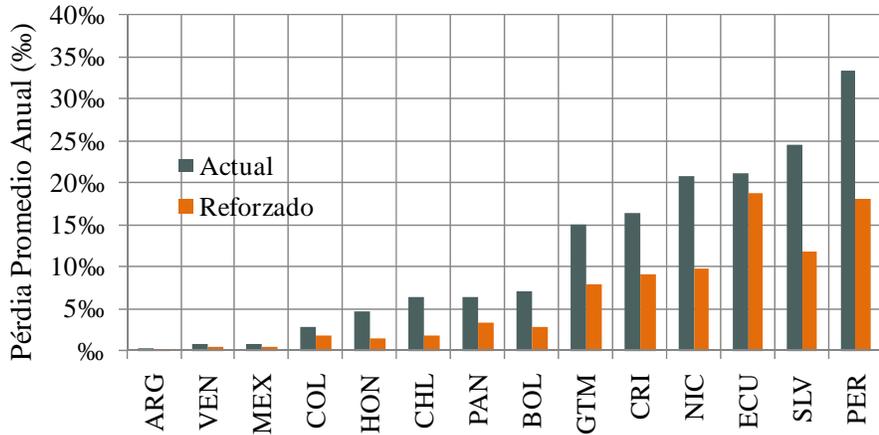


Figura 4 Pérdida Promedio Anual estimada

Los resultados del análisis de Costo Beneficio se presentan en la Figura 5. De esta Figura se observan los casos arriba mencionados: Para Honduras, Bolivia y Nicaragua, los costos de reforzamiento son mayores que los valores de reposición, por lo tanto, la relación de Beneficio Costo es menor a uno. En el modelo desarrollado para estos países, el porcentaje de estructuras vulnerables, tales como edificios de adobe, es alto (Ver Figura 2). Por esta razón, la intervención estructural requeriría inversiones significativas, comparables con la reposición de la infraestructura.

Por otro lado, la diferencia de la AAL entre los casos actual y reforzado para Venezuela, Panamá, Argentina, Chile, Colombia y México no es tan significativa comparada con los costos de reforzamiento (Ver Figura 5), por lo tanto, desde la perspectiva financiera, la intervención estructural de dichas estructuras no es atractiva. Este resultado también está relacionado con las tipologías estructurales consideradas para cada país. De la Figura 2 se observa que en estos casos son frecuentes edificios de concreto reforzado y de mampostería reforzada. Para estas estructuras, la reducción de su vulnerabilidad al considerar las alternativas de reforzamiento es menor, al compararla con la reducción de la vulnerabilidad de los otros tipos estructurales (Ver Figura 3)

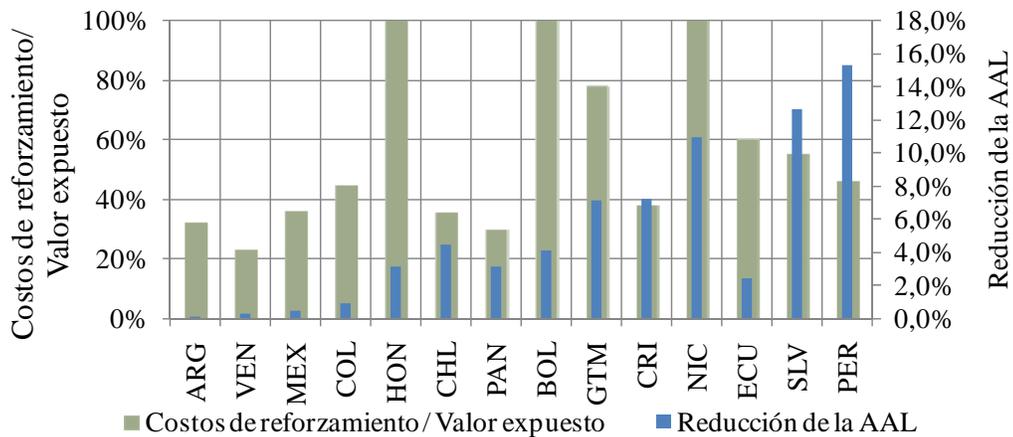


Figura 5 Costos de reforzamiento / valor expuesto ; Reducción de la AAL

Entre estos extremos, Ecuador, Perú, Costa Rica y el Salvador tienen mejores opciones para desarrollar programas de mejoramiento de escuelas desde la perspectiva financiera, dada la reducción esperada en la AAL y los costos estimados de la intervención estructural.

Conclusiones

En este estudio se presentan estimaciones gruesas del riesgo sísmico de las escuelas de los países en la Región Andina y en Centro América usando un enfoque probabilista. El riesgo se expresa en términos de la Curva de Excedencia de Pérdidas (LEC) y de la Pérdida Promedio Anual (AAL) del área del sector educativo, tanto en el estado actual como en el reforzado. Del modelo empleado en el estudio se pueden identificar los países en los cuales es más factible realizar medidas de mitigación de riesgos en las escuelas de acuerdo a la peligrosidad sísmica a la que se encuentran expuestos y a las tipologías estructurales representativas de su infraestructura. Estos resultados reflejan la necesidad de intervención sobre los tipos constructivos más vulnerables (adobe, mampostería no reforzada) para garantizar la seguridad de los niños y de las inversiones en educación. De esta manera, estos resultados son un primer paso dentro de un procedimiento de priorización a nivel nacional para la intervención estructural de los centros educativos. Se desea recalcar que las escuelas no son sólo instalaciones alternativas para la administración de emergencias. Esta infraestructura tiene un objetivo primordial relacionado con la formación de capital humano y el mejoramiento del bienestar y calidad de vida de las comunidades. Por esta razón, su seguridad debe verse como una prioridad en los planes nacionales de desarrollo. Este reto incluye la identificación de las pérdidas potenciales, el diseño de posibles alternativas de reforzamiento estructural y no estructural, el diseño de un programa de reforzamiento, la asignación de prioridades a dichas intervenciones y la financiación del proyecto. Por último, la viabilidad del reforzamiento de las escuelas debe ser evaluada en un marco interdisciplinar en el cual, la seguridad de los niños, los beneficios de la educación y sus efectos en el bienestar, sean analizados junto con los beneficios económicos derivados de la reducción de las pérdidas esperadas.

Referencias:

- Coca, C. (2006), "Risk management and sustainability in educative sector experience of Bogota, Colombia". [En línea]. Disponible en:
<<http://www.preventionweb.net/english/professional/trainings-events/edu-materials/v.php?id=7673>> [Última revisión 11/02/2011]
- Crowley, H.; Colombi M.; Calvi G.M. Pinho R.; Meroni F.; Cassera A. (2008), "Application of a Prioritisation 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
- ECLAC (2003), "Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters". Economic Commission for Latin America and the Caribbean [En línea] Disponible en: < http://www.undp.org/cpr/disred/documents/publications/eclac_handbook.pdf > [Última revisión 11/02/2011]
- ERN-AL (2010), "Seismic risk assessment of schools in the Andean Region in South America and Central America". International Labor Office -ILO/ CRISIS. External collaboration contract 40062342/0. Route des Morillons 4 CH 1211 Geneva 22. Suiza.
- FEMA -Federal Emergency Management Agency (1992), "A benefit/cost model for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 227)", Vols 1, 2. VSP Associates, Sacramento, California
- FEMA -Federal Emergency Management Agency (1994), "Seismic Rehabilitation of Federal Buildings: A Benefit/Cost Model Volume 2 - Supporting Documentation". (FEMA-256 I) Sept 1994 Prepared for the Federal Emergency Management Agency Under Contract No. EMW-92-6-3976 by VSP Associates, Inc. 455 University Avenue, Suite 340 Sacramento, CA 95825 June 30, 1994
- 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/plan/prevent/hazus/hz_manuals.shtm> [Última consulta 11/02/2010]

- Ferreira, M.A.; Proença, J.M.; Oliveira, C.S. (2008), "Vulnerability Assessment in Educational Buildings—Inference of Earthquake Risk. A Methodology Based on School Damage in the July 9, 1998, Faial Earthquake in the Azores". The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China. Paper 09-01-0014
- Ferreira, M.A., Proença, J.M. (2008), "Seismic Vulnerability Assessment of the Educational System of Bucharest". The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China. Paper ID 09-01-0110
- GeoHazards (1995), "Invirtiendo en el futuro de Quito. Proyecto de Seguridad Sísmica de las edificaciones escolares de Quito, Ecuador". [En línea] Disponible en: <http://www.geohaz.org/news/images/publications/QuitoSchoolProjectSpanish.pdf> [Última revisión 11/02/2011]
- Kappos, A.J., Dimitrakopoulos, E.G. (2008), "Feasibility of pre-earthquake strengthening of buildings based on cost-benefit and life-cycle cost analysis, with the aid of fragility curves". Natural Hazards Vol 45, Nº 1., Apr 33 pp 33-54
- Lopez, O.A., Hernandez, J.J., Marinilli, A., Bonilla, R., Fernandez, N., Dominguez, J., Baloa, T., Coronel, G., Safina, S. (2008), "Seismic Evaluation and Retrofit of School Buildings in Venezuela". The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China. Paper ID 09-01-0041
- Martinelli, A., Mannella, A., Milano, L., Cifani, G., Lemme, A., Miozzi, C., Mancini, C. (2008), "The Seismic Vulnerability of School Buildings in Molise (Italy): The Safe School Project, from Seismic Vulnerability Studies to an Intervention Classification". The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China. Paper ID 09-01-0086
- Milutinovic, Z.V., Trendafiloski, G.S. (2003), "WP4: Vulnerability of current buildings". Risk-UE project Handbook. Sep. 2003. Risk-UE project report
- 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
- Mora, M.G., Ordaz, M., Yamin, L.E., Cardona, O.D. (2011) "Relaciones beneficio costo probabilistas de rehabilitación sísmica" Cuarto Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Granada, España, 18-20 de mayo de 2011. Artículo no 60.
- Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J. (2007), "CRISIS2007. Program for computing seismic hazard. (Version 7.0)". Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaría de Educación de Bogotá (2004) "REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL SED.xls" [Libro de Excel].
Smyth, A.W., Deodatis, G., Franco, G., He, Y., Gurvich, T. (2004), "Evaluating earthquake retrofitting measures for schools: a cost-benefit analysis" School Safety and Security. Keeping Schools Safe in Earthquakes. Proceedings of the ad hoc Experts' Group Meeting on Earthquake Safety in Schools, Paris, 9 to 11 February 2004. [En línea]. Disponible en: http://www.oecd.org/document/61/0,3746,en_2649_39263294_34748797_1_1_1_1,00.html [Última consulta 07/02/2010]
- UNESCO (2010) Reaching the marginalized. EFA Global Monitoring Report. Education For All 2010. Oxford University Press. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization 7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France
- Ventura, C., Taylor, G., White, T., Finn, Liam., (2006), "Bridging guidelines for the performance-based seismic retrofit of British Columbia low-rise school buildings. Second Edition". The British Columbia Ministry of Education. University of British Columbia. Association of Professional Engineers and Geoscientist of BC.
- Yakut, A., Tonguç, A., Gülkan P. (2008), "A comparative seismic performance assessment and rehabilitation of existing school buildings" The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.