

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA BASADA EN SIG PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS DEBIDOS A TERREMOTOS EN EDIFICIOS ESCOLARES DE VENEZUELA

Coronel D. Gustavo

López Oscar A.

Betancourt Nelson

gustavocoroneld@gmail.com

oalsf@yahoo.com

njbetancourt@gmail.com

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Universidad Central de Venezuela (UCV), Ciudad Universitaria, Av. Los Estadios, Los Chaguaramos, Caracas-Venezuela.

Resumen. En este trabajo se presenta el desarrollo de una herramienta computacional integrada sobre un Sistema de Información Geográfica para la evaluación de daños y pérdidas en edificaciones escolares de Venezuela mediante la simulación de escenarios sísmicos a escala regional. Se parte de un inventario de las edificaciones escolares de Venezuela y de una metodología para la estimación de daños basada en curvas de fragilidad sísmica. La herramienta computacional permite estimar daños y pérdidas asociadas a eventos sísmicos particulares para lo cual se programaron algoritmos para la simulación de los escenarios sísmicos basados en relaciones de atenuación de aceptación internacional. Por otro lado permite determinar índices de riesgo basado en mapas de amenaza sísmica. Estos índices son asociados a niveles de riesgo sísmico que facilitan la tarea de priorización. Se presenta la aplicación de esta herramienta a la estimación del nivel de riesgo sísmico de 547 edificios escolares del estado Sucre. Esta herramienta permite apoyar el proceso de planificación y toma de decisiones con fines de prevención y mitigación del riesgo sísmico en Venezuela.

Palabras claves. Riesgo Sísmico, Sistema de Información Geográfica, Evaluación de Daños, Edificios Escolares.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de planes de prevención y mitigación de riesgo sísmico es una tarea que constantemente crece en muchos países del mundo que frecuentemente son afectados por desastres debidos a amenazas naturales o tecnológicas que cobran la vida de personas y

ocasionan grandes pérdidas. Algunas iniciativas internacionales se han dedicado a dar respuesta a esta compleja tarea haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten manejar gran volumen de información espacial, procesar información a partir de bases de datos y representar mediante mapas temáticos la información requerida para la toma de decisiones con fines de prevención y mitigación del riesgo. Por otra parte se han hecho grandes esfuerzos por caracterizar los complejos fenómenos que representan la amenaza y estimar la vulnerabilidad propia de los elementos expuestos. Bajo este enfoque han sido desarrollados el sistema HAZUS [1], ampliamente utilizado para este fin en muchas partes del mundo y las aplicaciones SIG del proyecto RISK-UE [2], entre otros. En Venezuela se han llevado a cabo varias iniciativas en el tema del riesgo sísmico entre las cuales se encuentra el proyecto JICA-FUNVISIS y el reciente proyecto de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas [3], entre otros. El presente trabajo forma parte del proyecto “Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela” [4] en el que participan IMME, FUNVISIS y FEDE, bajo el financiamiento del FONACIT-MPPCT el cual tiene entre otros objetivos, desarrollar una herramienta que permita la priorización de edificios escolares con fines de prevención y mitigación del riesgo sísmico en Venezuela.

2. INVENTARIO DE EDIFICIOS ESCOLARES

Se parte de un inventario parcial de las edificaciones escolares de Venezuela, atendiendo a las características estructurales básicas que condicionan su desempeño sísmico. Entre los años 2007 y 2008 se llevo a cabo el Registro Nacional Escolar [5] a través del Ministerio del Poder Popular para la Educación, en el cual se incorporaron una serie de preguntas para conocer el número de edificaciones por plantel, el número de pisos, el año de construcción, la ubicación geográfica y la tipología constructiva de cada edificio. Se ha logrado obtener hasta la fecha información de 16.921 edificios escolares de 28.878 planteles registrados. Esta información ha sido incorporada al inventario de edificaciones escolares complementada con una base de datos de 18.685 planteles educativos ubicados mediante coordenadas georreferenciadas la cual fue desarrollada inicialmente por FEDE. En la Figura 1 se muestra la localización de los planteles escolares sobre el mapa de zonificación sísmica del país.

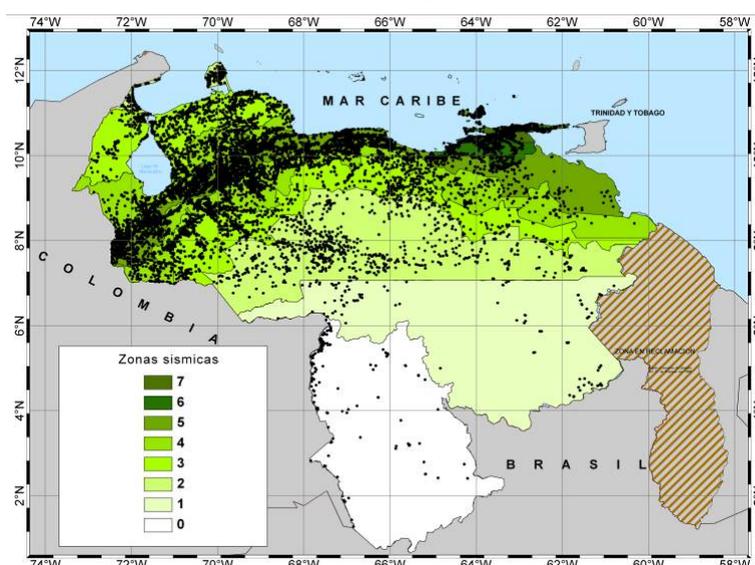


Figura 1 –Ubicación de edificios escolares sobre el mapa de zonificación sísmica de Venezuela.

En la Tabla 1, se muestra la distribución de edificios por año de construcción, se aprecia que 45,9% de los 16.921 edificios fueron construidos antes de 1982, con requerimientos sismorresistente bastante menos exigentes que los incluidos en las normas de 1982 COVENIN 1756-82 y 1998 y 2001 COVENIN 1756-01 [6].

Tabla 1. Cantidad de edificios escolares por periodo constructivo (en total 16.921 edificios).

Año de Construcción	Pre 1939	1940-1947	1948-1955	1955-1967	1967-1982	1983-1998	Post 1998
% de edificios	1,5	1,8	3,7	14,2	24,8	27,7	26,4

3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

La herramienta está siendo desarrollada en forma integrada dentro de la plataforma del SIG conocido como *ArcGIS 9.2* [7] mediante la programación en el entorno del *Visual Basic Application* propio del sistema. En la Figura 2, puede verse en forma general las fases y procedimientos de la herramienta computacional.

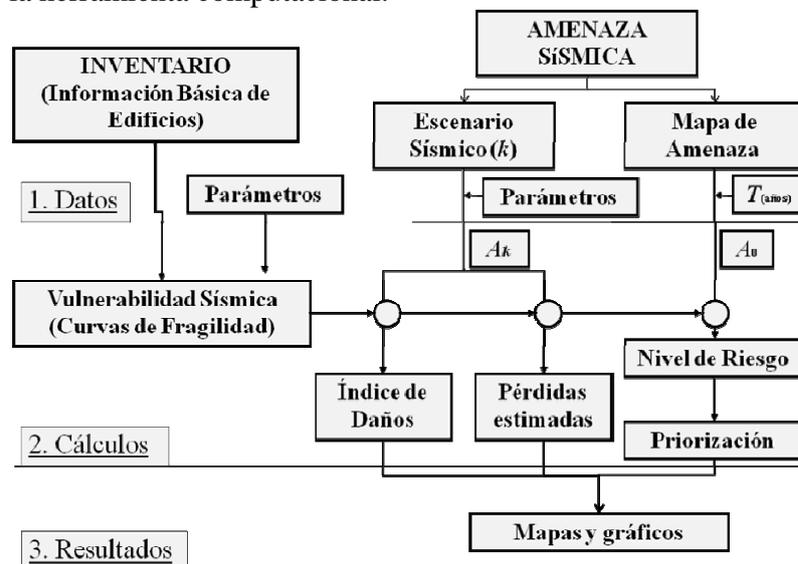


Figura 2 – Esquema general de la herramienta computacional desarrollada.

Una primera fase de entrada de datos o pre-proceso está fundamentada en una interfaz gráfica compuesta de un menú principal (Fig. 3) y de ventanas de datos dentro del sistema mediante las cuales se puede manejar el inventario de edificios, seleccionar y modificar los parámetros propios de la metodología y definir el escenario sísmico. Una segunda fase de cálculos o proceso en la cual se determinan las curvas de fragilidad, y a partir de la aceleración en cada escuela se estiman las probabilidades de ocurrencia de cada estado de daño. Posteriormente de acuerdo al escenario definido se determinan índices de daño, pérdidas o niveles de riesgo. Finalmente una tercera fase de resultados o post-proceso en la cual se representan los resultados obtenidos a través de mapas temáticos y gráficos.

Para caracterizar la vulnerabilidad sísmica de los edificios escolares se ha implementado en la herramienta una metodología basada en curvas de fragilidad [8], la cual permite determinar las probabilidades de excedencia de cada estado de daño límite conocida la aceleración máxima del

terreno (A), la cual puede ser; i) la aceleración (A_k) estimada en cada escuela para cada evento sísmico (k) definido de forma determinística, a partir de la cual se estiman daños y pérdidas o; ii) la aceleración (A_o) correspondiente a la ubicación de cada escuela determinada a partir de un mapa de zonificación de determinada probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno (T).

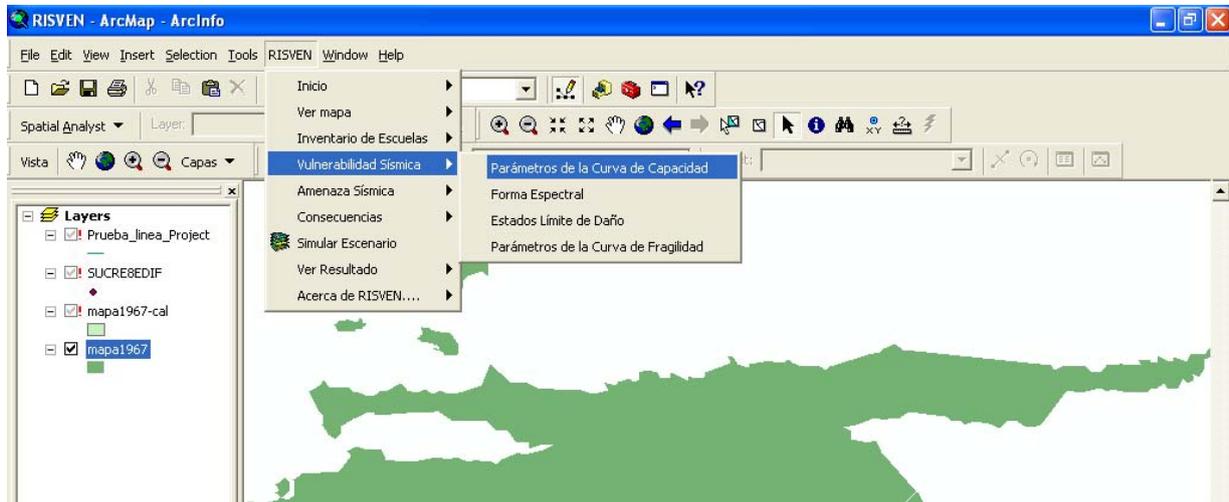


Figura 3 – Entorno de trabajo y menú principal de la herramienta computacional.

3.1 Índice y niveles de riesgo sísmico

Se utilizan cuatro estados de daños (i) denominados: (1) ligero, (2) moderado, (3) severo y (4) completo. Para definir la curva de fragilidad se utiliza una distribución lognormal. Las probabilidades de ocurrencia (P_i) de cada estado de daño (i) prefijado se obtienen de las curvas de fragilidad dado un valor de aceleración (A_o). El índice de riesgo (I_r) se obtiene ponderando (Ec. 1) las probabilidades de ocurrencia con los Factores de daño (D_i) de la Tabla 2.a, definidos para cada estado de daño en [10] y [11].

$$I_r = \sum_{i=0}^4 P_i \cdot D_i \quad (1)$$

Tabla 2. Factor de daño (D_i) por estado de daño y Niveles de riesgo por rango de índices de riesgo (I_r).

a)			b)	
i	Estado de Daño	D_i (%)	Nivel de Riesgo	I_r (%)
0	Sin daño	0	Muy bajo	< 2,5
1	Ligero	5	Bajo	2,5 – 12,5
2	Moderado	20	Moderado	12,5 – 30,0
3	Severo	65	Alto	30,0 – 75,0
4	Completo	100	Muy alto	> 75,0

Finalmente en la Tabla 2.b se definen cuatro niveles de riesgo asociados a rangos de valores de I_r , los cuales permiten representar de forma discreta el resultado y facilita la interpretación de los mismos mediante mapas y gráficos.

4. APLICACIÓN A ESCUELAS DEL ESTADO SUCRE

En la Figura 4, se presenta como ejemplo de aplicación los niveles de riesgo estimados para un grupo de 42 edificios escolares, ubicados en el estado Sucre en las zonas sísmicas 6 y 7. Se indica el número de pisos y la norma utilizada para su diseño. Se estima el nivel de riesgo para tres periodos de retorno (T) de 50, 475 y 1000 años, asociados a valores de A_0 en la zona 7 de 0,20g, 0,40g y 0,50g y en la zona 6 de 0,18g, 0,35g y 0,44g respectivamente.

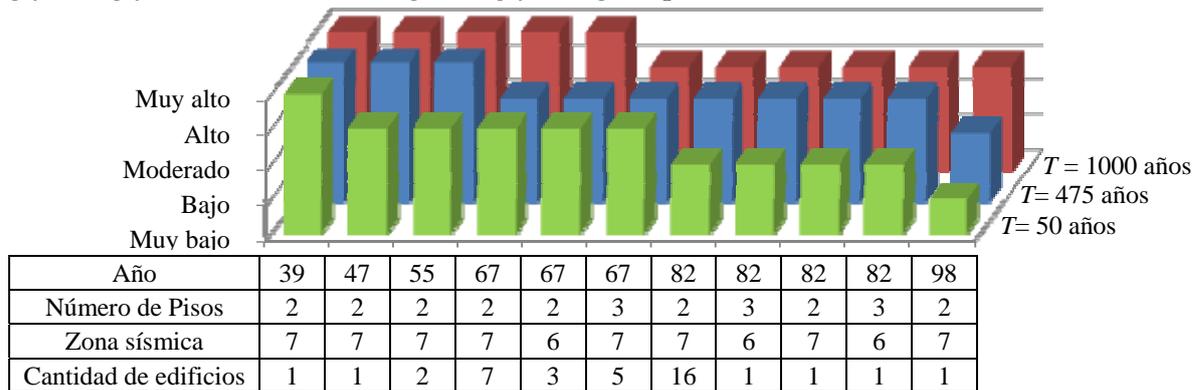


Figura 4 – Nivel de riesgo para 42 edificios escolares del estado Sucre, para diferentes periodos de retorno.

En la Figura 5 se muestra el mapa que representa el nivel de riesgo estimado para 547 edificaciones escolares del estado sucre para un periodo de retorno de 475 años. El 56% de estas edificaciones fueron construidas antes de 1982 con normas menos exigentes. Se encuentra que el 53% de ellas presentan un nivel de riesgo Muy alto para el sismo de diseño ($T=475$ años).

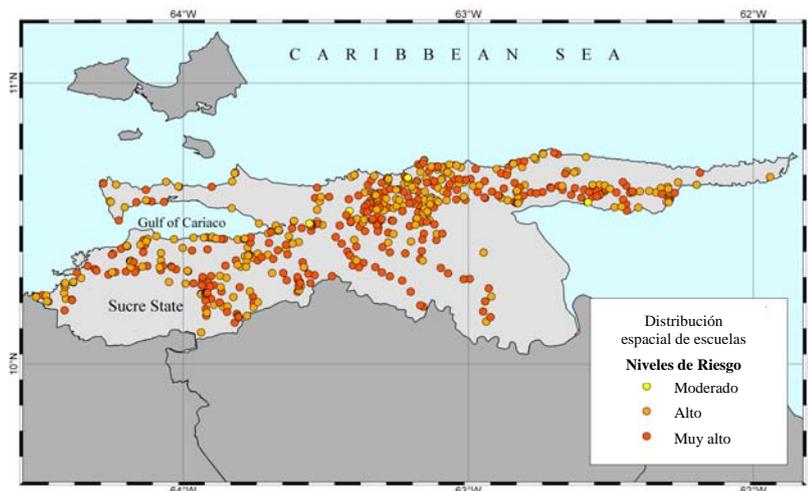


Figura 5 – Mapa de nivel de riesgo sísmico estimado en 547 edificaciones escolares del estado Sucre para $T=475$ años.

5. CONCLUSIONES PRELIMINARES

El desarrollo de la tecnología de SIG facilita la generación de herramientas computacionales basadas en la implementación de metodologías para estimar daños, pérdidas y niveles de riesgo

sísmico. Se pudo observar la utilidad de la herramienta desarrollada para la priorización en la intervención de edificios escolares en Venezuela. Se aplicó a 547 edificios escolares de los cuales se encontró que un 53% de ellos presentan un nivel de riesgo muy alto o un riesgo relativamente mayor al resto lo cual las hace prioritarias a una futura intervención. La herramienta debe seguir siendo calibrada a fin de obtener a futuro resultados más precisos.

Agradecimientos

Esta investigación se desarrolló en el marco del proyecto “*Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela*” en el cual participan IMME, FUNVISIS y FEDE con financiamiento del FONACIT (proyecto N° 2005000188). Los autores desean agradecer a Y. Azuaje por la colaboración prestada en el procesamiento de las bases de datos y al CIGIR por el cofinanciamiento de cursos de programación en VBA de ArcGIS.

REFERENCIAS

- [1].FEMA-NIBS. *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4, Advance Engineering Building Module, Technical and User's Manual*. Federal Emergency Management Agency (FEMA) and National Institute of Building Sciences (NIBS). Washington D.C., 2009.
- [2].RISK-UE. *The European Risk-UE Project: An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios. (2001-2004)*. www.risk-ue.net/, 2004.
- [3]. FUNVISIS. *Proyecto de Microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto (FONACIT 200400738)*. Informe Técnico Final. Caracas, 2009.
- [4].López O. A., A. Marinilli, R. Bonilla, N. Fernández, J. Domínguez, T. Baloa, G. Coronel D., S. Safina y R. Vielma. Evaluación sísmica y adecuación de edificios escolares en Venezuela. *Revista de la Fac. Ing. UCV*, 2010 (A ser publicado).
- [5].SINACOES. Sistema Nacional de Control de Estudio. Ministerio del Poder Popular para la Educación. <http://planteles.me.gob.ve/>, 2008.
- [6].COVENIN. *Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756:01*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela, 2001.
- [7].ESRI. *Sistema de Información Geográfica, ArcGIS 9.2*, versión académica. Environmental Systems Research Institute (ESRI). <http://www.esri.com/>.
- [8].Coronel G., y López O. A. Curvas de fragilidad sísmica para la estimación de daños y pérdidas en edificios escolares de Venezuela. *X International Congress on Numerical Methods in Engineering and Applied Sciences (CIMENICS)*. Mérida, Venezuela, 2010.
- [9].Hwang H., and Lin, Y. K. Seismic Loss Assessment of Memphis City School Buildings. *Proceedings of The Seventh U. S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston, 2002.
- [10].Blondet, M., Muñoz, A., Velásquez, J. y León, H. Estimación de pérdidas sísmicas en edificaciones educativas Peruanas. *IX Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Concepción, Chile, 2005.