

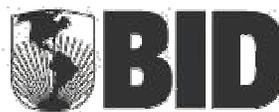
CAPRA

CENTRAL AMERICA PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT
EVALUACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS EN CENTRO AMÉRICA

GUATEMALA

TAREA IV
MAPAS DE AMENAZAS Y DE RIESGOS, APLICACIONES
EN LA GESTIÓN DEL RIESGO

INFORME TÉCNICO SUBTAREA 4.2G
ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO DE LA MITIGACIÓN DEL
RIESGO SÍSMICO EN ESCUELAS A NIVEL NACIONAL





Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres

Consortio conformado por:

Colombia

Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



[ERN Ingenieros Consultores, S. C.](#)

ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.ern-la.com

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Julián Tristancho
Especialista ERN (COL)

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Especialista ERN (COL)

Sergio Enrique Forero A.
Especialista ERN (COL)

Mario Andrés Salgado G.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Pablo Forero A.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Miguel Galindo P.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcárcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

René Salgueiro
Especialista CIMNE(ESP)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Liliana Narvaez M.
Asesor Asociado (COL)

Juan Camilo Olaya
Asistente Técnico ERN (COL)

Steven White
Asistente Técnico ERN (COL)

Asesores Nacionales

SNET Francisco Ernesto Durán
& **Giovanni Molina** El Salvador

Osmar E. Velasco
Guatemala

Oscar Elvir Honduras
Romaldo Isaac Lewis Belice

Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Tsuneki Hori
Consultor Interno

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Oscar Anil Ishizawa
Consultor Interno

Sergio Lacambra
Especialista Sectorial

Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Edward C. Anderson
Especialista

Joaquín Toro
Especialista

Stuart Gill
Especialista

Fernando Ramírez C.
Especialista

LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

Esta aplicación es de carácter ilustrativo y presenta limitaciones y restricciones debido al nivel de resolución de la información disponible, de lo cual debe ser consciente el usuario final para efectos de poder dar un uso adecuado y consistente a los resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de análisis realizado, el tipo y calidad de datos empleados, el nivel de resolución y precisión utilizado y la interpretación realizada. En consecuencia es importante señalar lo siguiente:

- Los modelos utilizados en los análisis tienen simplificaciones y supuestos para facilitar el cálculo que el usuario debe conocer debidamente. Éstas están descritas en detalle en los informes técnicos respectivos.
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado de actualización. Es posible que exista información mejor y más completa a la cual no se tuvo acceso.
- La información utilizada y los resultados de los análisis de amenaza, exposición y riesgo tienen asociado un nivel de resolución según las unidades de análisis utilizadas, lo que se explica en el documento descriptivo del ejemplo.
- El uso que el usuario final le dé a la información no compromete a los autores de los estudios realizados, quienes presentan este ejemplo como lo que puede ser factible de hacer si se cuenta con información confiable con la precisión adecuada.
- Es responsabilidad del usuario comprender el tipo de modelo utilizado y sus limitaciones, la resolución y calidad de los datos, las limitaciones y suposiciones de los análisis y la interpretación realizada con el fin de darle a estos resultados un uso adecuado y consistente.
- Ni los desarrolladores del software, ni los promotores o financiadores del proyecto, ni los contratistas o subcontratistas que participaron en las aplicaciones o ejemplos de uso de los modelos asumen ninguna responsabilidad por la utilización que el usuario le dé a los resultados que aquí se presentan, por lo tanto están libres de responsabilidad por las pérdidas, daños, perjuicios o efectos que pueda derivarse por la utilización o interpretación de estos ejemplos demostrativos.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1-1
2	Metodología de análisis	2-1
3	Elementos expuestos	3-1
3.1.1	Estimación del área construida en edificaciones educativas	3-1
3.1.2	Costo de las edificaciones y valores expuestos.....	3-5
4	Funciones de vulnerabilidad.....	4-1
4.1	Vulnerabilidad sísmica	4-1
4.2	Funciones de vulnerabilidad sísmica	4-1
4.3	Costos de reforzamiento	4-4
5	Resultados del análisis	5-1
5.1	Estado actual.....	5-1
5.2	Escuelas reforzadas	5-2
5.3	Relación beneficio-costo	5-2
6	Conclusiones y Recomendaciones	6-1
7	Referencias.....	7-1

Índice de figuras

FIGURA 2-1 ANÁLISIS DE VALOR PRESENTE NETO DE COSTOS, BENEFICIOS E INVERSIÓN INICIAL EN MEDIDAS ESTRUCTURALES DE MITIGACIÓN.....	2-2
FIGURA 3-1 FRECUENCIAS RELATIVAS DE RANGOS DE ÁREA CONSTRUIDA POR ESTUDIANTE (BOGOTÁ) ...	3-3
FIGURA 3-2 CLASIFICACIÓN DE PAÍSES LATINOAMERICANOS EN FUNCIÓN DEL EDI.....	3-4
FIGURA 3-3 ÁREA CONSTRUIDA POR ESTUDIANTE Y POR VALORES DEL EDI.....	3-5
FIGURA 3-4 RELACIÓN ENTRE EL PIB PER CÁPITA Y EL VALOR EXPUESTO POR ESTUDIANTE.....	3-6
FIGURA 3-5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS	3-7
FIGURA 4-1 COMPOSICIÓN DEL ÁREA CONSTRUIDA POR TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN CADA PAÍS	4-2
FIGURA 4-2 CURVAS DE VULNERABILIDAD CONSIDERADAS PARA EL ACTUAL PORTAFOLIO DE ESCUELAS	4-3
FIGURA 4-3 CURVAS DE VULNERABILIDAD CONSIDERADAS PARA EL PORTAFOLIO REFORZADO DE ESCUELAS	4-3
FIGURA 5-1 RESULTADOS ANÁLISIS.....	5-1
FIGURA 5-2 RESULTADOS ANÁLISIS.....	5-2
FIGURA 5-3 RESULTADOS ANÁLISIS.....	5-3

Índice de tablas

TABLA 3-1 POBLACIÓN Y PORCENTAJES DE EDUCACIÓN PÚBLICA POR NIVELES DE COMPLEJIDAD	3-2
TABLA 3-2 ÁREA CONSTRUIDA POR ESTUDIANTE EN ALGUNOS PAÍSES LATINOAMERICANOS	3-3
TABLA 3-3 ÁREA CONSTRUIDA EN SERVICIOS EDUCACIONALES , EN ALGUNOS PAÍSES LATINOAMERICANOS	3-3
TABLA 3-4 ÁREA CONSTRUIDA POR ESTUDIANTE PARA PAÍSES DE LA REGIÓN, CLASIFICADA POR NIVELES DE COMPLEJIDAD	3-4
TABLA 4-1 TIPOS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD, TIPOS ESTRUCTURALES Y PERÍODOS ESTRUCTURALES	4-4
TABLA 4-2 EJEMPLOS DE LOS RESULTADOS DE REDUCCIÓN DE RIESGO SÍSMICO EN LAS ESCUELAS DE BOGOTÁ	4-5
TABLA 4-3 COSTOS DE REFORZAMIENTO CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS	4-6
TABLA 5-1 RESULTADOS GENERALES	5-1
TABLA 5-2 RESULTADOS GENERALES	5-2
TABLA 5-3 RESULTADOS ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO	5-3

1 Introducción

En la práctica, la forma más efectiva para disminuir el riesgo sobre la infraestructura consiste en realizar obras de reforzamiento y rehabilitación estructural y no estructural. Este proceso requiere de una inversión económica bastante alta, la cual tiene como objeto disminuir la vulnerabilidad del elemento y con esto el nivel de riesgo. Esta reducción de la vulnerabilidad y riesgo se traduce en una disminución de pérdidas esperadas ante la ocurrencia futura de eventos. La disminución corresponde no solo a las pérdidas físicas directas, sino a las pérdidas en los contenidos de los componentes afectados, a las pérdidas por interrupción del funcionamiento, a los impactos indirectos tales como los efectos sobre las personas (heridos y muertos) y a las asociada a la disminución o interrupción de la funcionalidad y relacionadas a efectos sociales indirectos, en general muy difíciles de cuantificar y pocas veces tenidos en cuenta.

El anterior planteamiento lleva a la posibilidad de realizar evaluaciones beneficio costo para diferentes alternativas de reforzamiento y/o rehabilitación, con el propósito de contar con criterios claros que permitan definir la opción óptima de la intervención y proponer una priorización dentro de una serie de alternativas de intervención, todas técnicamente viables en un ambiente de disponibilidad de recursos limitada. En esta relación, el beneficio corresponde a los ahorros en las pérdidas esperadas futuras (incluyendo pérdidas directas, indirectas, por interrupción de actividades, sociales, ambientales, funcionales y en general todas las pérdidas asociadas a la afectación del componente), mientras que el costo corresponde al valor de cada una de las diferentes alternativas de obras de intervención.

La evaluación de las pérdidas esperadas futuras se basa en la recurrencia de eventos de diferentes intensidades. Ante la incertidumbre asociada con la ocurrencia de eventos futuros se recurre a la simulación de procesos que obedecen las relaciones de recurrencia histórica o a la evaluación de un modelo probabilista, igualmente calibrado con la ocurrencia histórica de eventos. Así, para cada simulación de eventos se traen las eventuales pérdidas futuras a valor presente para efectos de comparación (en el mismo tiempo, presente) de dichas pérdidas, con la inversión inicial consecuencia de la intervención planteada.

En el marco de la evaluación probabilista, es necesario determinar la distribución de probabilidad de las relaciones beneficio-costo. En ese caso se utiliza el valor presente neto de los ahorros en pérdidas esperadas futuras (considerando tanto el estado intervenido como el no intervenido) valor que se compara con el costo de la misma intervención (rehabilitación de la estructura) dadas las condiciones actuales. El método es igualmente aplicable en una situación de diseño en la cual se deseen evaluar diferentes alternativas de nivel de diseño.

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar el riesgo potencial de varias edificaciones educacionales de Guatemala ante futuros eventos sísmicos, expresado en términos de pérdidas económicas anuales esperadas (PAE) con el fin de adelantar un ejercicio beneficio-costo, en el cual pueda observarse el proceso de simulación de pérdidas esperadas futuras y su reducción debida a una alternativa de

intervención para mejorar desempeño de las edificaciones. Este análisis se realiza en términos probabilistas, visto desde el punto de vista del modelo de recurrencia de eventos con base en sismos ocurridos en el pasado.

Los análisis presentados son de tipo ilustrativo, de la metodología y capacidades de las herramientas CAPRA. En general se basa en información tomada de otros análisis similares tratando de adaptar la información a las condiciones locales. La metodología propuesta debe servir como base para actualizar, depurar y refinar la información del modelo por parte de grupos de trabajo local con participación de funcionarios públicos, quienes deben conformar grupos de investigación con especialistas en la materia.

2 Metodología de análisis

Los análisis de riesgo con base en relaciones beneficio-costos tienen dos grandes ventajas:

- Ofrecen información directa que permite calificar diferentes alternativas de mitigación y reducción de riesgos, debido a que en cada caso puede evaluarse el impacto socioeconómico de cada una de las alternativas.
- Representa un criterio técnico y claro para establecer una priorización de intervención en diferentes componentes, o para definir las obras de intervención a realizar, siempre en términos de maximizar la relación beneficio-costos. Esto permite una programación racional de inversiones en mitigación y reducción de riesgos.

En estos tipos de análisis, los beneficios están relacionados con los ahorros futuros que se puedan lograr en términos de pérdidas directas, pérdidas en los contenidos y pérdidas indirectas esperadas, la eventual disminución en los efectos sociales directos y por la pérdida de funcionalidad que se pueda llegar a producir y los posibles ahorros en mantenimiento futuro. Para ello, es necesario contar con un estimativo relativamente confiable de las inversiones requeridas para cada una de las alternativas de mitigación, incluyendo los costos directos, indirectos, administrativos, financieros y los eventuales costos de mantenimiento en el lapso de tiempo seleccionado para el análisis, que normalmente es un periodo de varios años. Debe también establecerse una relación confiable entre las posibles intervenciones a realizar con la eventual disminución de la vulnerabilidad o de la amenaza que se logra. Los beneficios económicos que se generarían en el futuro deben traerse a valor presente para una adecuada comparación económica mediante una tasa de descuento apropiada.

La Figura 2-1 presenta el esquema de un análisis típico beneficio-costos, en el cual, para una adecuada comparación, es necesario traer los costos y beneficios futuros generados con la implantación de una medida estructural y cotejarlos con la inversión inicial requerida.

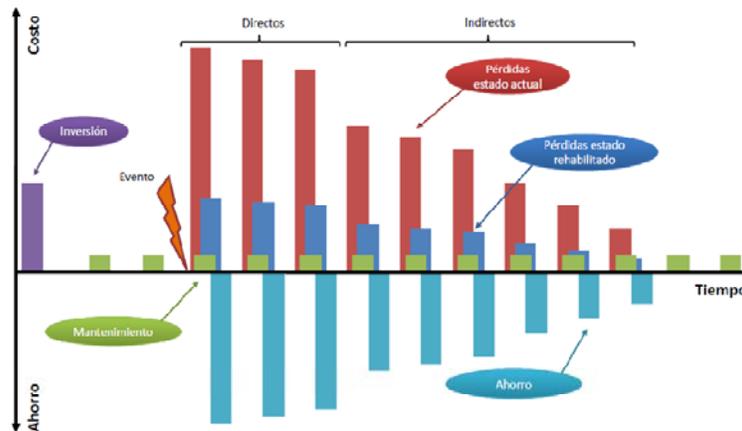


Figura 2-1 Análisis de valor presente neto de costos, beneficios e inversión inicial en medidas estructurales de mitigación

La relación beneficio-costos, Q , se define como la relación entre el ahorro en pérdidas por la ejecución de programas de intervención estructural y el costo inicial de la intervención proyectada. De esta manera la relación beneficio-costos se plantea de la siguiente manera:

$$Q = \frac{L_U - L_R}{R} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde L_U es el valor presente de las pérdidas futuras en el estado no intervenido, L_R corresponde al valor presente de las pérdidas futuras en el estado rehabilitado, las cuales corresponden a variables aleatorias con distribución de probabilidad conocida y por lo tanto pueden ser calculadas. R corresponde al costo o valor de inversión por la ejecución del programa de intervención.

Los valores L_U y L_R pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$L = \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i e^{-\gamma t_i} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde β_i corresponde al valor de la pérdida debida a un evento i en un tiempo t_i y γ corresponde a la tasa de descuento. De acuerdo con (Ordaz; 2009) se obtiene el cálculo de los dos momentos estadísticos de la variable aleatoria, L , como sigue:

$$E(L) = \frac{E(\beta_A)}{\gamma} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\text{VAR}(L) = \frac{\text{VAR}(\beta_A)}{2\gamma} \quad (\text{Ec. 4})$$

De acuerdo con (Ordaz; 2009) el valor presente neto de las pérdidas futuras puede ser representado mediante una distribución Gamma con parámetros dados como sigue:

$$p(L) = \frac{L^{r-1} \exp(-\lambda L) \lambda^r}{\Gamma(r)} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$E(L) = \frac{r}{\lambda} = \varepsilon \quad (\text{Ec. 6})$$

$$C(L) = \frac{1}{\sqrt{r}} = C \quad (\text{Ec. 7})$$

Con lo anterior el interés surge en evaluar el valor esperado de la relación beneficio-costo, $E(Q)$, la probabilidad que dicha relación sea positiva, $\text{Pr}(Q > 1)$.

$$E(Q) = \frac{E(L_U) - E(L_R)}{R} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde $E(L_U)$ y $E(L_R)$ son el valor esperado del valor presente neto de pérdidas futuras para el estado actual y estado rehabilitado respectivamente.

La probabilidad de obtener una relación beneficio-costo positiva puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pr}(L_U - L_R > R) = 1 - \int_0^{\infty} \text{Gac}(R + y; r_U, \lambda_U) p_R(y) dy \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde $\text{Gac}(x; r, \lambda)$ es la función Gamma cumulativa, dada por:

$$\text{Gac}(x; r, \lambda) = \int_0^x \frac{y^{r-1} \exp(-\lambda y) \lambda^r}{\Gamma(r)} dy \quad (\text{Ec. 10})$$

3 Elementos expuestos

La información de la exposición a eventos naturales consiste en el inventario de edificaciones que pueden verse afectadas. Esto es expresado en términos de bienes y población. Lo anterior es un componente esencial en la evaluación de riesgo y el grado de certeza de los resultados depende en sus niveles de resolución y detalle. Cuando no existe información detallada, como ocurre en este caso, es necesario llevar a cabo estimaciones del inventario expuesto de bienes basado en indicadores gruesos y en opiniones de expertos. Lo anterior es conocido como un modelo de exposición proxy.

El objetivo del modelo de exposición de escuelas a nivel nacional (proxy), es también crear una distribución adecuada para el inventario en términos de unidades geográficas nacionales o divisiones políticas. Las bases de información para la estimación de la exposición son en general las bases de datos de censo, indicadores de desarrollo económico, humano y bienestar, y precios de construcción. El modelo de exposición proxy requiere definir los siguientes aspectos:

- (a) División geográfica y política: El modelo es presentado mediante una categorización en unidades sub-nacionales y municipalidades.
- (b) Para caracterizar las diferentes áreas urbanas, una evaluación zonal es realizada en zonas homogéneas en términos de características de infraestructura, concentración de la población, actividad económica y condiciones socioeconómicas entre otras.

Áreas geográficas más detalladas pueden ser utilizadas en caso de ser requeridas para el análisis; por ejemplo en las ciudades los suburbios pueden ser incluidos dependiendo en la información disponible.

En general, es importante mencionar que usualmente para la representación de la exposición no es posible tener información de elemento por elemento (por ejemplo predio a predio) debido a que no existe una base catastral disponible. En la mayoría de los casos, un proxy es desarrollado utilizando variables indirectas y una serie de correlaciones.

3.1.1 *Estimación del área construida en edificaciones educativas*

Los parámetros más confiables para este análisis son la población oficial reportada para cada unidad sub-nacional política y administrativa, así como el número estimado de estudiantes de acuerdo a la información del Ministerio de Educación nacional. Para el cálculo del área construida para educación, se asume un área construida promedio por estudiante en una escuela; un valor que depende del nivel de complejidad de cada municipalidad y de si el centro educativo es público o privado. La Tabla 5-1 muestra el rango de población urbana que es utilizada para cada nivel de complejidad.

$$A_{edu}(m^2) = CE[Est] \times ME \left[\frac{m^2}{Est} \right] \times PEP[\%] \quad (\text{Ec. 11})$$

Aedu: área construida educacional

CE: número de estudiantes de cada área administrativa

ME: índice de área construida promedio por estudiante. Depende del nivel de complejidad del área administrativa.

PEP: porcentaje de estudiantes de instituciones públicas para cada nivel de complejidad (ver Tabla 3-1). Para educación privada el valor PEP es remplazado por (1-PEP).

Tabla 3-1 Población y porcentajes de educación pública por niveles de complejidad

Nivel de complejidad	Población de la zona urbana	Educación pública (%)
Alto = 1	> 100,000	50
Medio = 2	20,000 a 100,000	80
Bajo = 3	< 20,000	100

Como resultado de una revisión detallada sobre una base de datos disponible de edificios públicos en Bogotá que fueron clasificados para evaluación de vulnerabilidad y mitigación del riesgo sísmico de la Secretaría de Educación de Bogotá (2004), se encontró que el área construida por estudiante, en la mayoría de las escuelas contenidas en dicha base de datos, se encuentra entre 0.3 y 2.1 m² (Ver Figura 3-1). Adicionalmente, el Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres, de la CEPAL (2003), sugiere diferentes valores para el área construida por estudiante; dichos valores son presentados en la Tabla 3-2 y Tabla 3-3. Para el caso de Argentina, por ejemplo, el área construida por estudiante es cercana a 6 m².

Por otro lado, el Indicador de Todo Desarrollo Educacional (EDI) de la UNESCO (2010), clasifica los países de la región en términos de consecución de metas educacionales (Ver Figura 3-2). Por lo tanto, que utilizando los índices de área construida por estudiante anteriormente mencionados, y la clasificación dada por el EDI, es posible estimar dicho índice en Guatemala, bajo la suposición que entre mayor sea el EDI, mayor la cobertura educativa en área. Los resultados de la relación entre el EDI y el área construida por estudiante son mostrados en la Tabla 3-4 y la Figura 3-3.

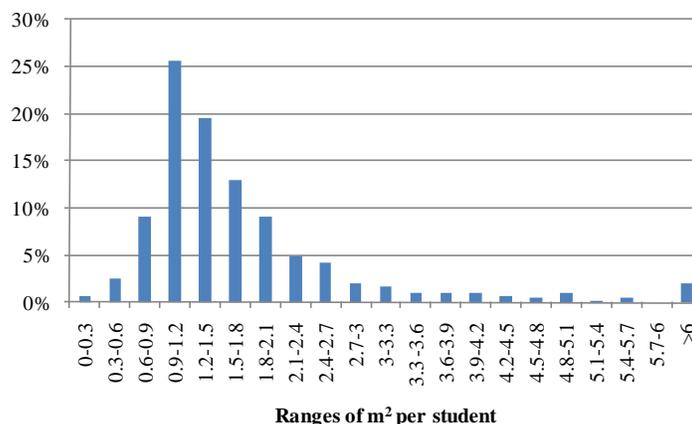


Figura 3-1

Frecuencias relativas de rangos de área construida por estudiante (Bogotá)

Fuente Secretaría de Educación de Bogotá

Tabla 3-2

Área construida por estudiante en algunos países latinoamericanos

Fuente ECLAC

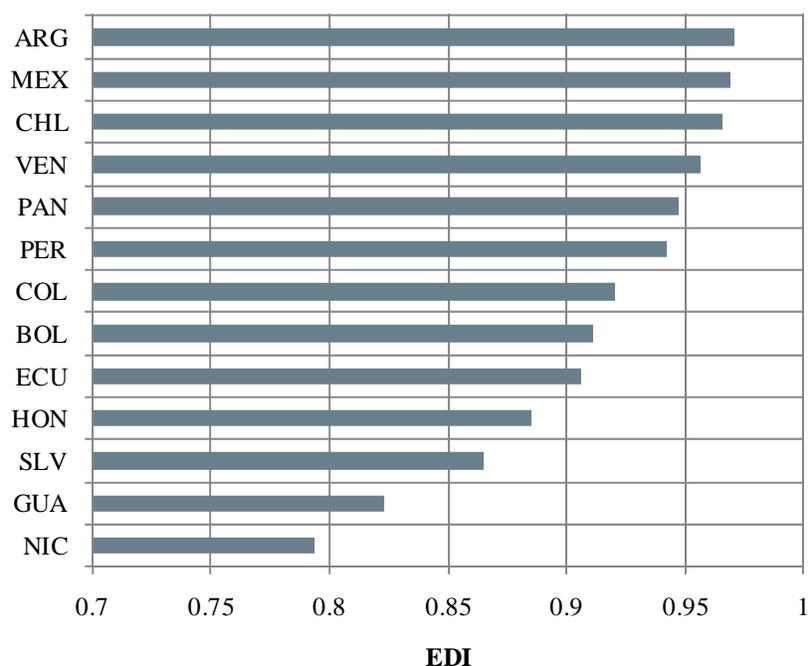
Salones para educación básica y secundaria. (m ² por alumno)		
Área total construida	Argentina	Paraguay
	6	1.2
Área de salones	Uruguay y Perú	Guyana y Haití
	1.5	0.9

Tabla 3-3

Área construida en servicios educacionales, en algunos países latinoamericanos

Fuente ECLAC

Otros servicios educacionales (m ² por estudiante)		
Edificaciones administrativas	Argentina	Bolivia
	0.85	0.05
Laboratorios	Ecuador	República Dominicana
	3.8	1.2
Talleres técnicos	Ecuador	Uruguay
	5	1.2
Estudios de arte	Paraguay	Uruguay y Perú
	6	1.5
Talleres industriales	Guayana	Guatemala
	9	4.5
Bibliotecas	Brasil	Bolivia
	4.32	0.15
Salones de música	Paraguay	Argentina
	2.7	1.2



EDI

Figura 3-2

Clasificación de países latinoamericanos en función del EDI

Fuente UNESCO

Tabla 3-4

Área construida por estudiante para países de la región, clasificada por niveles de complejidad

País	EDI	m ² por estudiante (estimado)	Nivel de complejidad		
			Bajo	Medio	Alto
NIC	0.794	0.78	0.78	0.93	1.09
GUA	0.823	0.84	0.84	1.01	1.18
SLV	0.865	0.91	0.91	1.10	1.28
HON	0.885	1.05	1.05	1.26	1.48
ECU	0.906	1.42	1.42	1.70	1.99
BOL	0.911	1.50	1.50	1.79	2.09
COL	0.92	1.79	1.79	2.15	2.51
PER	0.942	3.02	2.42	3.02	3.63
PAN	0.947	3.31	2.65	3.31	3.97
VEN	0.956	3.77	3.02	3.77	4.53
CHL	0.966	4.25	3.40	4.25	5.10
MEX	0.969	4.40	3.52	4.40	5.28
ARG	0.971	4.52	3.61	4.52	5.42

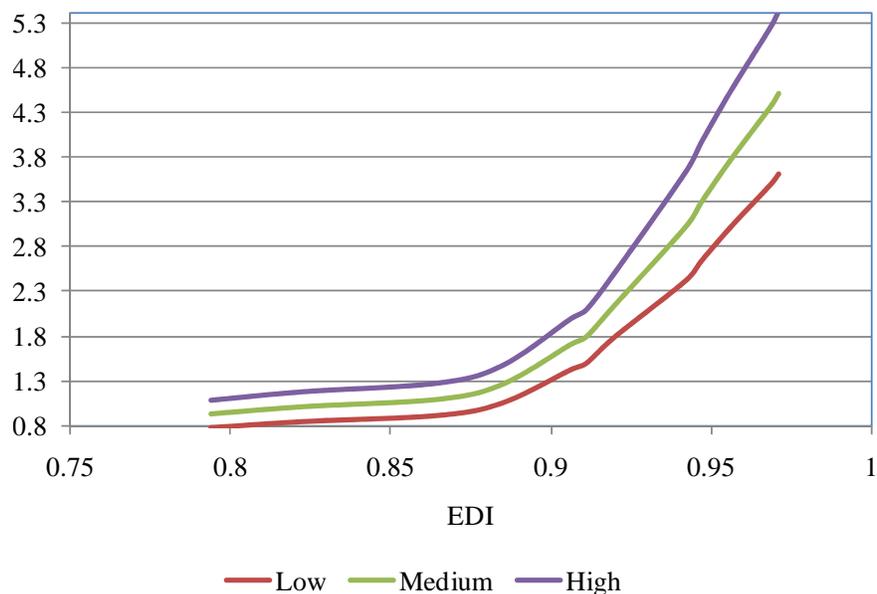


Figura 3-3
Área construida por estudiante y por valores del EDI

3.1.2 Costo de las edificaciones y valores expuestos

Con el fin de identificar adecuadamente los costos de las edificaciones, los precios por m² fueron obtenidos de la información disponible en el Instituto Nacional de Estadística. Dada la falta de información en algunos casos, fue necesario establecer una relación entre ellos. Así, el valor expuesto por estudiante fue relacionado con el salario mínimo y el PIB per cápita. Por lo anterior, los costos por m² fueron ajustados de acuerdo a dichos parámetros tal y como se muestra en la Figura 3-4.

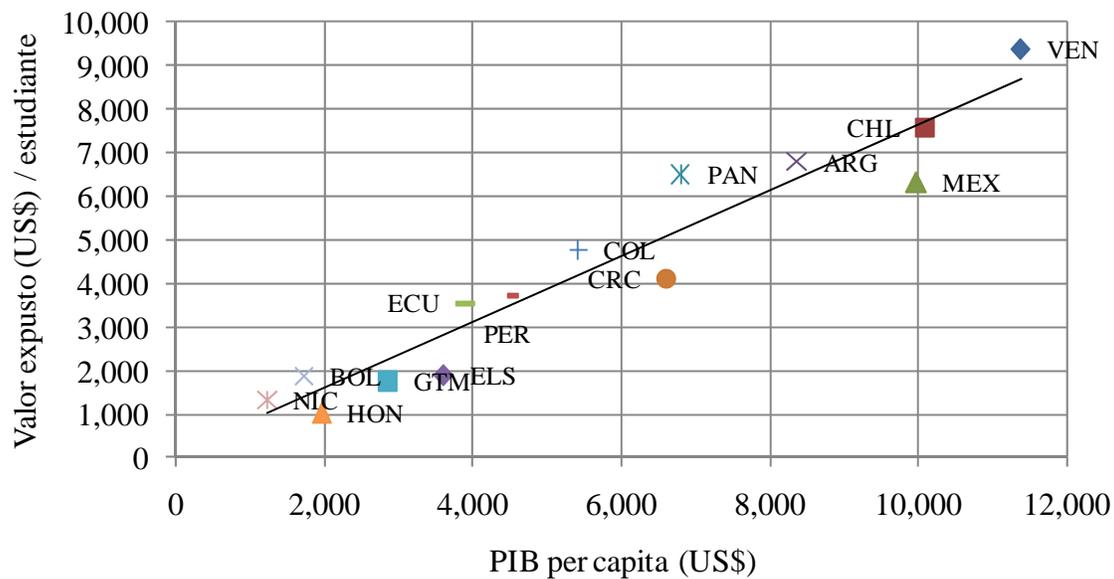


Figura 3-4
Relación entre el PIB per cápita y el valor expuesto por estudiante

Los resultados de la estimación del área construida de escuelas en Guatemala es mostrada en la Figura 3-5.

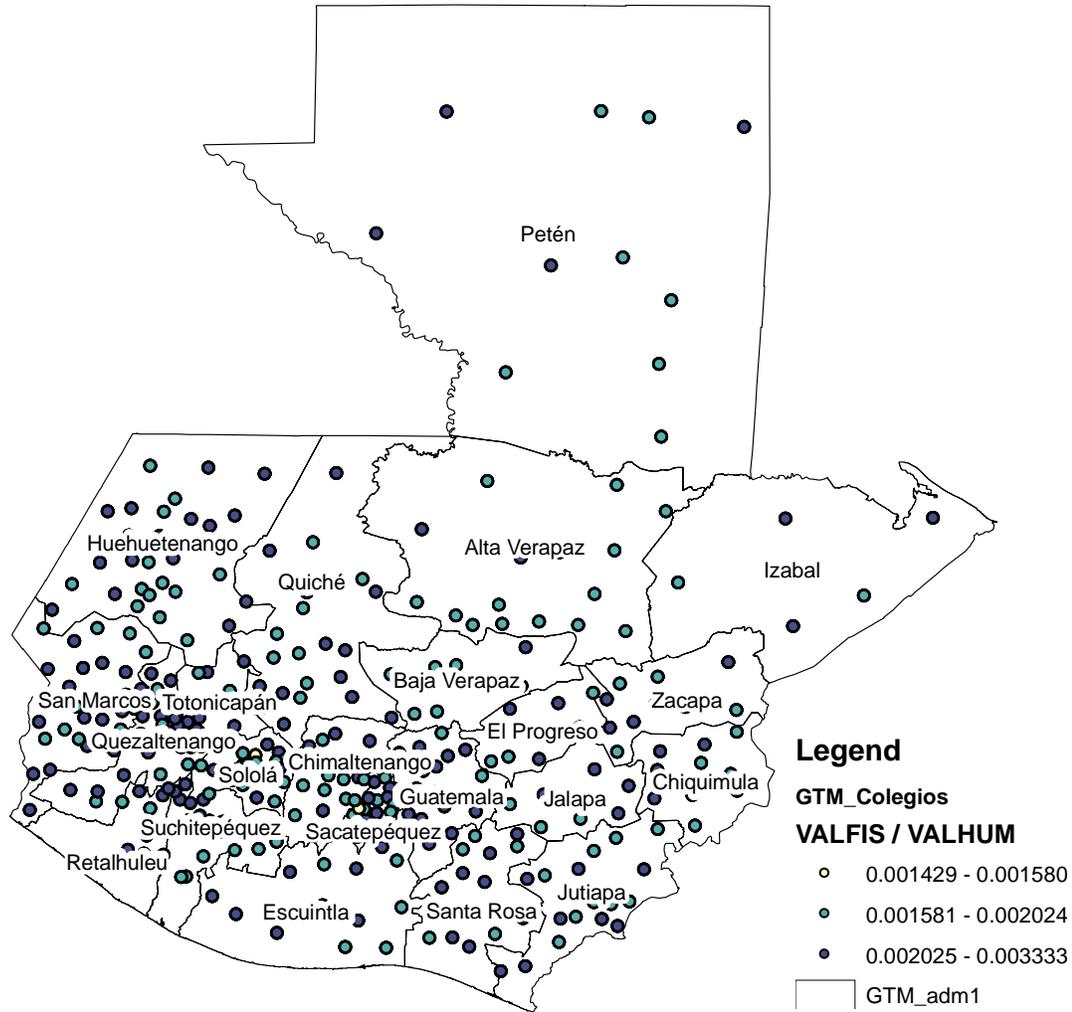


Figura 3-5
Distribución geográfica de los elementos expuestos

4 Funciones de vulnerabilidad

4.1 Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es la relación entre cualquier medida de intensidad del fenómeno (aceleración, velocidad, desplazamiento o cualquier otra que presente la mejor correlación) y el nivel de daño del elemento físico expuesto a dicha intensidad sísmica. Por ejemplo, para el caso de construcciones de varios niveles, la intensidad sísmica que mejor correlaciona el daño esperado es la deriva o la distorsión angular entre pisos (relacionada con la deformación estructural debida a las fuerzas sísmicas). Para otros tipos de construcciones, como pequeñas casas construidas en mampostería o adobe, la aceleración pico del terreno es usada como el parámetro de correlación asociado con el daño.

En el análisis, la vulnerabilidad del edificio es asignada siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- (a) Tipificación de las clases de construcciones representativas y dominantes dentro del portafolio de escuelas.
- (b) Cálculo de las funciones de vulnerabilidad de las clases de construcción características. Para este propósito, varios modelos analíticos han sido desarrollados así como también se han utilizado funciones previamente publicadas de acuerdo a experiencias anteriores a nivel nacional e internacional.
- (c) Asignación de una clase de construcción característica y de una función de vulnerabilidad a cada elemento dentro del inventario de bienes expuestos.

Un resumen de las funciones de vulnerabilidad utilizadas para los diferentes elementos expuestos es presentado a continuación. Dichas curvas están basadas ya sea en el comportamiento equivalente de componentes típicos obtenidos de estudios previos o de análisis específicos de condiciones de diseño y construcción de los elementos modelados.

4.2 Funciones de vulnerabilidad sísmica

En el análisis son considerados sistemas estructurales típicos tales como pórticos resistentes a momento, sistemas combinados o duales, sistemas con muros estructurales, sistemas prefabricados entre otros. En general, el nivel de daño en estas construcciones depende del desplazamiento relativo de entrepisos. Las funciones de vulnerabilidad para estas clases de edificaciones son representadas gráficamente como el porcentaje de daño vs. la máxima deriva de entrepiso del edificio.

Por otro lado, para sistemas estructurales tales como muros en mampostería estructural, construcciones pequeñas en adobe, tapia y otros materiales locales, las funciones de vulnerabilidad son correlacionadas mejor a parámetros como la aceleración pico del terreno. En ese caso, las funciones de vulnerabilidad se representan de una mejor manera como el porcentaje de daño vs. la máxima aceleración espectral de la construcción.

Las funciones de vulnerabilidad son generadas empleando el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN, 2009), el cual hace parte de la plataforma CAPRA de análisis de riesgo de desastre. . Las funciones son generadas en términos de aceleración espectral o en términos de deriva de entrepiso, y son luego unificadas en función de la aceleración espectral tal como se mencionó anteriormente. Las curvas son modificadas con factores que tienen en cuenta aspectos particulares de las clases de construcción locales tales como la calidad de los materiales, las condiciones generales de las construcciones, las prácticas constructivas y de diseño así como características específicas de los tipos estructurales predominantes. Para cada país, las tipologías estructurales representativas fueron seleccionadas de acuerdo a la información disponible en el censo nacional, relacionada con los materiales de construcción y las características de los muros, pisos y techos. Adicionalmente se consideró información acerca de los tipos estructurales provistos por la World Housing Encyclopedia. La Figura 4-1 presenta la composición del área construida por tipología estructural para cada país. La Figura 4-2 y Figura 4-3 presentan las funciones de vulnerabilidad asignadas a las construcciones en el presente estudio.

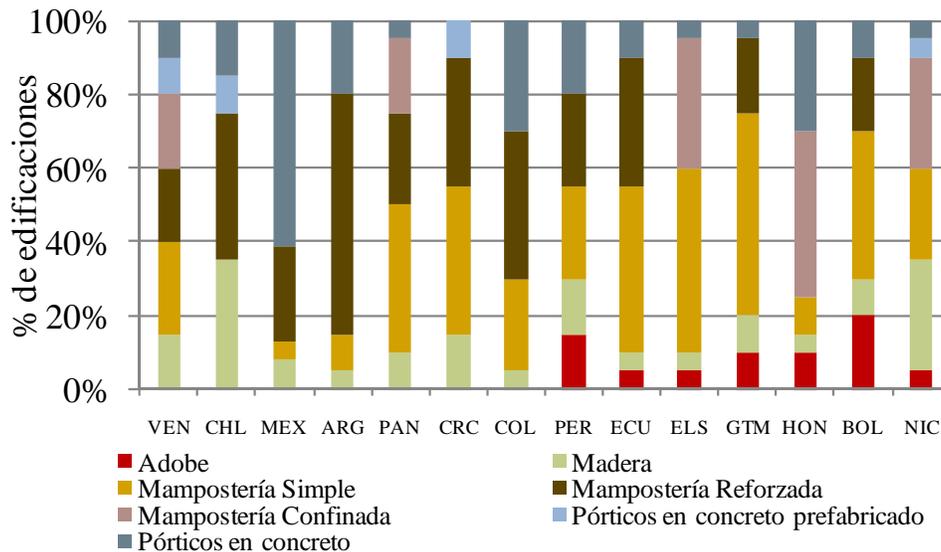


Figura 4-1
Composición del área construida por tipologías estructurales en cada país

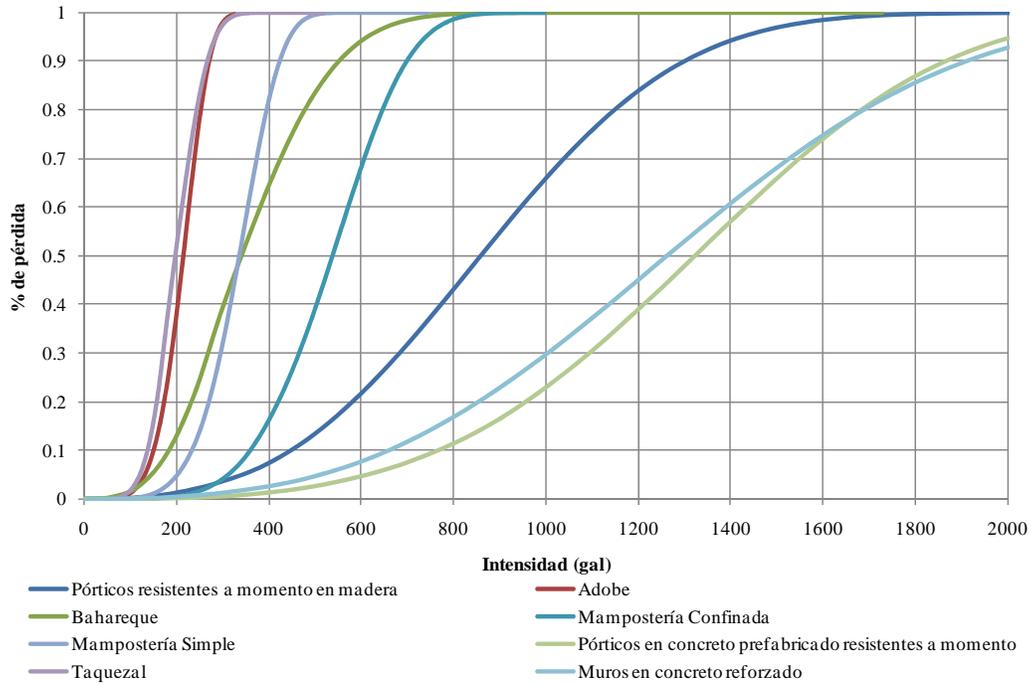


Figura 4-2
Curvas de vulnerabilidad consideradas para el actual portafolio de escuelas

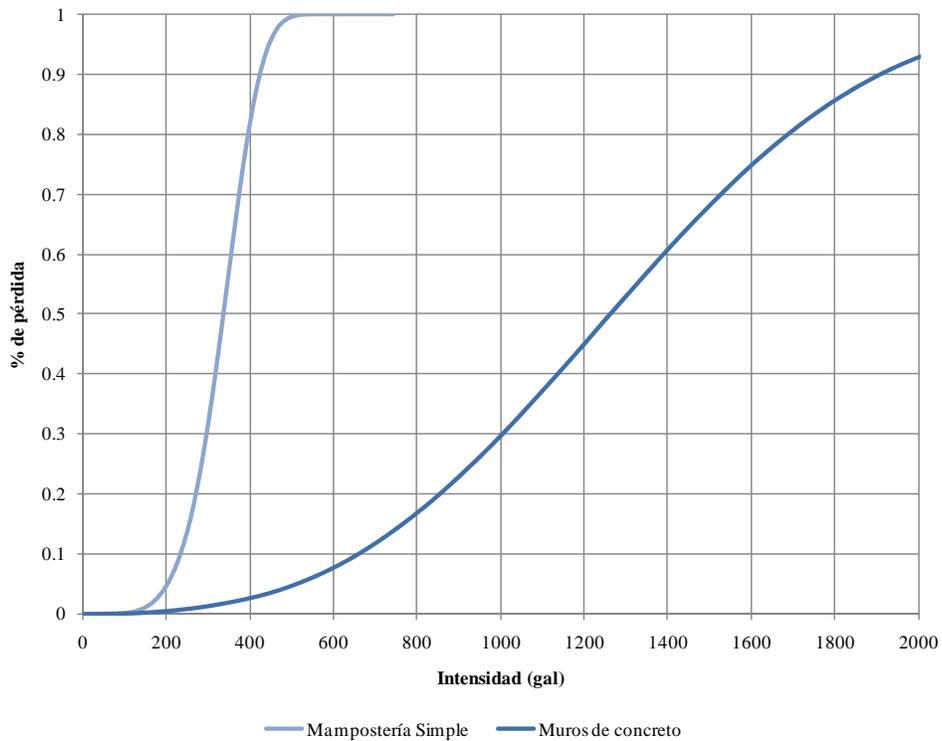


Figura 4-3
Curvas de vulnerabilidad consideradas para el portafolio reforzado de escuelas

La Tabla 4-1 resume los periodos estructurales representativos para cada tipología estructural; la asignación de la intensidad sísmica correspondiente para la estimación de la pérdida estimada se basa en dicho parámetro.

Tabla 4-1
Tipos de funciones de vulnerabilidad, tipos estructurales y periodos estructurales

Curva de vulnerabilidad	Tipología estructural	Período estructural (s)
S_A-FPSB-2	Adobe	0.24
S_W-FLFB-2	Madera	0.44
S_MC-RCSB-2	Mampostería confinada	0.14
S_MR-SLSB-1	Mampostería reforzada	0.08
S_MS-SLSB-1	Mampostería simple	0.08
S_PCR-RLSB-2_0	Pórticos de concreto resistentes a momento	0.36
S_CP-FLSB-2	Estructuras de concreto prefabricado	0.36
S_MR-SLSB-1_1	Mampostería reforzada (reforzada)	0.08
S_PCR-RLSB-2_1	Pórticos de concreto resistentes a momento (reforzado)	0.36

4.3 Costos de reforzamiento

Los costos de reforzamiento están asociados a las intervenciones estructurales necesarias para garantizar un nivel de seguridad predefinido de la edificación; de ahí que dependan del sistema estructural del edificio y de su diseño sismo resistente. Para este estudio, los costos del reforzamiento sísmico de las escuelas son asumidos como costos estándar para cada tipología en todos los países. Esos costos fueron relacionados con la información disponible sobre proyectos de reducción de riesgo sísmico de escuelas en América Latina.

Para este propósito, dos casos están disponibles y fueron usados como referencia para la estimación de los costos de reforzamiento. El primero es el mejoramiento de la vulnerabilidad sísmica de escuelas en Quito, y el segundo corresponde al programa de reducción de vulnerabilidad sísmica de escuelas en Bogotá. De acuerdo con Coca (2006), la inversión total para el reforzamiento estructural y el mejoramiento de las escuelas en Bogotá ha sido de alrededor de 162.7 millones de dólares. El área total de los edificios con intervención estructural (reforzamiento, reemplazo) fue de alrededor de 680,000 m²; esto incluye 172 escuelas con reforzamiento estructural, 326 escuelas con mejorías no estructurales y 54 ampliaciones. Con base en dicho estudio, los costos de intervención estructural son del orden de 240 US\$ por m². Ejemplos de las escuelas consideradas en este proyecto son presentados en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2
Ejemplos de los resultados de reducción de riesgo sísmico en las escuelas de Bogotá
 Fuente: Secretaría de educación de Bogotá¹

Escuela	Resultados
Rodrigo Lara Bonilla	Capacidad: 3,200 estudiantes. Área construida 8,425 m ² . 34 salones de clase, 4 laboratorios, 6 salas de informática, una biblioteca y 2 áreas administrativas.
Colegio San Carlos Sede B	Capacidad: 1,280 estudiantes. Área construida 2,767 m ² . 32 salones de clase, 5 áreas administrativas, 4 laboratorios, 4 salas de informática, 4 baños, un coliseo y una cafetería.
Colegio Luis López de Mesa	Capacidad: 2,000 estudiantes. Área construida: 4,206 m ² . Costos de reforzamiento alrededor de 3,800 millones de pesos colombianos (COP). 25 salones de clase, 30 baños, 6 áreas administrativas y 2 áreas de tecnología.
Colegio Alfonso López Pumarejo-Sede A	Capacidad: 2,352 estudiantes. Inversión de más de 4,000 millones de pesos colombianos (COP). 28 salones de clase, 1 salón de tecnología, 2 salas de ciencia, 2 laboratorios de química, 3 salas de informática y 1 área administrativa.
Colegio distrital Marruecos y Molinos	El costo del proyecto fue superior a 5,700 millones de pesos colombianos (COP). 38 salones, 4 laboratorios, 4 áreas administrativas, 1 biblioteca y otros servicios como una guardería y parqueadero entre otros.
Colegio Atanasio Girardot	Capacidad: 2,240 estudiantes. Completamente reconstruido. El costo del proyecto fue superior a los 7,000 millones de pesos colombianos (COP). 24 salones, 3 laboratorios, salas de informática, 3 áreas administrativas y otros servicios como guardería y salas de reuniones entre otros.

Usando la información disponible de las experiencias mencionadas anteriormente, el costo del reforzamiento fue asumido para cada material constructivo tal y como se muestra en la Tabla 4-3.

¹ http://www.sedbogota.edu.co//index.php?option=com_content&task=view&id=436
http://www.sedbogota.edu.co//index.php?option=com_content&task=view&id=417
http://www.sedbogota.edu.co//index.php?option=com_content&task=view&id=327
http://www.sedbogota.edu.co//index.php?option=com_content&task=view&id=224

Tabla 4-3
Costos de reforzamiento considerados en el análisis

Material de construcción	Costo de reforzamiento (US\$/m²)
Adobe	50
Madera	200
Mampostería simple	250
Mampostería confinada	100
Mampostería reforzada	200
Pórticos en concreto reforzado	300
Estructuras en concreto prefabricado	300

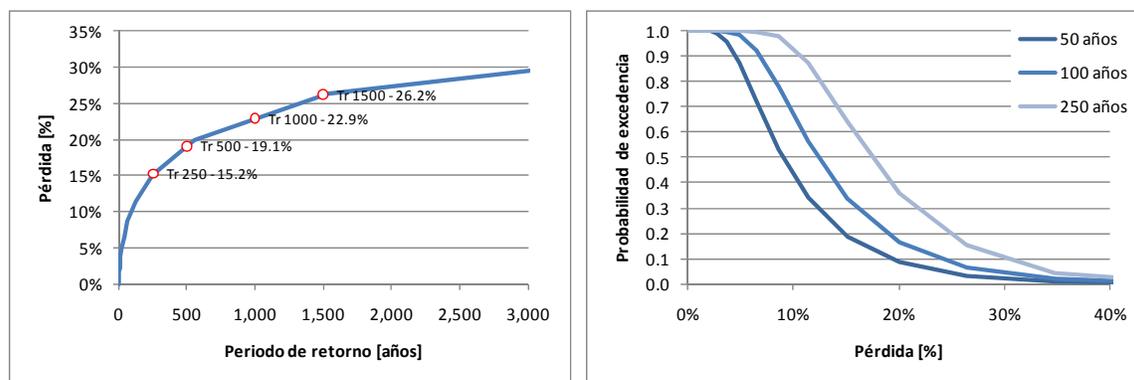
5 Resultados del análisis

A continuación se presentan los resultados de la evaluación del riesgo sísmico para las escuelas en Guatemala en el estado actual y después del reforzamiento estructural. Los resultados se presentan en términos de las pérdidas máximas probables (PML) para diferentes períodos de retorno así como en pérdidas anuales esperadas.

5.1 Estado actual

*Tabla 5-1
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	640.00
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	9.65
	‰	15.08‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	97.56	15.24%
500	122.21	19.10%
1,000	146.56	22.90%
1,500	167.58	26.18%



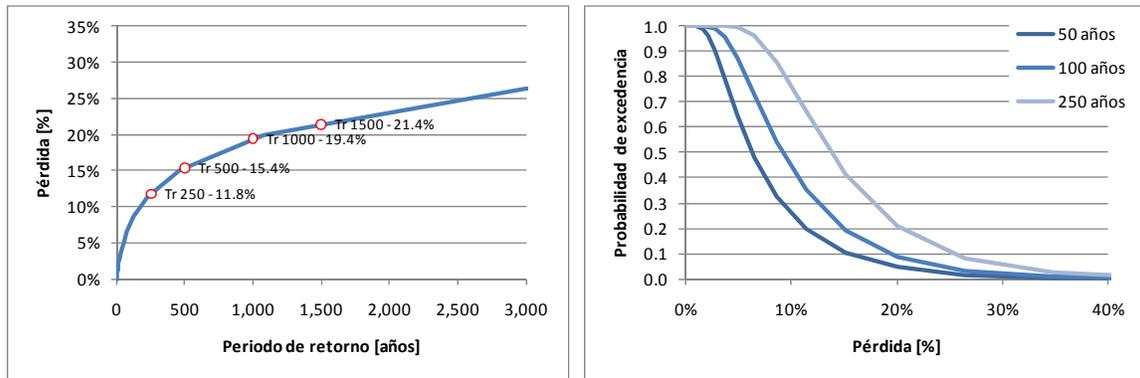
*Figura 5-1
Resultados análisis*

(Izquierda: PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

5.2 Escuelas reforzadas

*Tabla 5-2
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	640.00
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	5.11
	‰	7.98‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	75.36	11.78%
500	98.67	15.42%
1,000	124.01	19.38%
1,500	137.02	21.41%



*Figura 5-2
Resultados análisis*

(Izquierda: PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

5.3 Relación beneficio-costos

La Figura 5-3 presenta las tasas de excedencia de pérdida para el estado actual de las escuelas y el estado reforzado. Adicionalmente la Tabla 5-3 presenta los resultados del análisis de beneficio costo.

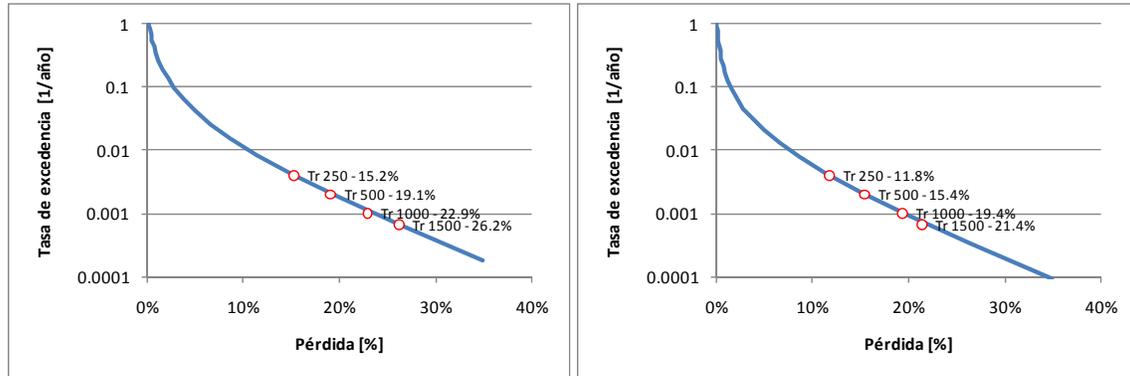


Figura 5-3

Resultados análisis

(Izquierda: Curva de excedencia de pérdidas estado actual, Derecha: Curva de excedencia de pérdidas estado reforzado)

Tabla 5-3

Resultados análisis beneficio-costo

Estado	E(L)	Var(L)
Actual	326	4,444
Reforzado	172	2,244
Relación beneficio-costo		
R	501	
E(Q)	0.31	
Pr(Q>1)	1.0%	

Del análisis realizado para el portafolio de escuelas a nivel nacional, se obtiene un valor esperado de la relación beneficio-costo, $E(Q)$ de 0.31, mientras que la probabilidad que la relación sea superior a la unidad es del 1%. Esto quiere decir que, dadas las características actuales de las construcciones, así como el costo asociado a su rehabilitación para llevarlas a un estado de seguridad aceptable, la probabilidad de obtener una relación beneficio-costo favorable es muy baja, visto desde la perspectiva económica únicamente.

6 Conclusiones y Recomendaciones

El análisis mediante relaciones beneficio-costo exige la definición de una serie de elementos complementarios, incluyendo el análisis integral de beneficios y el análisis de relaciones costo de rehabilitación contra disminución en la vulnerabilidad.

Para un análisis integral de los eventuales beneficios que se obtienen con una intervención o rehabilitación estructural deben considerarse las siguientes pérdidas esperadas, el cual debe incluir todos los componentes proyectados en el tiempo:

a) Directas:

- Estructura
- Acabados
- Contenidos
- Humanas

b) Indirectas:

- Lucro cesante o interrupción del funcionamiento
- Costos de mantenimiento
- Efectos sociales indirectos
- Efectos ambientales
- Costos de oportunidad y desarrollo

Sin embargo debe considerar que no todas las pérdidas o impactos se miden en términos económicos. Por ejemplo la pérdida de vidas humanas o los impactos sociales indirectos, tales como los asociados a una eventual interrupción en el servicio educativo, no son fácilmente cuantificables en estos términos, por lo cual no serían en general aditivos a los demás, sino complementarios.

Otro aspecto relevante para el análisis beneficio-costo consiste en establecer funciones adecuadas entre los costos de una eventual rehabilitación y la disminución en la vulnerabilidad representada por la reducción en pérdidas esperadas para la situación. Dicha relación se plantea normalmente a nivel de un estado determinado como por ejemplo cual sería el costo de llevar a una estructura, vulnerable, hasta un nivel de seguridad compatible con la normativa vigente y definir así el nivel asociado al caso rehabilitado, el que corresponde al nivel de seguridad de la normativa.

En la mayoría de las situaciones la relación entre costo de rehabilitación y reducción de vulnerabilidad depende de cada una de las edificaciones a intervenir, por lo cual, no resulta fácil plantear modelos generalizados sobre esta relación. Se recomienda en general consultar especialistas en la materia para lograr una relación balanceada y ajustada a la realidad.

Se pueden plantear modelos indicativos que permitan realizar análisis preliminares basados por ejemplo en el costo por metro cuadrado requerido para disminuir porcentualmente la vulnerabilidad.

Según esta relación se podría realizar varios análisis para diferentes niveles de seguridad (opciones de rehabilitación) para obtener finalmente relaciones entre el costo de inversión inicial y la relación beneficio-costo correspondiente.

La evaluación de la distribución de probabilidad de la relación beneficio-costos es una buena herramienta para toma de decisiones, mediante el análisis de los beneficios netos de medidas de mitigación de riesgo, tanto para obras de rehabilitación estructural, priorización de inversiones en rehabilitación, toma de decisiones alrededor de renovación de activos, como para planteamientos en códigos de construcción y reforzamiento. Debido a la naturaleza estocástica de los fenómenos naturales, como en el presente análisis, el valor presente neto de pérdidas es una cantidad con un alto nivel de incertidumbre. Por lo tanto, las decisiones no deben ser establecidas solamente con base en valores esperados, por ello, es necesario el uso de metodologías que permitan determinar la probabilidad de tener relaciones beneficio-costos positivas y seleccionar la alternativa con máxima probabilidad.

7 Referencias

- Andreas J. Kappos and E.G. Dimitrakopoulos (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 Volume 45, Number 1 / abril de 2008
- Beraldo, S.; Montolio, D.; Turati, G.; (2009) *Healthy, educated and wealthy: A primer on the impact of public and private welfare expenditures on economic growth*. Journal of Socio-Economics Volume 38, Issue 6, December 2009, Pages 946-956
- Casciati F.; Dusi F.; Manzoni E. (2004) *Seismic risk mitigation for schools and hospitals: some recent italian experiences*. Proceedings of the third European Conference on Structural Control. 3ECSC. 12-15 July 2004. Vienna University of Technologie, Vienna, Austria.
- CEPAL (2003). Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres.
- CERF (2010) CERF around the World » Chile 2010 [On line]. Última actualización 19 de marzo de 2010. Available at:
<<http://ochaonline.un.org/CERFaroundtheWorld/Chile2010/tabid/6600/language/en-US/Default.aspx>> [Last checked 12/04/2010]
- Coca, C. (2006) *Risk management and sustainability in educative sector experience of Bogota, Colombia*. [On line]. Available at:
<<http://www.preventionweb.net/english/professional/trainings-events/educ-materials/v.php?id=7673>> [Last checked 25/04/2010]
- Dasgupta P.; Weale M. (1992) *On measuring the quality of life*. World Development 20(1): 119-131
- ECLAC (2003) *Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters. Economic Commission for Latin America and the Caribbean* [On line] Available at:<http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/4/12774/P12774.xml&xsl=/mexico/tpl-i/p9f.xsl&base=/mexico/tpl/top-bottom.xslt> > [Last Checked 15/07/07]
- EERI (2003) *Preliminary Observations on the October 31-November 1, 2002 Molise, Italy, Earthquake Sequence*. EERI Learning from Earthquakes. Special Earthquake Report — January 2003.[On line]. Available at:
< http://www.eeri.org/lfe/pdf/italy_molise_eeri_report.pdf > [Last checked 06/04/2010]
- EERI (2007) *The Pisco, Peru, Earthquake of August 15, 2007*. EERI Special Earthquake Report October 2007. Learning from Earthquakes [On line]. Available at:
<http://www.eeri.org/lfe/pdf/peru_pisco_eeri_preliminary_reconnaissance.pdf> [Last checked 05/04/2010]
- Ellul, F.; D' Ayala, D. (2003) *The Bingol, Turkey earthquake of the 1st of may 2003*. University of Bath. Architecture and civil engineering department. [On line]. Available at:
< <http://www.istructe.org/eefit/files/BingolFieldReport.pdf>>

- 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
- 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
- Fierro, E.; Perry, C. (2010) *Preliminary Reconnaissance Report: 12 January 2010 Haiti Earthquake*. Reconnaissance and Report partially supported by: The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). [On line] Available at: http://peer.berkeley.edu/publications/haiti_2010/documents/Haiti_Reconnaissance.pdf [Last checked 04/03/2010]
- Fujieda A.; Pandey B.; Ando, S. (2008) *Safe Schools to Reduce Vulnerability of Children to Earthquakes*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China. Paper ID 09-01-0081
- GeoHazards International, Escuela Politécnica Nacional (1995) *Invirtiendo en el futuro de Quito. Proyecto de Seguridad Sísmica de las edificaciones escolares de Quito, Ecuador*. [On line] Available at: <http://www.geohaz.org/news/images/publications/QuitoSchoolProjectSpanish.pdf> [Last checked 02/06/2010]
- 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
- 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
- OCHA (2008 c) *Situation Report 3 – Earthquake in Pakistan 31 Octubre 2008* [On line] Available at: [http://www.reliefweb.int/rw/RWFiles2008.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/MUM-A-7KY3GN-full_report.pdf/\\$File/full_report.pdf](http://www.reliefweb.int/rw/RWFiles2008.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/MUM-A-7KY3GN-full_report.pdf/$File/full_report.pdf) > [Last checked 12/04/2010]

-
- OCHA (2009) Indonesia Earthquake Situation Report No. 14 Date: 13 October 2009 [On line]. Available at:
< <http://ocha-gwapps1.unog.ch/rw/rwb.nsf/db900sid/ACOS-64D3J8?OpenDocument>>
[Last checked 06/03/2010]
- Reliefweb (2002) Afghanistan: Earthquake Appeal No.10/02. 12 abril 2002. [On line]. Available at:
[http://www.reliefweb.int/rw/RWFiles2009.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/EDIS-7WSKEP-full_report.pdf/\\$File/full_report.pdf](http://www.reliefweb.int/rw/RWFiles2009.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/EDIS-7WSKEP-full_report.pdf/$File/full_report.pdf) [Last checked 05/03/2010]
- Secretaría de Educación de Bogotá (2004) “REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL SED.xls” [Libro de Excel]
- Secretaría de Educación de Bogotá (2008) *Plan Sectorial de Educación 2008-2012 Educación de Calidad para una Bogotá Positiva*. [On line]. Available at:
<<http://www.slideshare.net/colsaludcoopnorte/plan-sectorial-educacion-de-calidad-2008-2012>> [Last checked 02/06/2010]
- 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.