

Sistema experto para el apoyo en la toma de decisiones antes, durante y después de la ocurrencia de eventos sísmicos

Francklin Miguel Rivas-Pérez, Astrid Coromoto Dos Santos-Da Silva,
Víctor Manuel Pardo Pizzoferrato, Francklin Iván Rivas-Echeverría

Autor para correspondencia: francklin190@hotmail.com

Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida, Venezuela. Laboratorio de Sistemas Inteligentes y Colegio "Rafael Antonio Uzcátegui"

Manuscrito recibido el 9 de mayo de 2014. Aprobado tras
revisión el 27 de agosto de 2014

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un sistema experto para ayudar en la selección de las medidas que se deben tomar antes, durante y después de un evento sísmico. Este sistema experto es implementado en un sitio web y permite que los usuarios presenten su propia situación personal y familiar para el sistema, los posibles lugares donde se podrían encontrar durante el evento sísmico y recibir la información apropiada acerca de las acciones, medidas de seguridad y consideraciones de infraestructura que deben tomarse en cuenta. Para la construcción del sistema experto, se utilizó la información suministrada por un conjunto de expertos con más de 25 años de experiencia en diversas áreas como la ingeniería, seguridad, gestión de riesgos, geofísica, medicina, entre otros.

Palabras clave: Inteligencia artificial, sistema experto, eventos sísmicos, prevención, gestión de riesgos.

ABSTRACT

In this work it's presented the design and construction of an expert system for helping in the selection of the action that should be taken before, during and after a seismic event occur. It was built in a web site environment and the users can introduce their own personal and familiar situation, places where they could be during the seismic event and receive the appropriate information concerning the actions, security instructions and infrastructure considerations that should be taken. For creating this expert system it was used the information given by a set of experts with more than 25 years of experience in areas as engineering, risk management, geophysics, medicine, among others.

Keywords: Artificial intelligence, expert system, seismic events, prevention, risk management.

INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra es un planeta dinámico, es decir, está en constante movimiento. El hombre ha estado interesado en estudiar no sólo los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, sino también se ha preocupado por estudiar las erupciones volcánicas y los movimientos sísmicos (Syrmakizis & Mikroudiz, 1997) que han dado lugar a grandes modificaciones geográficas, y ha surgido conjuntamente la necesidad de desarrollar equipos e instrumentos que ayuden a detectar o avisar las causas de estos fenómenos (Andalib, Zare y Atry, 2009).

La Tierra está formada por un conjunto de placas llamadas placas tectónicas, que durante millones de años se han desplazado unas con respecto a las otras, acomodándose de tal manera, que el Planeta ha tomado la forma que tiene y ha dado origen a los continentes y relieves geográficos existentes. El continente americano está formado por dos placas continentales: la Norteamericana y la Suramericana. Venezuela está ubicada entre los límites de las placas Suramericana, Pacífica y sub placa del Caribe (Funvisis, 2002), por lo cual, el territorio está atravesado por un sistema de fallas que se prolongan longitudinalmente por cientos de kilómetros de distancia y que corresponden al sistema de fallas de Boconó, falla de Oca-Ancón, falla de San Sebastián y falla de El Pilar, principalmente, las cuales dividen las montañas cercanas al mar Caribe y cortan la cordillera de Los Andes Venezolanos.

Una de las fallas activas más importantes de la cordillera andina es la falla de Boconó (Venciclopedía, 2012), que se localiza al occidente de Venezuela, atravesando los estados de Táchira, Mérida, Trujillo y Lara, para culminar en las costas de la población de Morón, con una longitud aproximada de 420 kilómetros en territorio venezolano. En la figura 1, puede observarse las zonas sísmicas en Venezuela. Este sistema de fallas de Boconó es la que dirige al río Chama en gran parte de su cauce en el estado Mérida.

Considerando que la ciudad de Mérida se encuentra en una zona de actividad sísmica constante, es de gran importancia para la población tener conocimiento sobre las medidas que se deben tomar ante la posible ocurrencia de eventos sísmicos de diversas magnitudes; para ello se propone el desarrollo de un sistema inteligente (Aguilar y Rivas, 2001; Bravo et al., 2012) basado en el conocimiento de expertos (Mittal y Dym, 1985; Rivas-Pérez, Dos Santos, Pardo y Rivas-Echeverría, 2013a; Rivas-Pérez, Dos Santos, Pardo y Rivas-Echeverría, 2013b) tanto en el área sísmica como en la prevención de desastres, para adiestrar a la población en las medidas básicas a realizar. En la figura 2 se puede observar las áreas donde ocurrieron los peores terremotos en Venezuela durante el último siglo.

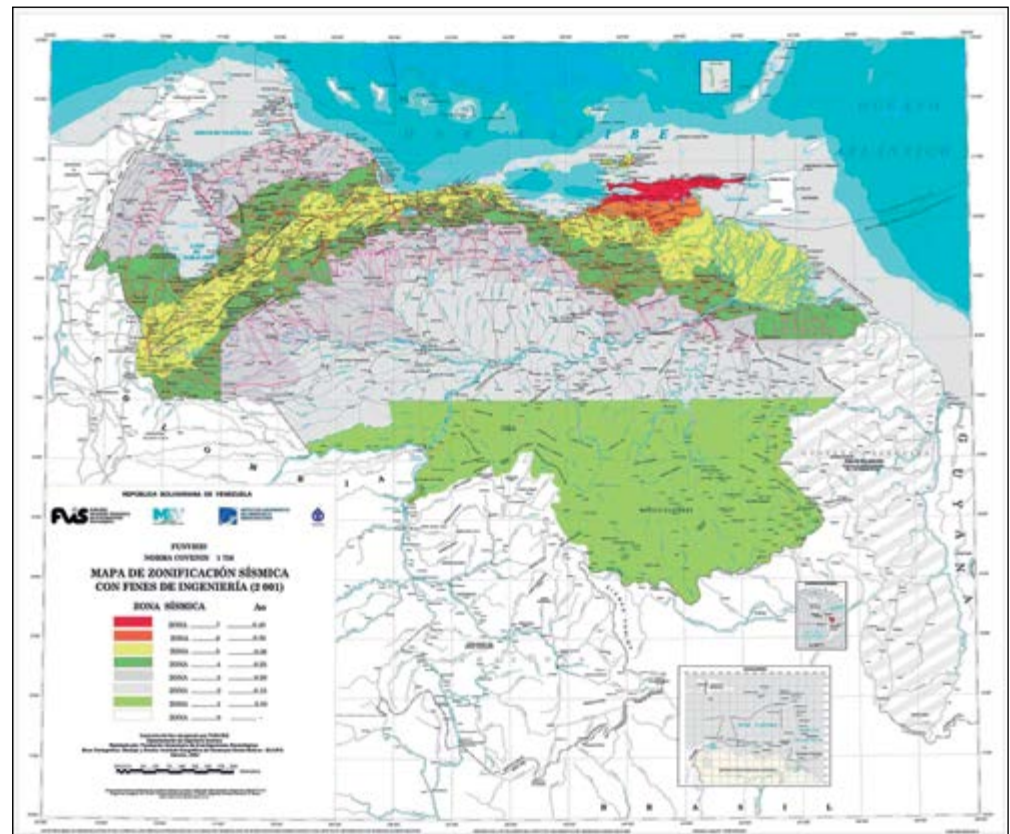


Figura 1. Mapa de zonas sísmicas en Venezuela

Fuente: Funvisis (2002)

En este artículo se presenta una investigación que se basa en el desarrollo e implantación de un sistema experto que pueda utilizarse como apoyo en situaciones de emergencia ante la ocurrencia de un evento sísmico en el estado Mérida, Venezuela.

Este trabajo está enmarcado en la aplicación de una de las técnicas que engloba la inteligencia artificial, como lo son los sistemas expertos (Akerkar y Sajja, 2009; Durkin, 1994; Giarratano y Riley, 2004; Jackson, 1998; Hernández, Mousalli y Rivas, 2009; Rivas-Echeverría et al., 2006), ampliamente utilizados en diversas disciplinas científicas y que se han reportado como excelentes herramientas en la difusión de información y en la formación de personal para actuar en determinadas situaciones.

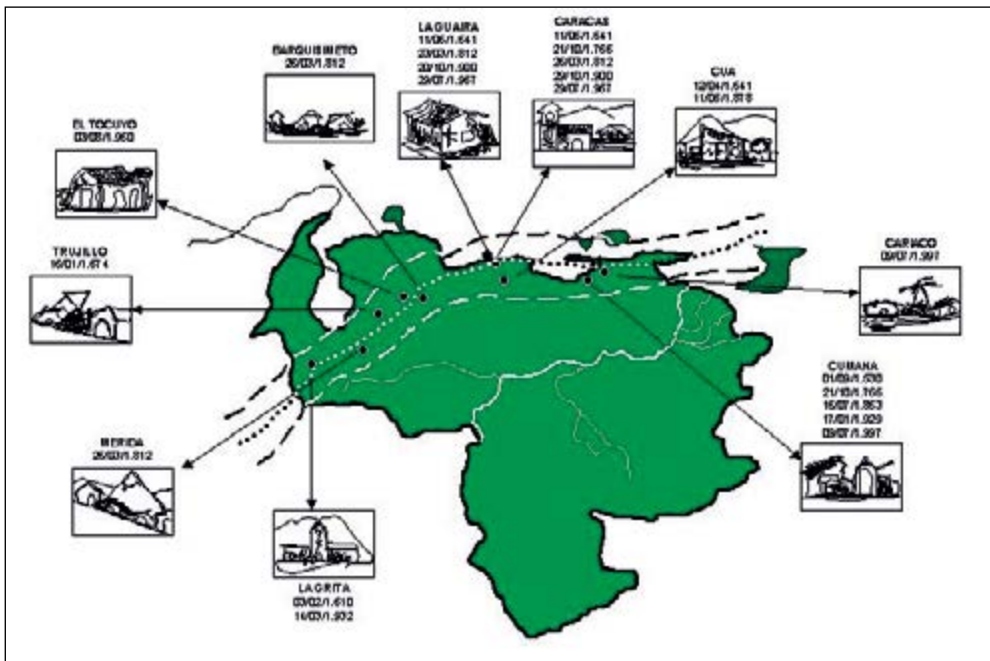


Figura 2. Mapa de historia sísmica en Venezuela
Fuente: El planeta azul (2011)

Algunos de los trabajos recientes realizados usando la inteligencia artificial aplicada en el área de eventos sísmicos en Latinoamérica son los siguientes:

Guada-Barráez (2000) elaboró un trabajo titulado: “Detector de eventos sísmicos en tiempo real utilizando redes neuronales”. Se diseñó un sistema automático de datos sísmicos en tiempo real y se implantó en la Red Sismológica de los Andes Venezolanos operada por el Laboratorio de Geofísica de la Universidad de los Andes. El sistema funciona en un PC que tiene incorporado una tarjeta de adquisición de datos y un programa controlador, ambos especialmente diseñados para la detección de eventos sísmicos. A fin de disminuir la detección de eventos falsos, se utilizan redes neuronales para el reconocimiento de patrones sísmicos en el dominio de la frecuencia, como un paso posterior al algoritmo de filtrado en el dominio del tiempo.

Cortez, Vega y Cayampe (2009) realizaron una investigación referente titulada: “Evaluación de daños en viviendas causados por sismos mediante redes neuronales”. Se propuso un modelo para la evaluación de las viviendas que han sido dañadas por sismos, que sirva como instrumento para el apoyo en la toma de decisiones para el personal encargado de la evaluación de las viviendas afectadas. Para el aprendizaje de la red neuronal y validación, se utilizó la información del sismo ocurrido en el año 2007, en el departamento de Ica, Lima-Perú. En Carreño, Cardona y Campos (2003) se presenta un trabajo en el cual, a pesar de llamarlo sistema experto, realmente están presentando un sistema inteligente híbrido basado en redes neuronales y lógica difusa, en el cual se busca brindar apoyo en la valoración de daños en edificaciones afectadas por sismos y en la identificación de posibles acciones de protección.

En Ramírez, Castañón, Plaza y Benito (2008) se presenta un proyecto administrado por el Consejo de Seguridad Nuclear de España, en el cual se busca el desarrollo de un sistema experto para apoyo en la evaluación de la peligrosidad sísmica en la península Ibérica.

El objetivo principal de este trabajo es proponer un sistema experto para determinar las acciones a tomarse antes, durante y después de la ocurrencia de eventos sísmicos, en ayuda a la población merideña y venezolana en general.

La implantación de un sistema experto, como herramienta de formación y difusión en la prevención de desastres, como en el caso de la ocurrencia de un evento sísmico, es necesaria, debido a que brindaría una ayuda importante a la población en general, orientándola en cómo responder o actuar ante la ocurrencia de un evento sísmico (Berrais, 2005; Zaghaw, Subramani y Scawthorn, 1993). Se puede resaltar también, que dicho sistema es bastante novedoso, ya que basa su instalación en la tecnología y el conocimiento que utiliza, y que proviene de expertos en el tema de movimientos de la Tierra y de expertos en la prevención de desastres.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se realiza la búsqueda, análisis e interpretación de datos e información suministrada por otros investigadores a través de fuentes documentales tanto impresas como electrónicas y fuentes vivas, dado que se buscará recopilar la experticia manejada por personal especializado tanto en el área sísmica como en la prevención de desastres. Pero tiene la variante de que incluye la entrevista a expertos en el área para edificar el conocimiento requerido para el desarrollo del sistema.

Se revisará y recopilará información existente sobre la ocurrencia de eventos sísmicos y las medidas apropiadas para la prevención de accidentes durante dichos eventos y posterior a ellos (Baranov, Digas, Ermolieva y Rozenberg, 2002). Igualmente, se indagará sobre las características de los diferentes tipos de eventos sísmicos y sus niveles de criticidad. Por último, se entrevistará a expertos en el área sísmica y de prevención de desastres para proporcionar la información que será incorporada en el sistema a desarrollar.

Un sistema experto (SE) es una técnica de la inteligencia artificial que soluciona problemas complicados o específicos que de otra manera exigirían ampliamente la pericia humana. Para lograr esto, se simula el proceso de razonamiento humano mediante la aplicación de conocimientos e inferencia (Aguilar y Rivas, 2001).

Los sistemas basados en conocimientos recopilan la información existente sobre algún dominio específico; si dicha información procede de algún experto humano en el área, entonces, se habla de un sistema experto.

El proceso de adquisición del conocimiento y estructurarlo adecuadamente se conoce con el nombre de Ingeniería del Conocimiento.

Las capacidades de los SE relacionadas a la compilación de la información que posee un experto humano relacionada a algún área en particular y dado que ellos pudieran reemplazar al experto humano en la toma de decisiones en caso de ausencia del experto, han traído mucho interés en diversas áreas (Hernández, Mousalli y Rivas, 2009; Matamoros et al., 2005), incluyendo los ambientes industriales, en los cuales el conocimiento altamente calificado puede ser requerido en cualquier momento.

La metodología utilizada para el diseño y desarrollo del sistema experto (Aguilar y Rivas, 2001; Rivas, Colina y Rivas, 1998) surge de la integración de enfoques, técnicas y otras metodologías provenientes de diversas áreas vinculadas con los sistemas basados en conocimiento e Ingeniería de Software. La ventaja del método planteado es que considera la naturaleza de herramienta computacional de los sistemas basados en conocimiento. La estructuración en etapas, fases y pasos ayuda al proceso de análisis de requerimientos y diseño conceptual. La descripción de la metodología propuesta se presenta a continuación:

Etapas 1: Análisis y descripción del problema

Fase 1.1.- Descripción general del problema:

- 1.1.1.- Familiarización con el proceso sobre el cual se desea realizar el sistema experto.
- 1.1.2.- Familiarización con los ambientes computacionales donde se encuentran los datos a ser utilizados.
- 1.1.3.- Definición detallada del problema que motiva el desarrollo del sistema experto.

Fase 1.2.- Análisis de factibilidad para el desarrollo del sistema experto: en esta fase, se estudia si el sistema cumple con las condiciones para realizar un sistema experto tomando en cuenta los siguientes criterios:

- 1.2.1.- La tarea a desarrollar requiere del conocimiento manejado por un experto.
- 1.2.2.- Disponibilidad del experto o equipo de expertos.
- 1.2.3.- La experticia es requerida en varios lugares simultáneamente.
- 1.2.4.- El sistema requiere del manejo de incertidumbre y aplicación de juicios personales.
- 1.2.5.- Existe un grupo potencial de usuarios.
- 1.2.6.- Se dispone del tiempo para desarrollar el sistema experto.

Fase 1.3.- Análisis de datos: verificación de la ubicación y forma de representación de los datos a ser manejados por el sistema experto, considerando el tipo de base de datos, plataforma computacional.

Fase 1.4.- Elección de la fuente de conocimiento: es necesario contar con un experto o un grupo de ellos que estén dispuestos a colaborar con el proyecto. Los expertos deben ser reconocidos como tal por el grupo de usuarios.

Etapas 2: Especificación de requerimientos

Fase 2.1.- Determinación de los requerimientos de información: se especifica la información que debe producir el sistema experto y sus atributos, tales como el formato de presentación, la frecuencia de salida, sus usuarios directos y su interconexión con otros programas.

Fase 2.2.- Determinación de los requerimientos funcionales: consiste en la definición de las funciones generales que debe satisfacer el sistema experto.

Fase 2.3.- Determinación de los requerimientos de entrada de datos:

2.3.1.- Selección de las posibles entradas al sistema experto.

2.3.2.- Identificación de las fuentes de datos.

2.3.3.- Especificación de los procesos de adquisición de datos.

2.3.4.- Especificación de los procesos de generación de parámetros.

2.3.5.- Caracterización de la interoperabilidad entre las bases de datos que se requieren en la implantación.

Fase 2.4.- Definición de los requerimientos de hardware y software para la implantación del sistema experto:

2.4.1.- Especificación de la plataforma de hardware que se utilizará para el desarrollo y operación del sistema experto.

2.4.2.- Determinación, análisis y selección de las herramientas de softwares disponibles en el mercado para el desarrollo de sistemas expertos.

Fase 2.5.- Estimación del perfil de los usuarios finales del sistema experto.

Fase 2.6.- Verificación de los requerimientos con el usuario.

Etapas 3: Análisis de costos, tiempo y recursos

Fase 3.1.- Elaboración del plan de actividades de desarrollo e implantación.

Fase 3.2.- Estimación del tiempo requerido para el desarrollo del sistema experto.

Fase 3.3.- Estimación de los recursos computacionales (hardware-software) requeridos para el desarrollo del sistema experto.

Fase 3.4.- Estimación de los costos de desarrollo.

Etapas 4: Ingeniería del Conocimiento

Fase 4.1.- Adquisición del conocimiento: es la parte más importante de un sistema experto, ya que es donde el ingeniero del conocimiento interactúa con el experto para obtener la información sobre la solución de los problemas, así como las estrategias utilizadas para la obtención de cada solución.

Fase 4.2.- Estructuración del conocimiento: en esta fase, el ingeniero del conocimiento debe llevar a una base de conocimiento la información proporcionada por el experto. El conocimiento puede ser de carácter superficial o profundo dependiendo de la estructura interna y de las interacciones entre sus componentes.

Etapas 5: Diseño preliminar del sistema experto

Fase 5.1.- Diseño preliminar de la arquitectura del sistema experto.

Fase 5.2.- Selección de la herramienta computacional de acuerdo a los requerimientos surgidos en la etapa de Ingeniería del Conocimiento.

Fase 5.3.- Diseño preliminar de procesos de adquisición y almacenamiento de datos.

Fase 5.4.- Diseño preliminar de procesos de interconexión:

5.4.1.- Integración interna.

5.4.2.- Integración externa.

5.4.2.- Selección de software auxiliar.

Fase 5.5.- Verificación del diseño preliminar del sistema experto.

Etapas 6: Desarrollo e implantación del sistema experto

Fase 6.1.- Construcción del prototipo.

Fase 6.2.- Validación del prototipo.

Fase 6.3.- Construcción del modelo operacional.

Fase 6.4.- Prueba y depuración: consiste en plantearle situaciones al sistema experto y al experto humano y verificar si ambos generan la misma solución, además de seguir las mismas estrategias. En caso de existir discordancia entre el experto humano y el sistema experto, se procede a la revisión y modificación de la base de conocimiento.

Fase 6.5.- Mantenimiento y actualización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema desarrollado es una aplicación basada en web que permite su uso por cualquier persona que quiera conocer las acciones a realizar en las diferentes etapas asociadas con las ocurrencias de eventos sísmicos (antes, durante y después).

El sistema está organizado en tres partes (ver figura 3):

1. Información general: esta parte del sistema ofrece información sobre las definiciones clave asociadas con los terremotos: funciones, escalas de medición, los eventos sísmicos, galerías de fotos, entre otros.

2. Panel asesor: proporciona una breve descripción curricular de los expertos consultados en cada una de las áreas en las que se trabaja.

3. Determinación de las acciones a tomar en caso de un evento sísmico: este es el centro del sistema experto desarrollado. La idea principal es, dada la situación particular presentada por el usuario, que el sistema proporcione las acciones que se deben tomar antes, durante y después del evento sísmico, de acuerdo con las situaciones seleccionadas por el usuario. Esta parte, por ser la más importante del sistema, se presenta en detalle a continuación.

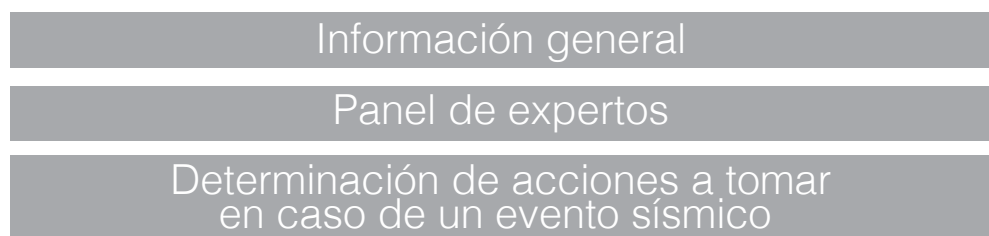


Figura 3. Organización del sistema
Fuente: Elaboración propia (2014)

De acuerdo con la información recolectada de los expertos, en la opción de "Determinación de acciones para los eventos sísmicos", el usuario debe seleccionar el lugar en el que se quiere evaluar las acciones. Estos lugares pueden ser:

1. Casa
2. Escuela o lugar de trabajo
3. Sitios concurridos
4. En el automóvil
5. En la calle
6. Edificios

El usuario debe seleccionar sólo una de estas opciones en cada sesión de trabajo con el sistema. Posteriormente, si se selecciona las opciones 1, 2, 3 y 6 (casa, escuela o lugar de trabajo, lugares concurridos por la comunidad o edificios), deben ser consultados si es:

- Una casa o ubicación por debajo de la segunda planta de un edificio.
- Localización en un piso superior a la segunda planta de un edificio.

Y, finalmente, se debe seleccionar cuál de las siguientes circunstancias desea que sea evaluada:

- Presencia de niños y bebés
- Personas con discapacidad
- Ancianos

- Personas con medicación continua
- Animales

En este caso, se puede seleccionar una o más de estas opciones.

Una vez realizada la selección de los elementos a tener en cuenta en caso de la ocurrencia de un evento sísmico, el sistema genera una página que muestra las acciones que se deben tomar antes, durante y después de los eventos sísmicos. Se puede observar en las figuras 4, 5 y 6.

En cada una de las fases (antes, durante y después) el sistema proporciona la siguiente información que se ha generado con el conocimiento obtenido a partir del grupo de expertos:

- Acciones generales
- Infraestructura
- Edificios
- Servicios
- Carretera
- Salud
- Seguridad

Incluye enlaces a figuras, fotos, videos, sonidos o páginas web.

El sistema experto desarrollado también cuenta con un “Plan recomendado”, que indica las acciones que debe realizar el usuario para tomar medidas en caso de la ocurrencia de un evento sísmico. Este plan se adapta a las características particulares de los usuarios y sus familias.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado y desarrollado un sistema experto para dictar las medidas que deben tomarse antes, durante y después de un evento sísmico que podría suceder en cualquier momento. El uso de expertos con alta experiencia (más de 25 años en promedio) en diversas áreas relacionadas con eventos sísmicos como: geofísica, ingenieros de infraestructura (electricidad, estructura, servicios, caminos), médicos, bomberos, equipos de rescate, entre otros, brinda un conocimiento importante que debe difundirse a la comunidad con el fin que puedan estar al tanto de las acciones que se deben tomar en caso de que pudiera producirse un evento sísmico.



Figura 4. Página de circunstancias particulares
Fuente: Sistema experto para toma de decisiones ante sismos (2013)

Figura 5. Página de circunstancias particulares
Fuente: Sistema experto para toma de decisiones ante sismos (2013)

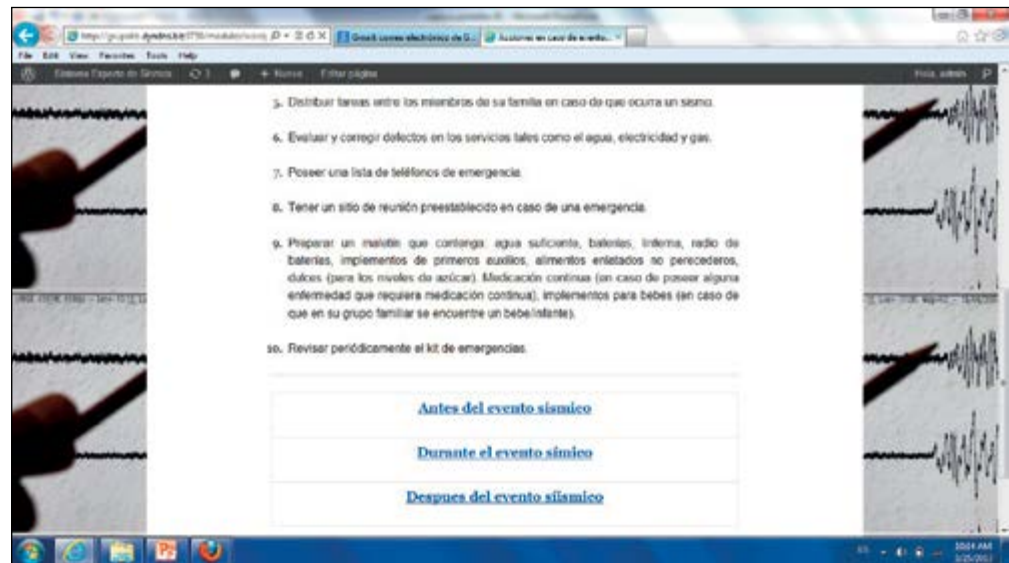
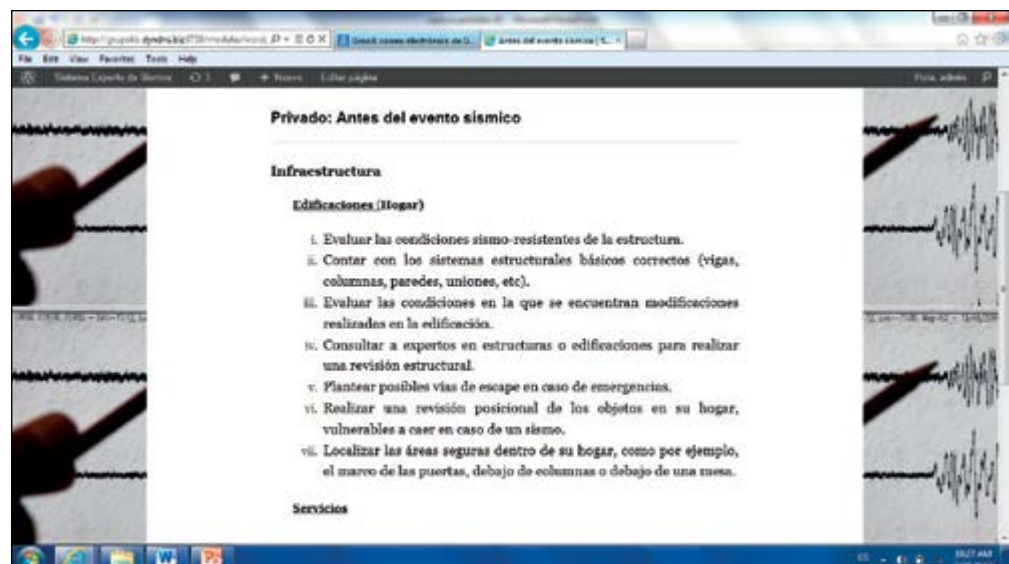


Figura 6. Página de circunstancias particulares
Fuente: Sistema experto para toma de decisiones ante sismos (2013)



El uso de un diseño basado en la web permite que cualquier persona con acceso a Internet pueda ingresar e interactuar con el sistema, para evaluar los diversos escenarios que pueden suscitarse durante un evento sísmico, como el lugar donde la persona podría estar situada en ese momento, las condiciones familiares, entre otros.

Este sistema está siendo evaluado actualmente por diversas organizaciones, con el fin de ser completado y tratar de desarrollar acciones conjuntas entre las instituciones, para la coordinación de los planes en el caso de que ocurra un evento sísmico.

Las expectativas a mediano y largo plazo apuntan hacia la consolidación de un sistema de prevención utilizado por instituciones regionales para la prevención de desastres y cuidado de la ciudadanía, y el diseño realizado permite que, con el paso del tiempo, se pueda ir actualizando el conocimiento y aumentando las potencialidades del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. y Rivas F. (2001). *Introducción a las técnicas de computación inteligente*. Mérida: Editorial Meritec.
- Akerkar, A.R. y Sajja, P. (2009). *Knowledge-Based Systems*. Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett Publishers.
- Andalib A., Zare M. y Atry F. (2009). A fuzzy expert system for earthquake prediction, case study: the Zagros. *Proceedings of the Third International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization*.
- Baranov S., Digas B., Ermolieva T. y Rozenberg V. (2002). Earthquake Risk Management: A Scenario Generator. *Interim Report International Institute for Applied Systems Analysis*. 2002.
- Berrais A. (2005). A knowledge-based expert system for earthquake resistant design of reinforced concrete buildings. *Expert Systems with Applications*. Volume 28, Issue 3, Pages 519–530.
- Bravo C., Saputelli L., Rivas F., Pérez A., Nikolaou M., Zangl G., De Guzman N., Mohaghegh S. y Nunez G. (2012). State of the Art of Artificial Intelligence and Predictive Analytics in the E&P Industry: A Technology Survey. *SPE Western Regional Meeting*.
- Carreño, M., Cardona, O. y Campos, A. (2003). "Sistema experto para la toma de decisiones de habitabilidad y reparabilidad en edificios después de un sismo". Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Colombia.
- Cortez, A., Vega, H. y Cayampe, S. (2009). "Evaluación de daños en viviendas causados por sismos mediante redes neuronales". *Revista de Ingeniería de Sistemas e Informática*. vol. 6, N.º 2, pp. 75-90.
- Durkin, J. (1994). *Expert Systems Design and Development*. Prentice Hall. New York: Macmillan.
- El Planeta Azul (2011). "Venezuela es un país sísmico". Recuperado de <http://fbblueplanet.blogspot.com/2011/11/venezuela-es-un-pais-sismico.html>
- Funvisis (2002). "La Investigación Sismológica en Venezuela" Recuperado de http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/funvisis_1_18.pdf
- Giarratano, J.C. y Riley, G.D. (2004). *Expert Systems: Principles and Programming*, fourth edition. Course Technology.
- Guada- Barráez, C. (2000) "Detector de eventos sísmicos en tiempo real utilizando redes neuronales". *Interciencia*, vol. 25, núm. 6, pp. 293-298.
- Hernández J., Mousalli G. y Rivas F. (2009a). Expert System for the Diagnosis of Learning Difficulties in Children's Basic Education. *8th WSEAS International Conference on Applied Computers and Applied Computational Science*. Hangzhou, China, May 2009
- Hernández J., Mousalli G. y Rivas F. (2009b). Learning Difficulties Diagnosis for Children's Basic Education using Expert Systems. *WSEAS Transactions On Information Science And Applications*. Issue 7, Volume 6 pp 1206- 1215.
- Jackson, P. (1998). *Introduction to Expert Systems*, third edition. Boston, Massachusetts: Addison Wesley.
- Matamoras A., Torrealba A., Rivas-Echeverría F., et al. (2005). "Expert System for the preeclampsia Prevention Program". *4th WSEAS International Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics 2005*. Miami, USA, November 2005
- Mittal S., Dym C. (1985). Knowledge Acquisition from Multiple Experts. *AI Magazine*, Volume 6 Number 2.
- Ramírez, M., Castañón, A., Plaza, J. y Benito, B. (2008). "Proyecto Expel: Sistema experto de análisis probabilista de la peligrosidad sísmica". Colección Documentos I+D. Consejo de Seguridad Nuclear, España.
- Rivas F., Colina E. y Rivas C. (1998). Expert Systems methodology for Management. IASTED International Conference on Software Engineering.
- Rivas-Echeverría C., Matamoras A., Torrealba A., Rivas-Echeverría F., et al. (2006). "Computerized clinical decision support system for a public health program for the prevention of preeclampsia". *WSEAS Transactions on Information Science & Applications*. N° 1, vol. 3, pp. 133-139.
- Rivas-Pérez F., Dos Santos A., Pardo V. y Rivas-Echeverría F. (2013a). "Expert System design for customized actions to be taken before, during and after a Seismic event in Venezuela". *12th WSEAS International Conference on Applied Computer and Applied Computational Science (ACACOS '13)*. Kuala Lumpur, Malaysia. April 2013.
- Rivas-Pérez F., Dos Santos A., Pardo V. y Rivas-Echeverría F. (2013b). "Expert System for appropriate actions to be taken before, during and after a Seismic event in Venezuela". *International Journal of Geology*. Issue 3, Volume 7. pp 80-87.
- Sistema experto para toma de decisiones ante sismos (2013). Recuperado de <http://grupokb.dyndns.biz:9750/ses/>
- Symakezis C., Mikroudis G. (1997). ERDES—An expert system for the aseismic design of buildings. *Computers & Structures*. Volume 63, Issue 4, May 1997, Pages 669–684.
- Venciclopedia (2012). "Falla de Boconó". Recuperado de http://venciclopedia.com/?title=Falla_de_Bocon%C3%B3
- Zaghw A., Subramani M., Scawthorn C. (1993). The use of expert systems in seismic risk analysis. *National Earthquake Conference*.