



SISTEMA AUTOMÁTICO DE ESTIMACIÓN TEMPRANA DE DAÑOS POR SISMO Y TSUNAMI EN LA REPUBLICA MEXICANA

Octavio Hinojoza Gabriel⁽¹⁾, Mario Ordaz Schroeder⁽²⁾, Benjamín Huerta Garnica⁽¹⁾, Miguel A. Jaimes Téllez⁽²⁾

¹ ERN, Evaluación de Riesgos Naturales, Vito Alessio Robles No 179 Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac, Del. Álvaro Obregón CP 01050, México D.F. +52(55) 5616-8161, 62, 64.

octavio_hinojoza@ern.com.mx, benjamin_huerta@ern.com.com.

² Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, México, D.F. CP 04510

mors@pumas.ii.unam.mx, mjaimest@iingen.unam.mx

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es mostrar las características y resultados de un sistema automatizado de estimación temprana de daños ante sismos y tsunamis locales en México. Se trata de un sistema que opera en forma automática sin la intervención constante de un usuario; en cuanto se registra un evento sísmico en el territorio mexicano el sistema identifica las características del mismo y comienza a realizar la evaluación de riesgo para los elementos expuestos ingresados previamente al sistema, obteniendo resultados para estimación de pérdidas físicas y población afectada.

ABSTRACT

The aim of this paper is to show the characteristics and results of an automated early estimate of damage to local tsunamis and earthquakes in Mexico. It is a system that operates automatically without the constant intervention of the user, as there was an earthquake event in the subduction zone the system identifies the characteristics of seismic event and begins with the assessment of risk for the exposed elements, obtaining results to estimate physical losses and affected population.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los fenómenos naturales han tenido graves afectaciones en nuestro país, particularmente los sismos y tsunamis han ocasionados daños y pérdidas considerables que han repercutido en la población, gobiernos y sector asegurador.

En ocasiones, no es posible contar con una estimación temprana de los daños y las pérdidas provocados por estos fenómenos debido a la falta de información y evaluación del riesgo. Para tratar de reducir esta problemática, se plantea implementar el sistema llamado *RS-AVISA* que estará en constante monitoreo de avisos de sismo, a través de la información que se publica en un sitio ftp por parte de la Red Sísmica Mexicana (RSM), y que evaluará de manera inmediata el riesgo mediante la estimación de pérdidas de inmuebles, infraestructura y población afectada.

En el presente documento se describe el monitoreo de los avisos, la metodología que se lleva a cabo y una descripción breve de la interfaz del programa; también, se muestra al final del artículo un ejemplo de los resultados que se pueden obtener con este sistema para las exposiciones del sector vivienda, salud, educación e infraestructura carretera a nivel nacional ante el sismo ocurrido en Michoacán el 19 de septiembre de 1985.

Cabe mencionar, que *RS-AVISA* forma parte de la tercera etapa del proyecto llamado “Sistema de cuantificación de pérdidas, control de recursos y análisis de riesgo para el FONDEN” el cual también incluye un trabajo previo de los autores (Hinojoza *et al.*, 2011).

ANTECEDENTES

Por su ubicación geográfica, México es un país propenso a sufrir sismos y tsunamis. Un sismo puede ocurrir en cualquier parte del territorio ya que México es uno de los países de gran peligro sísmico. Su geología refleja que gran parte del territorio esté sometido a enormes esfuerzos que causan, entre otros efectos, grandes terremotos.

A lo largo de su historia México ha sufrido varios sismos fuertes, sin embargo se recuerda mucho el sismo ocurrido en Michoacán, el 19 de septiembre de 1985 ($M_w = 8.1$) que causo daños en la región de la costa de Michoacán, Colima y Guerrero, donde se localizaron sus fuentes; no obstante, el mayor número de daños se registró en la ciudad de México, situada a más de 300 km de distancia del epicentro, debido, entre otros factores, a la densidad de población, características locales del suelo y de las estructuras (Kostoglodov y Pacheco, 1999). El mismo sismo también causó estragos en las costas, debido a los efectos del tsunami (Huerta *et al.*, 2012).

En México los tsunamis más destructivos se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico (Huerta y Ordaz, 2007), en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino y se generan cuando se presenta un movimiento vertical del fondo marino que desplaza una gran cantidad de agua, ocasionado por un sismo de gran magnitud y poca profundidad.

Como antecedente directo de este sistema se tiene el sistema R-Avisa (Hinojoza *et al.*, 2011) que se puso en marcha en el año 2011; dicho sistema ha contribuido a generar estimaciones tempranas de daños materiales y población afectada ante los avisos reportados de los huracanes que ponen en riesgo a ciertas zonas del territorio mexicano.

OBTENCIÓN DE LOS AVISOS

Para el monitoreo de los eventos sísmicos mismos que puedan producir tsunamis en la zona de estudio, se emplea información reportada en tiempo real por la Red de Instrumentación sísmica para la República Mexicana (RSM) misma que se muestra en la página de Internet del Servicio Sismológico Nacional (SSM).

El proyecto de la Red Sísmica Mexicana se ha desarrollado desde hace algunos años y consiste en un sistema de monitoreo en tiempo real desde diversas estaciones, las cuales son operadas por varias instituciones de investigación en el país, recibiendo el conjunto de señales en el Puesto Central de Registro (PCR) localizado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Alcántara *et al.*, 2011).

La información que proporciona la RSM es colocada, de forma automática, en un sitio ftp al cual el sistema *RS-AVISA* se vincula también de forma automática. Los datos que se proporcionan para el funcionamiento del programa son:

- Fecha y hora del evento
- Localización geográfica (Latitud y longitud)
- Magnitud del sismo
- Profundidad del sismo
- Mapas de intensidad para diferentes periodos del suelo (figura 1)

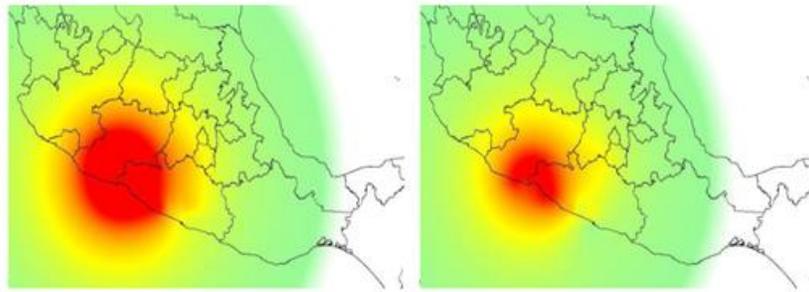


Figura 1 Ejemplo de mapas de intensidad que se proporcionan para el RS-AVISA

Los detalles del procesamiento de datos, funcionamiento, operación y tiempo de respuesta de la RSM se describen ampliamente en el trabajo de Alcántara *et al.*, 2011.

METODOLOGÍA

La metodología para la estimación de pérdidas por sismo y/o tsunami en México se puede ejemplificar con el diagrama de flujo de la figura 2, el cual considera los factores más importantes que intervienen en el cálculo de los daños esperados:

- *Amenaza.* Cálculo del peligro, en el caso de tsunami es la estimación de las zonas de inundación
- *Exposición.* Cuantificación de bienes, localización y características de los mismos.
- *Vulnerabilidad.* Aplicación de funciones (relación de intensidad a daño) a cada elemento expuesto.

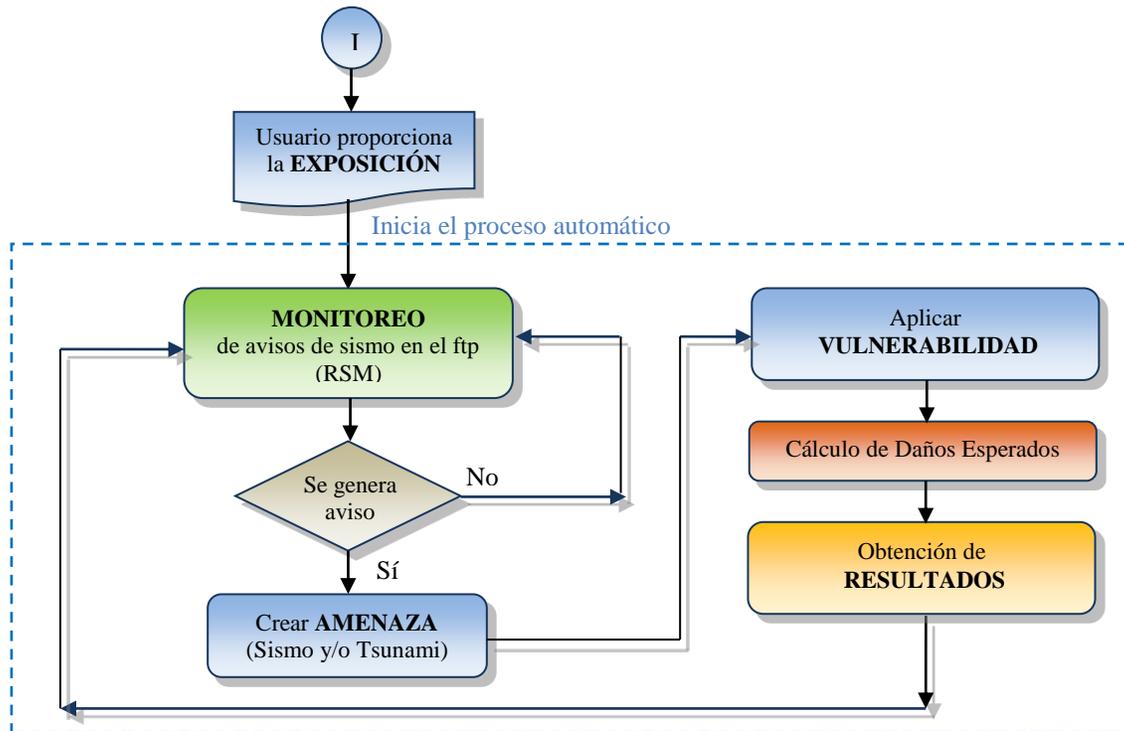


Figura 2 Diagrama general de flujo del sistema

Al iniciar el sistema, el usuario debe proporcionar los archivos de *Exposición* para los cuales se requiere hacer la evaluación; posteriormente el programa entrará en un proceso automático que generará un reporte de resultados para cada aviso de sismo reportado en el ftp mencionado.

Es importante mencionar que de los tres factores para el cálculo del daño esperado, la *Amenaza* es la única que se calcula al momento mismo de llegar cada aviso ya que la *Exposición* es proporcionada por el usuario y la *Vulnerabilidad* está precargada en el sistema. *RS-AVISA* calcula los archivos de amenaza para Sismo y/o Tsunami según corresponda para cada caso.

Amenaza Tsunami

Para generar el AME de Tsunami se emplea la metodología descrita en el trabajo de Huerta *et al.*, 2012. De forma general, el método consiste en tomar un evento sísmico con las siguientes características:

- Epicentro en la zona del pacifico
- Magnitud mayor a 6.5°
- Profundidad menor de 60 km

A partir de los datos de un evento sísmico registrado y con el procedimiento mencionado, el sistema *RS-AVISA* calcula las alturas de las olas a lo largo de la costa occidental de México (figura 3).

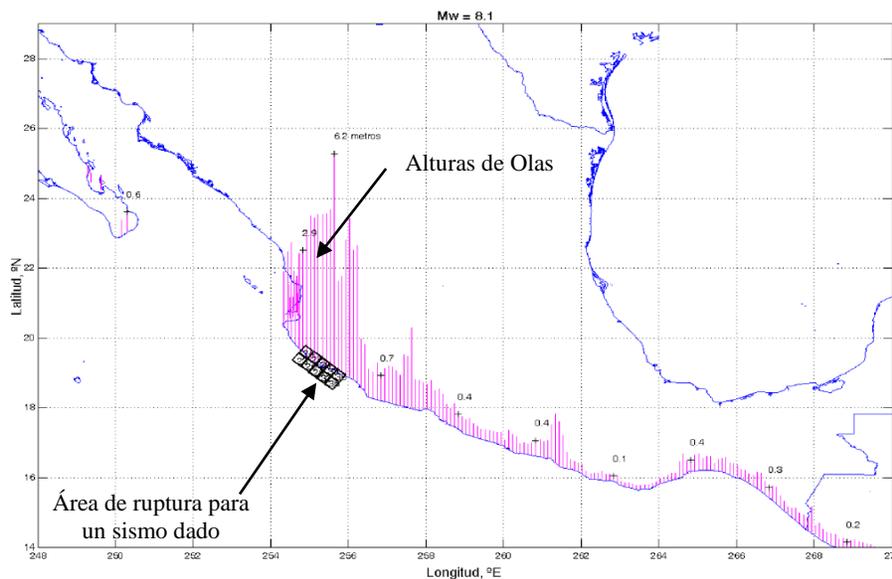


Figura 3 Ejemplo de las alturas de olas para un sismo registrado en el área de ruptura

Amenaza Sismo

Para generar el AME de sismo, se utilizan directamente los mapas de intensidad proporcionados por la Red de Instrumentación sísmica (Alcántara *et al.*, 2011), con periodos del suelo de 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 y 3 segundos. Estos archivos son encapsulados en uno sólo para ser introducido dentro del procedimiento de cálculo mostrado en la figura 2. Para este proyecto, los sismos que se reportan por parte de la RSM son con magnitudes mayores a 5 y que su epicentro se registre por medio de las estaciones acelerográficas ubicadas en el país desde Nayarit hasta Chiapas.

Exposición

Se ingresa mediante una base de datos que contiene la descripción de los bienes expuestos así como su localización y los valores de cada uno de sus componentes. El sistema admite exposiciones por medio de archivos Shape de puntos,



líneas o polígonos, donde cada elemento proporciona información geo-referenciada de un inmueble o infraestructura (Reinoso *et al.*, 2006).

Para este proyecto se obtuvo una colección muy amplia de bases de datos a nivel nacional de sectores como Salud, Vivienda, Educación, Carreteras, Puentes y también de dependencias como CFE, INEGI, CONAGUA y CONAFOR entre muchas otras.

Vulnerabilidad

Para este proyecto, se desarrollaron especialmente funciones de vulnerabilidad para las amenazas de Sismo y Tsunami. Con esta información se evalúa el impacto en términos del costo asociado al daño de las edificaciones e infraestructura y su repercusión en la población (Reinoso *et al.*, 2006).

Efectos de sitio

RS-AVISA también toma en cuenta los efectos de sitio por sismo de las ciudades donde se cuente con datos de amplificación de los suelos y cuya información haya sido procesada para estos fines mediante técnicas de cocientes espectrales, mediciones de vibración ambiental o modelos unidimensionales del suelo para obtener las funciones de amplificación teóricas (figura 4).

Los formatos propuestos para capturar toda la información de los estudios deben integrar de manera continua los efectos de sitio en las regiones de interés, contener datos de la variación del periodo del suelo y las funciones de amplificación para cada periodo de la estructura y para diferentes intensidades y tipos de sismo (Huerta *et al.*, 2011).

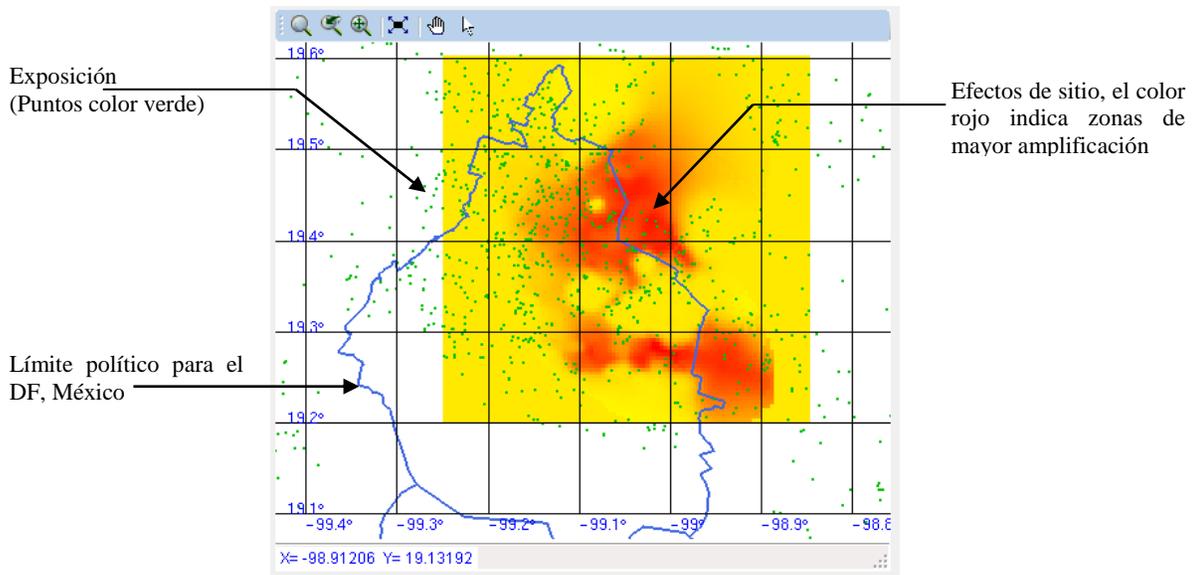


Figura 4 Efectos de sitio por sismo para el D.F. México

MONITOREO

El proceso del monitoreo consiste en que de forma automática el sistema se coloca en un estado de constante búsqueda de archivos de eventos sísmicos en un sitio ftp proporcionado por la RSM.

Los pasos que se realizan para el monitoreo, después de que el usuario inicia el sistema y especifica la cartera de inmuebles e infraestructura a evaluar, son:

1. Se conecta a internet, específicamente a la dirección ftp de la RSM
2. Busca, en la ftp, la llegada de nuevos avisos de sismos
3. Al encontrarse nuevos eventos se descarga la información necesaria
4. Se revisa si el sismo o tsunami está dentro de la zona influencia de la república mexicana
5. Para ese evento se calcula la intensidad del peligros con los datos obtenidos
6. Estima las consecuencias sobre una base de datos cualquiera pre-cargada a nivel de inmueble
7. Obtiene los resultados en archivos de diferentes formatos, especialmente para visualización en GIS
8. Guarda los resultados en una carpeta local, en la cual es posible realizar consultas de manera externa sobre las afectaciones esperadas. Posteriormente se regresa al paso 1.

Una vez que se especifican los datos de entrada el proceso operará de manera automática. De esta forma buscará y procesará los eventos que encuentre el sitio ftp mencionado. Desde que el sistema se pone en marcha, está en constante búsqueda de los eventos sísmicos. Este proceso es automático, y el programa opera continuamente hasta que se cierra la aplicación

De manera esquemática en la figura 5 se muestran las principales operaciones del monitoreo.

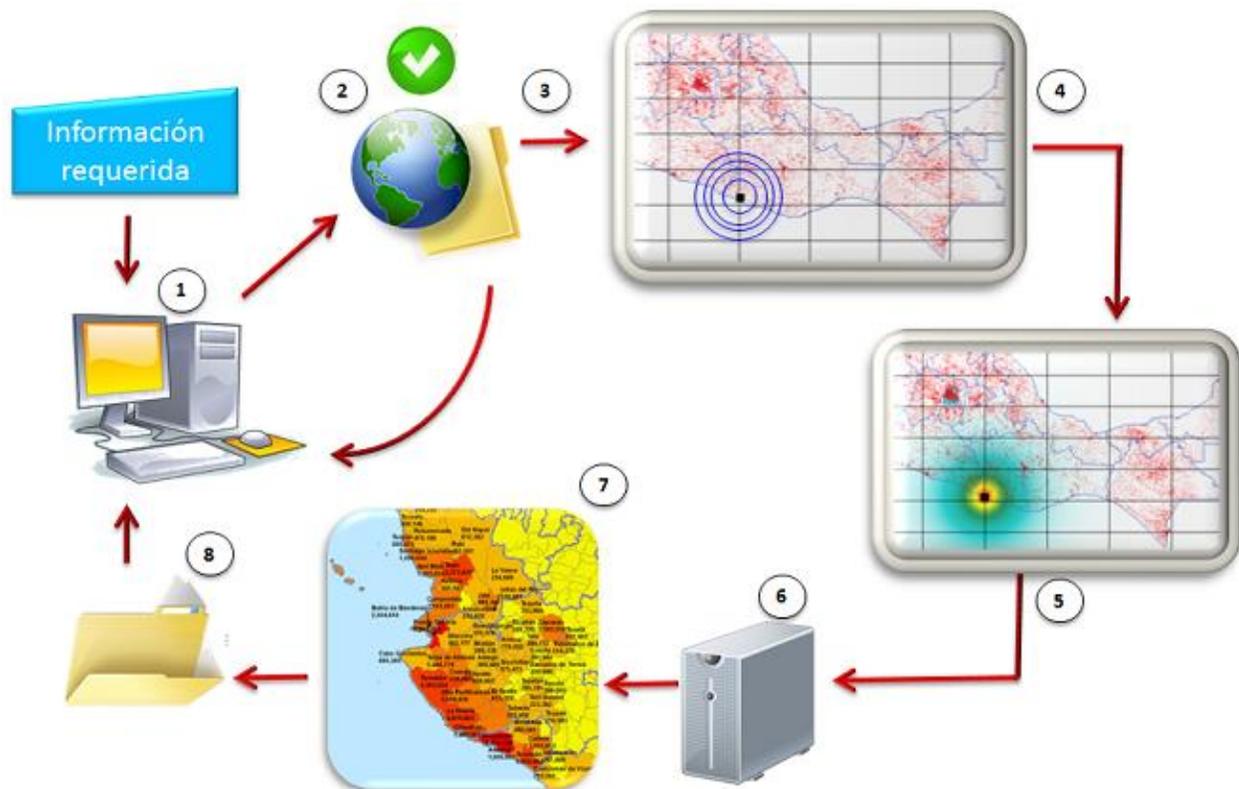


Figura 5 Esquema del Monitoreo

Evaluación de los eventos

Cuando el sistema encuentra un evento, el programa descarga los archivos necesarios y los coloca en una carpeta local ubicada en la misma dirección donde se instaló. Al hacer esto se suspende temporalmente la búsqueda de más avisos y se ejecuta automáticamente el proceso de evaluación del evento encontrado. Sin embargo, no todos los eventos son procesados, ya que *RS-AVISA* verifica que el sismo esté dentro de la zona de influencia, el objetivo es evaluar sólo los eventos que tengan afectación en el territorio mexicano. En la figura 6 se muestran las zonas de influencia consideradas tanto para sismo como para tsunamis.



Cuando el evento se encuentre fuera de la zona de influencia del territorio nacional, el sistema procederá a reanudar el monitoreo de sismos de en la dirección ftp especificada, en caso contrario el sistema continuará con los pasos ya mencionados hasta obtener los resultados de las pérdidas para la cartera establecida.

El sistema está configurado para evaluar las amenazas de sismo y tsunami al mismo tiempo en caso de que el evento sísmico que ocurriera estuviera dentro de ambas zonas. A esto se le conoce, dentro del sistema *RS-AVISA*, como una temporalidad que se define como un momento de tiempo en que puede ocurrir una o varias amenazas de manera simultánea.

Cuando el sismo está dentro de la zona de influencia (para sismo o tsunami), comienzan a ejecutarse los siguientes procesos:

- Generación del AME de sismo
- Generación del AME de tsunami
- Ingreso de la temporalidad de sismo
- Ingreso de la temporalidad de tsunami
- Inicia el cálculo del riesgo

La generación de los archivos AME de sismo y tsunami son cálculos que parten de los parámetros del evento que se obtiene por parte de RSM. Cuando estos dos tipos de AME están listos, son agregados al proyecto mediante una configuración de temporalidad definida.

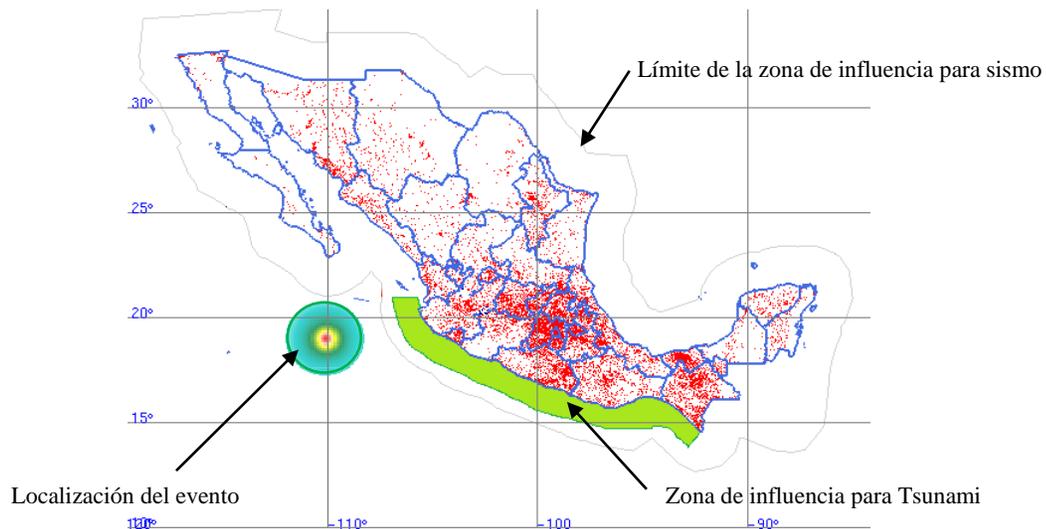


Figura 6 Visualización del evento sísmico encontrado

En la figura 6 se muestra un ejemplo de la visualización de un evento sísmico, los tonos rojos indican mayores aceleraciones del suelo las cuales se presentan cerca de la trayectoria y disminuyen conforme nos alejamos de la misma hasta un color azul claro, esto sin considerar los efectos de sitio de cada lugar.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema *RS-AVISA* es una herramienta para la estimación de riesgo ante eventos de amenazas de sismos y/o tsunamis que proporciona la Red Sísmica Mexicana; el sistema muestra gráficamente la localización de las exposiciones y unidades de riesgo que se emplean en la evaluación así como la localización del fenómeno.

Para ingresar la información inicial al programa, es necesario hacerlo a través de un archivo de proyecto *.cpr que se genera con el sistema R-Fonden (Huerta *et al.*, 2013).

Características generales

La presente aplicación se ha diseñado para que su funcionamiento sea automático tanto en el monitoreo de los eventos sísmicos así como en la creación de las amenazas y la estimación de riesgo. La idea es tener poca intervención por parte de los usuarios que interactúan con el sistema.

El programa permite obtener los resultados de una forma rápida y sencilla. Además, el software aprovecha las excelentes características de la biblioteca .NET, lo que hace que la aplicación pueda obtener resultados más rápidamente.

Interfaz gráfica del programa

El sistema contiene una sola ventana principal (figura 7) que se divide en cinco partes: información del proyecto, zona de monitoreo, área gráfica, información de procesos y zona de resultados. A continuación se explica cada una de estas partes con mayor detalle.

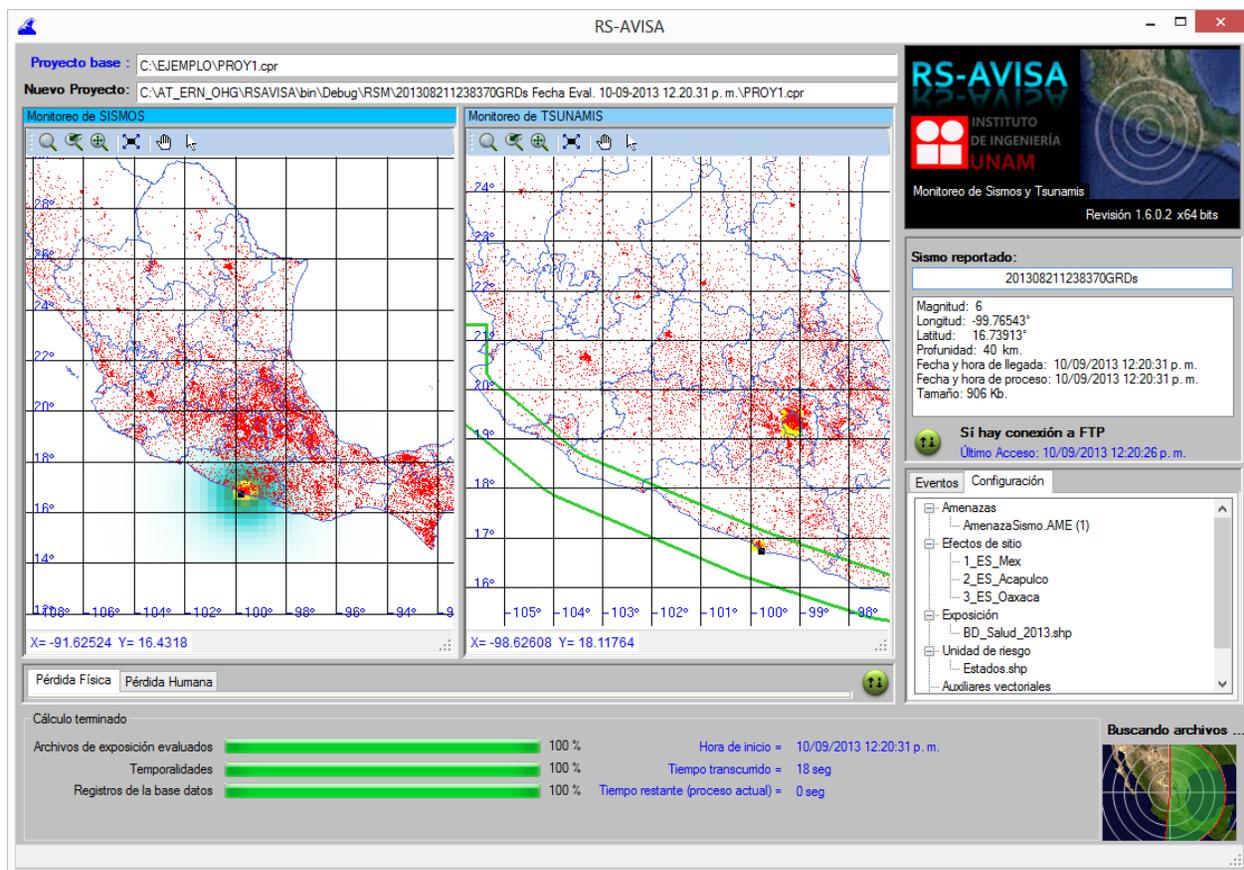


Figura 7 Ventana principal del sistema RS-AVISA



Información del proyecto

Con el nombre de *Configuración* se muestra la pestaña (figura 8) que tiene la finalidad de exponer al usuario los elementos del proyecto que han sido cargados (amenazas, exposiciones, unidades de riesgo, etc.) y que intervendrán en la evaluación del riesgo.

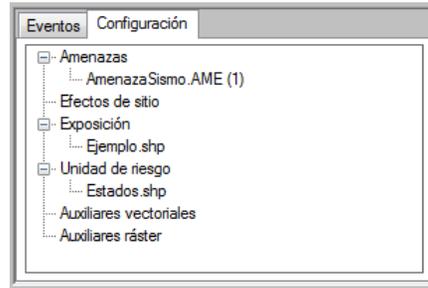


Figura 8 Información del proyecto

En la subsección de *Amenazas*, dentro de la misma pestaña de *Configuración*, se cargan los archivos necesarios para los peligros involucrados: un archivo para Sismo y un archivo para Tsunami. Cuando se inicia el sistema y aún no se ha registrado ningún evento sísmico podrá observar que en esta sección se encuentra vacía debido a que las amenazas se generan y cargan sólo cuando se procesa un evento.

La pestaña *Configuración* es de sólo lectura, es decir no se podrá editar de ninguna forma la configuración del proyecto y por ello el control se muestra con un color gris opaco.

Información del avance del proceso

Este grupo de controles ubicado en la parte inferior de la ventana principal, tiene la finalidad de mostrar el avance del cálculo de riesgo para eventos que se encuentren dentro de la zona de influencia (figura 9).

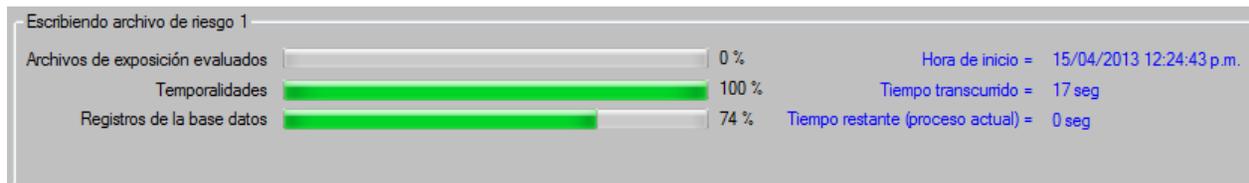


Figura 9 Avance del cálculo del riesgo

Las barras de progresivas (color verde) muestran el porcentaje de avance de los cálculos para cada concepto escrito del lado izquierdo de éstas (texto en color negro). En la parte superior (texto color negro) se indica el proceso que se está llevando a cabo. En la parte derecha se muestra la hora de inicio del cálculo, el tiempo transcurrido y un estimado del tiempo restante del proceso en turno.

El tiempo que tarde la evaluación dependerá de la cantidad de información que tenga el proyecto (número de exposiciones, registros en las bases de datos, amenazas, etc.), así como las características de la computadora.

Zona de resultados

En la parte inferior del área de dibujo se muestran los archivos de resultados (figura 10) para cada una de las pérdidas (física y humana), correspondientes a la evaluación terminada.

El sistema muestra una pestaña para cada tipo de pérdida. Una vez que el cálculo haya concluido correctamente, se mostrarán los resultados en este control para cada una de las pérdidas y sólo con fines de indicar que los archivos de resultados han sido creados.

El usuario sólo podrá ver la información contenida en cada archivo, pero no podrá editarla directamente desde este programa. Además, cada vez que seleccione un registro de la tabla *Eventos* (figura 12) se mostrará en esta sección del programa (figura 10) la información relacionada a dicha evaluación. En caso de que no se haya realizado la evaluación se mostrará la leyenda “No se generaron resultados para este evento”.

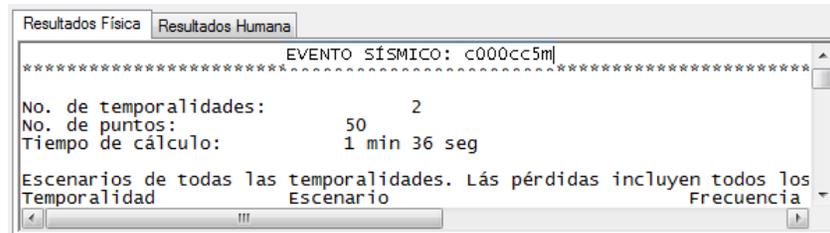


Figura 10 Ventana de resultados

Área gráfica

En la parte central de la ventana principal de la aplicación se encuentra el área de dibujo (figura 11). En esta área, se visualizan todos los elementos que el usuario agregó a su proyecto (exposiciones, amenazas, unidad de riesgo, etc.) con la configuración definida en la ficha para calcular riesgo.

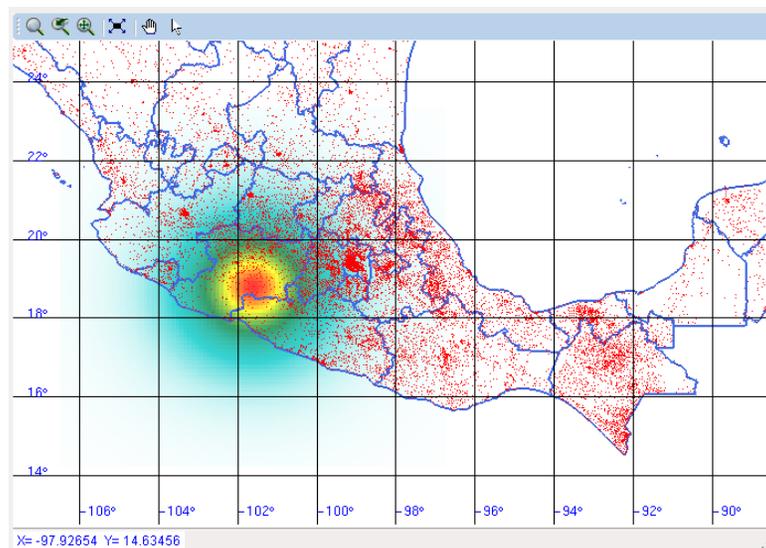


Figura 11 Área de dibujo

El área de dibujo siempre se visualizará con un color de fondo blanco, y mostrará automáticamente la cuadrícula correspondiente a la latitud y longitud en grados. Cuando el puntero del mouse sea desplazado sobre el área de dibujo, en la parte inferior del mapa se mostrará la coordenada (X, Y) exacta que corresponde a la posición del puntero. Esta pantalla cuenta con herramientas que permiten realizar diferente tipos de acercamientos, movimiento de pantalla y selección de objetos.



Zona de monitoreo

Esta parte del programa (figura 12) tiene como finalidad mostrar la información acerca del estado del monitoreo de los eventos sísmicos.

Al iniciar el sistema y después de haber introducido el proyecto de entrada, el sistema consulta constantemente la Red Sísmica Mexicana (RSM) con el propósito de identificar inmediatamente cuando se presente nueva información de sismos. En la parte inferior de esta pestaña (figura 12) se encuentra un control del tipo Radar que realiza la búsqueda constantemente de eventos sísmicos.

Cada determinado tiempo (aproximadamente cada minuto), el sistema actualiza la información leída de la RSM. Cuando eso sucede, el control Radar se coloca de un solo color (naranja opaco) y además se observará en el cuadro de texto la información del estado de la conexión a internet y la fecha en que se conectó a la dirección ftp por última vez.

Cuando el sistema encuentra un nuevo evento sísmico, la aplicación descargará el archivo y lo revisa para saber si está dentro de la zona de influencia del país. Al hacer esto, el control Radar se coloca en color verde; además se mostrará en el cuadro de texto la siguiente información extraída del archivo: Magnitud, profundidad, latitud, longitud, región y fecha de ocurrencia.

En la parte media del control (figura 12), se encuentra una lista con los nombres de los eventos que han sido descargados y revisados; para cada uno se muestra su hora y fecha en que fue procesado así como un símbolo \times o \checkmark que indica si la evaluación de dicho evento fue realizada correctamente.

Sismo reportado:
 2012-11-15-0918-13S.Regio_183GRDs
 Magnitud: 6
 Longitud: -100.7131°
 Latitud: 18.5665°
 Profundidad: 80 km.
 Fecha y hora de llegada: 15/04/2013 11:16:25 a.m.
 Fecha y hora de proceso: 15/04/2013 12:05:15 p.m.
 Tamaño: 968 Kb.

Edo. Conexión
 Último acceso

Id	Evento	Edo	Mw	Fecha Ocurrencia
3	Sismo	✓	7	25/07/2050 01:17
2	Sismo_Tsunami	✓	7.4	20/03/2012 06:02
1	Sismo	✓	7.1	16/10/1999 09:4

Archivo encontrado
 Radar

Figura 12 Zona de monitoreo y reporte de avisos

EJEMPLO Y RESULTADOS

Para mostrar las características de la herramienta se tomó como ejemplo el conocido sismo ocurrido en Michoacán el 19 de septiembre del 1985 y se utilizaron las exposiciones más actuales de infraestructura correspondiente a datos

representativos de los sectores de salud (SSA), vivienda (SEDESOL), educación (SEP) e infraestructura carretera (SCT) a cargo del gobierno federal.

De acuerdo a la metodología descrita en este trabajo, este evento no produciría un tsunami, sin embargo los registros históricos muestran que si hubo tal, esto remarca que debemos reconocer que la determinación de si un sismo generará tsunami es un problema muy complejo donde existe gran incertidumbre sobre este punto. Se sabe que incluso cumpliéndose muchas de las condiciones para que se produzca un tsunami, éste no llega a suceder.

Resultados

Los resultados obtenidos son por cada inmueble perteneciente a cada una de las cuatro bases de datos mencionadas. Dichos resultados se escriben en archivos tipo Shape los cuales pueden integrarse a sistemas de información geográfica y que pueden analizarse para obtener resultados por zona de agrupación, como por ejemplo para cada municipio o estado (figura 13 a 16).

Como resultados se obtiene la pérdida esperada total del evento y también para cada inmueble, este resultado representa el valor promedio de la pérdida que ocurriría ante ese escenario, esta información es útil para conocer lo que en promedio estaría sucediendo en tiempo real ante el impacto de un fenómeno de estas características y así tomar medidas inmediatas en cuanto a daño a los inmuebles, infraestructura y población actual.

En la tabla 1, se muestran las cinco mayores pérdidas esperadas en el país (a nivel estado) para cada uno de los cuatro sectores ya mencionados. En las figuras 13 a 16 se muestra la distribución de la pérdida a nivel municipio. En cada caso las pérdidas están dadas en pesos mexicanos.

Tabla 1 Pérdidas esperadas para cada sector a nivel estado

Salud		Educación		Vivienda		Carreteras	
Michoacán	\$ 4,437,869,307	Michoacán	\$ 15,050,843,093	Michoacán	\$ 8,739,925,920	Michoacán	\$ 26,349,449,955
D.F.	\$ 1,365,268,945	D.F.	\$ 3,677,964,936	México	\$ 2,213,525,394	Jalisco	\$ 1,575,175,236
Guanajuato	\$ 562,360,234	Jalisco	\$ 2,942,681,746	Guanajuato	\$ 1,095,350,657	Guanajuato	\$ 1,384,878,707
Jalisco	\$ 288,359,699	México	\$ 2,541,316,803	D.F.	\$ 1,092,010,941	México	\$ 1,281,432,252
México	\$ 188,987,174	Guanajuato	\$ 2,319,779,343	Jalisco	\$ 920,412,656	Guerrero	\$ 409,991,203

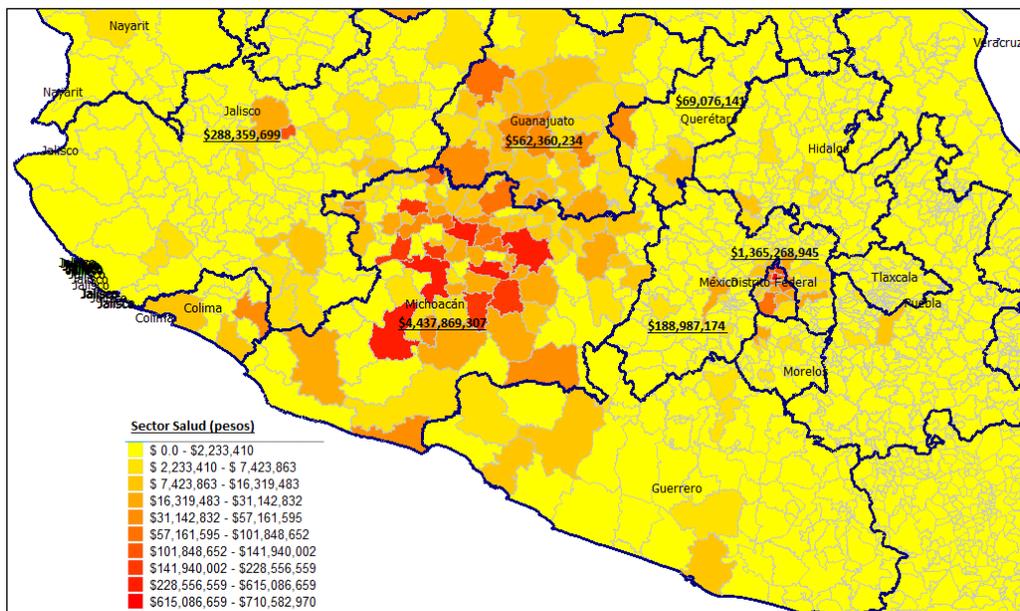


Figura 13 Resultados de pérdidas (pesos) esperadas por estado para el sector salud

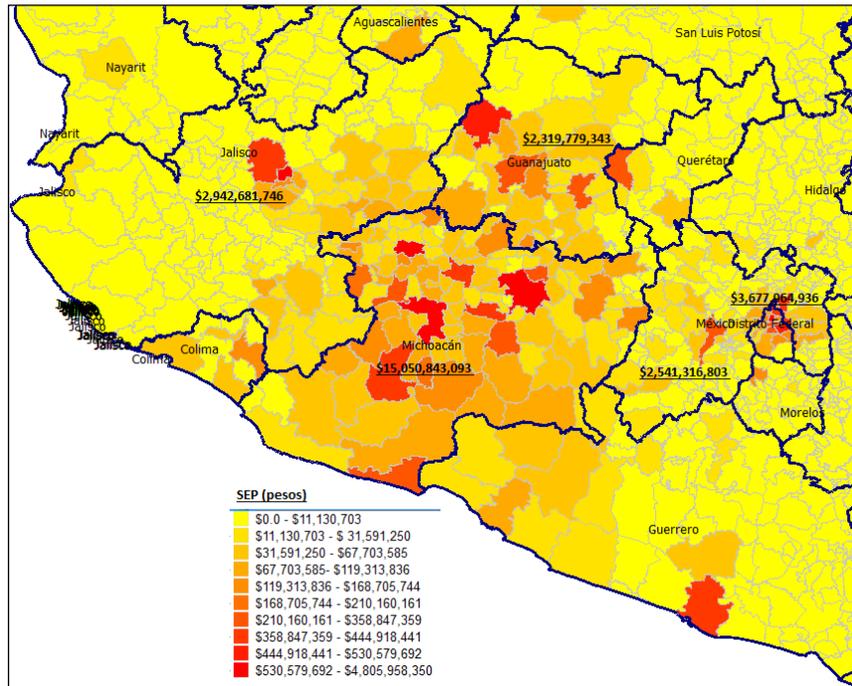


Figura 14 Resultados de pérdidas (pesos) esperadas por estado para el sector educativo

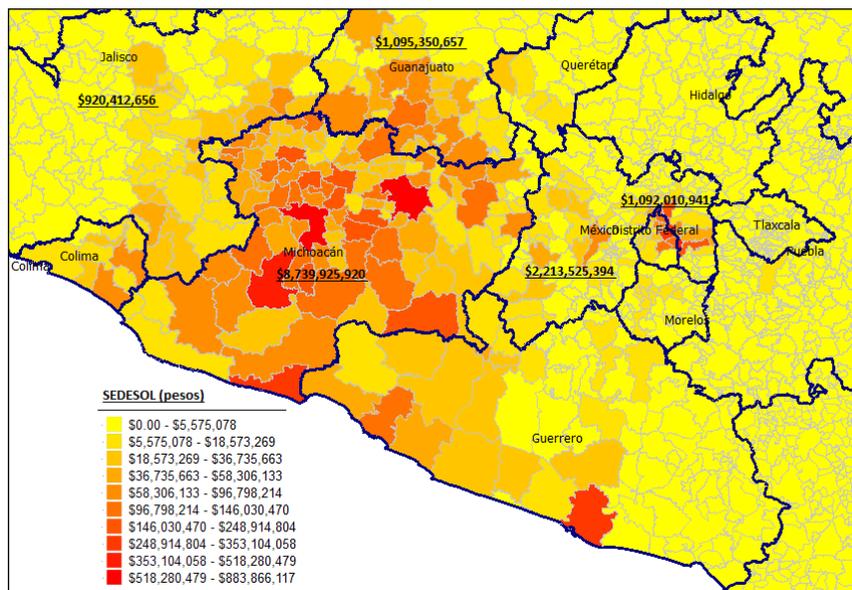


Figura 15 Resultados de pérdidas (pesos) esperadas por estado para el sector vivienda

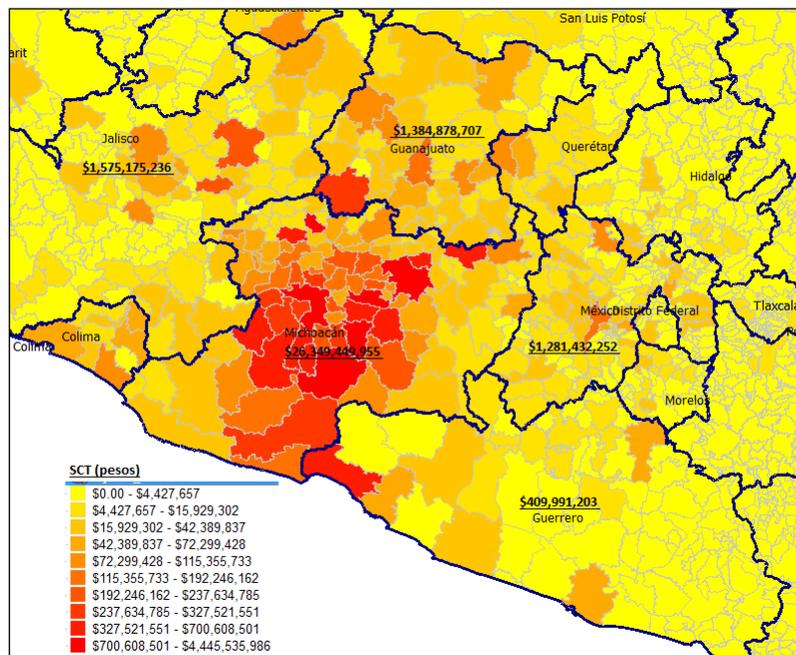


Figura 16 Resultados de pérdidas (pesos) esperadas por estado para el sector carretero

En las figuras 13 a 16 se puede observar que el estado de Michoacán tienen las mayores pérdidas para cada uno de los sectores revisados. Si bien es cierto que el D.F. fue el más afectado en el mismo sismo ocurrido en 1985, los resultados aquí presentados muestran al estado de Michoacán como el más afectado, esto se debe principalmente a las características de la exposición (base de datos actual) que es infraestructura a cargo del gobierno federal y a su distribución que hay dentro del estado.

Estos resultados son particularmente útiles para fines de protección civil, ya que pueden ayudar a crear planes de atención a la emergencia por medio del índice de riesgo que se representa en este estudio como pérdida esperada ante el evento ocurrido.

CONCLUSIONES

De las observaciones mostradas en este trabajo, es posible afirmar que las amenazas generadas cuentan con una precisión adecuada en su etapa actual y dada la calidad de la información disponible, es posible mostrar un panorama general del nivel de intensidad del evento sísmico a lo largo del territorio mexicano.

Sin embargo, a pesar de lo alentadores que son estos resultados, es necesario reconocer que existe una dependencia importante por parte de *RS-AVISA*, en el número y distribución de las observaciones recibidas en tiempo real. Cuanto mayor sea el número de estaciones y su distribución sea adecuada, los resultados de *RS-AVISA* serán mucho más precisos desde las estimaciones preliminares.

A partir de los resultados presentados y la necesidad de contar con una mejora continua de *RS-AVISA*, es importante extender una invitación a nivel nacional para las instituciones que operan redes de monitoreo sísmico a unirse a este proyecto por medio de la instalación de comunicación en tiempo real de sus estaciones haciendo viable la captación de sus señales por el PCR del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Lo anterior permitirá afinar los productos generados con del aumento en el número de estaciones que aportarían sus datos para ser procesados, mejorar los protocolos de calibración del sistema y por supuesto extender la superficie operativa de *RS-AVISA* al total del territorio nacional conforme avance el programa de la RSM.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal encargado de la RSM por toda la ayuda proporcionada para la vinculación del sistema RS-AVISA con el sitio ftp especificado así como su colaboración en las pruebas realizadas con los ejemplos de los avisos de sismo.

También, se agradece el apoyo económico de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para la realización del proyecto “SEGUNDA Y TERCERA ETAPA DEL PROYECTO SISTEMA DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS, CONTROL DE RECURSOS Y ANÁLISIS DE RIESGO PARA EL FONDEN” que ha permitido la realización de los sistemas de cuantificación de pérdidas, control de recursos y análisis de riesgo para el FONDEN.

REFERENCIAS

Alcántara L., Arroyo D., Delgado M., Ordaz M., Pérez C., Quiroz A., Ruiz A. y Sandoval H. (2011). GENMAPS: Herramienta para el cálculo de mapas nacionales de intensidades sísmicas en tiempo real. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes*.

González R., Ortiz F. y Montoya J.M. (2012). Tsunami. Un problema matemáticamente interesante. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones Vol. 19 enero*, pág. 107–119.

Hinojoza O., Ordaz M.G., Huerta B., Reinoso E. y Jaimes M.A. (2011). Sistema para el monitoreo automático y evaluación de riesgo de huracanes en la República Mexicana. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes*.

Huerta B. y Ordaz M.G. (2007). Escenarios de tsunami local para la estimación de pérdidas en México. *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero*

Huerta B., Ordaz, M.G., y Reinoso, E. (2011). Propuesta de formato estándar para estudios de microzonificación sísmica y la experiencia de su aplicación en sistemas computacionales. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes*

Huerta B., Ordaz, M.G. y Hinojoza, O. (2012). Sistema de estimación temprana de daños por tsunami local en la zona de subducción del pacífico mexicano. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero*.

Huerta B., Ordaz, M.G. Hinojoza, O., Reinoso, E. y Jaimes, M.A. (2013). Sistema experto para la evaluación de riesgos naturales en la infraestructura en México. *XVIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Boca del Río, Veracruz*.

Jaimes, M.A., Reinoso, E., Huerta, B. y Zeballos, A. (2008). “Estimación de pérdidas en viviendas en pobreza patrimonial por sismo, inundación y ciclón tropical en la República Mexicana”, *XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Veracruz*.

Jaimes M.A., Reinoso, E., Ordaz, M.G., Huerta B., Avelar C.E. y Niño M. (2009), “Mapas de pérdidas en la infraestructura en México ante sismos y huracanes”, *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, Puebla*.

Kostoglodov, V. y Pacheco, J.F. (1999). Cien años de sismicidad en México. Publicación electrónica: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>

Reinoso E., Ordaz M.G., Huerta B., Zeballos A., Avelar C.E. y Hernández J.J. (2006). Metodología para el cálculo de pérdidas en edificios y naves industriales ante fenómenos hidrometeorológicos ocurridos en México. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puerto Vallarta, Jalisco*.

Reinoso E., Ordaz M.G., Hinojoza O., Huerta B. y Jaimes M.A. (2012). Monitoreo automático y evaluación del riesgo de huracanes en México. *Revista Ingeniería Civil No. 516 abril, CICM.*