



# Metodologías aplicadas a las Ciencias de la Tierra

Ignacio Mora Gozález  
Coordinador

# Metodologías aplicadas a las ciencias de la Tierra

Ignacio Mora González  
Coordinador



*Metodologías aplicadas a las Ciencias de la Tierra*

Coordinador

Ignacio Mora González

Primera Edición, 2015

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, bajo cualquier medio, electrónico o mecánico, sin la autorización por escrito de los titulares de la misma.

D. R. © Ignacio Mora González

© IETEC Editores

Av. Adolfo Ruiz Cortines No. 511

Col. Francisco Ferrer Guardia. C.P. 91020

Xalapa, Veracruz, México

Edimpa.arana@hotmail.com

Fotografía de la Portada: Sergio R. Rodríguez Elizarrarás

Compilación y edición: Irma Hernández Contreras

Captura y apoyo técnico: Clara Martínez Mora

ISBN: 978-607-9091-49-1

Impreso en México

## CONTENIDO

	PRESENTACIÓN	5
	CAPÍTULO 1	
Modelación en la estimación del riesgo por fenómenos naturales		6
	CAPÍTULO 2	
Microzonificación de zonas urbanas, elemento básico para el ordenamiento territorial, gestión de riesgos y desarrollo sostenible		24
	CAPÍTULO 3	
Estimación del peligro sísmico de Barcelona y su aplicación en la determinación del riesgo sísmico de la Ciudad		36
	CAPÍTULO 4	
Técnicas de monitoreo sísmico aplicadas al Citlaltépetl: algunos resultados		51
	CAPÍTULO 5	
Procesos de remoción en masa en la región San Andrés Tuxtla, Veracruz		70
	CAPÍTULO 6	
La gestión para el manejo integral de cuencas desde el enfoque de sistemas complejos		78
	CAPÍTULO 7	
Geografía del paisaje: un enfoque holístico para la gestión de riesgos de desastres		93
	CAPÍTULO 8	
Relevancia de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) en Veracruz y su método de cálculo		99
	CAPÍTULO 9	
Instituciones e instrumentos de la Unión Europea en la lucha contra el cambio climático		108
	COLABORADORES	119

Las Ciencias de la Tierra se centran en los más grandes retos de la humanidad en el Siglo XXI, ya que se dirige a producir conocimientos relacionados con el bienestar y protección del hombre en la Tierra, lo que integra fenómenos tanto naturales como antrópicos, que conjuntan lo multidimensional de procesos y factores físicos, químicos, biológicos, ecológicos, sociales y económicos.

Además, la creciente complejidad en el marco de los problemas naturales en la Tierra y los que se desprenden de la interrelación del hombre y/o sociedad con el medio ambiente, hace necesario desarrollar metodologías que permitan analizar, medir, evaluar, comprender y explicar múltiples aspectos de los fenómenos que están sucediendo en distintas regiones y espacios territoriales del país y en el contexto mundial; y así proponer posibles soluciones con pertinencia y racionalidad social y ambiental.

Las metodologías en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, que se presentan en este libro comprenden una amplia gama de temáticas, que aseguran dentro del ámbito científico, una riqueza en cuanto al abordaje de los fenómenos en cuestión; brindan la oportunidad de proponer soluciones ciertas, así como apoyan a la formulación de políticas y estrategias que pueden ser socialmente útiles. De esta manera, la estimación del riesgo por fenómenos naturales; la microzonificación urbana para el ordenamiento territorial y gestión del riesgo; la estimación y monitoreo del peligro y riesgo sísmico urbano; la remoción de masas por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos; la gestión para el manejo integral de cuencas; la geografía del paisaje para la gestión de desastres; la relevancia de emisión de gases por efecto invernadero, entre otros, integran diversos abordajes metodológicos innovadores que en su conjunto enriquecen los objetos de estudio y las diversas disciplinas y especialidades relacionadas con los fenómenos que se estudian en las Ciencias de la Tierra.

### MODELACIÓN EN LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR FENÓMENOS NATURALES

Eduardo Reinoso  
Mario Ordaz  
Mauro Niño  
Benjamín Huerta

#### Resumen

En este capítulo se presentan los avances logrados en la modelación para la estimación del riesgo en la infraestructura sujeta a la acción de fenómenos naturales como son: sismos, huracanes o inundaciones, tomando en cuenta de manera cuantitativa, a través de modelos matemáticos que describen estos fenómenos, las características necesarias para estimar sus intensidades y sus tasas anuales de excedencia, de igual forma, se estima el daño que la infraestructura podría sufrir como un porcentaje de su costo de reposición, considerando sus principales características estructurales y geométricas. Para lograr lo anterior, se emplean sistemas de información geográfica y programas de computadora *ad hoc* que permiten estimar el riesgo a través de indicadores como la pérdida anual esperada o la pérdida máxima probable. La modelación del riesgo es una herramienta importante y poderosa cuyos resultados sirven como base para diseñar e implementar estrategias que ayuden a crear programas de reducción de la vulnerabilidad, planeación territorial, planes de respuesta y preparación para el caso de emergencias o programas de reconstrucción, de tal forma que las capacidades de respuesta ante la ocurrencia de un fenómeno natural no se vean excedidas.

#### Abstract

This paper presents the progress in the modeling for risk estimation in infrastructure subject to the action of natural phenomena such as earthquakes, hurricanes or floods, taking into account quantitatively, through mathematical models that describe these phenomena, the characteristics necessary to estimate their intensities and their annual rates of exceedance, similarly, it is estimated that the infrastructure damage could suffer as a percentage of replacement cost, considering its main structural and geometric characteristics. To achieve this, they use geographic information systems and software that enable *ad hoc* estimate risk through indicators such as the expected annual loss or probable maximum loss. The risk modeling is an important and powerful tool whose results serve as a basis for designing and implementing strategies that help create programs to reduce vulnerability, territorial planning, preparedness and response plans for emergencies and reconstruction programs, of so that response capabilities to the occurrence of a natural phenomenon are not exceeded.

#### Introducción

Los catastróficos impactos socioeconómicos sufridos durante las últimas décadas a raíz de desastres por fenómenos naturales, no solo en nuestro país sino alrededor del mundo, indican la alta vulnerabilidad que presentan los asentamientos humanos (rurales y urbanos), y la deficiencia en los niveles de protección financiera y social que se implementan para solventar el costo de las pérdidas económicas y humanas asociadas.

Un elemento clave para el desarrollo sustentable de cualquier región es el conocimiento del riesgo existente y las causas que lo generan, de tal forma que se puedan desarrollar diferentes planes y estrategias encaminadas a la prevención y mitigación de los daños ocasionados por fenómenos naturales. Para ello, es importante conocer con el mayor detalle posible, los tres componentes que lo definen: amenaza, exposición y vulnerabilidad.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se han desarrollado una gran cantidad de modelos que sirven para definir, de manera georreferenciada, no solo la intensidad de los diferentes eventos producidos por fenómenos naturales como sismos, huracanes, inundaciones o deslizamientos de laderas, sino también, para caracterizar el comportamiento de la diferente infraestructura que se puede localizar en una región de estudio y estimar, en términos probabilistas, el riesgo generado. Estos modelos se han implementado en herramientas que ya se encuentran en operación como el R-FONDEN (Banco Mundial, 2012a), herramienta que emplea la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) para llevar a cabo la transferencia del riesgo de la infraestructura pública, o la plataforma CAPRA, iniciativa impulsada por el Banco Mundial (2012b) para la estimación del riesgo a través de metodologías estandarizadas que ayuden en la toma de decisiones sobre gestión del riesgo en diferentes países alrededor del mundo.

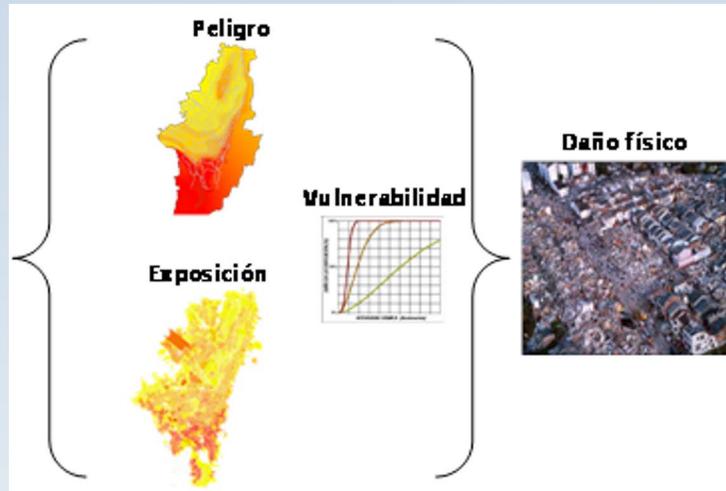
La modelación del riesgo es una herramienta importante y poderosa cuyos resultados sirven como base para diseñar e implementar estrategias que ayuden a los países, estados o municipios a llevar a cabo programas de reducción de la vulnerabilidad, planeación territorial, planes de respuesta y preparación para el caso de emergencias o programas de reconstrucción, de tal forma que sus capacidades de respuesta ante la ocurrencia de un fenómeno natural no se vean excedidas.

### **Modelo probabilista del riesgo**

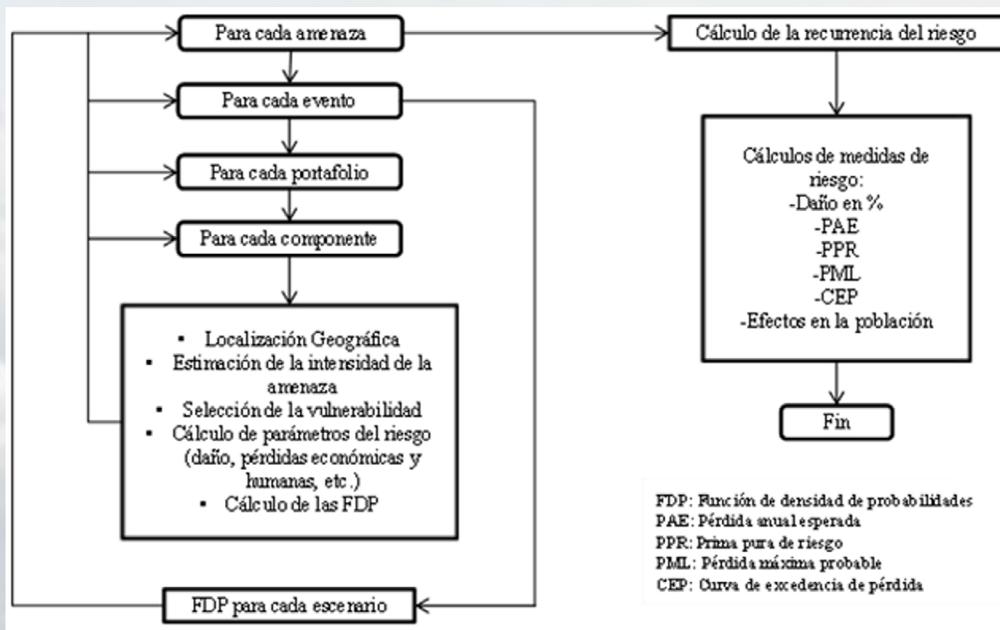
En la actualidad se cuenta con una limitada cantidad de datos e información histórica acerca de eventos catastróficos, debido en algunos casos a la ocurrencia de desastres de baja frecuencia de repetición, y en otros, a desastres con una ventana temporal de atención reciente y corta. Considerando la posibilidad de presentarse eventos futuros altamente destructivos, la estimación del riesgo debe enfocarse en modelos probabilistas, que permitan emplear la escasa información disponible para predecir posibles escenarios catastróficos, en los cuales se considere la alta incertidumbre involucrada en el análisis.

Considerando las grandes incertidumbres asociadas a la estimación de la severidad y frecuencia de recurrencia de desastres naturales, la evaluación del riesgo se basa en formulaciones probabilísticas que incorporan la incertidumbre en la estimación del riesgo.

Estimar el riesgo de desastres significa estimar el daño en las diferentes poblaciones y activos expuestos en lugares de interés, calculando su vulnerabilidad ante fenómenos (naturales o antropogénicos) específicos y obteniendo la probabilidad y la intensidad con que uno de estos fenómenos llegue a ocurrir. A través de la combinación de estos parámetros, es posible obtener un valor cuantitativo de los activos en riesgo para un peligro o amenaza esperada. La estimación cuantitativa del riesgo se expresa en términos económicos o número de muertos o heridos. Para ello, se requieren datos de entradas confiables, definidos también en términos cuantitativos. Los principales datos de entrada para la estimación del riesgo son: peligro, exposición y vulnerabilidad (fig. 1).



Como resultado del análisis de riesgo, en la figura 2 se presenta de manera resumida el procedimiento para la estimación probabilista del riesgo y sus diferentes medidas.



## Modelación de la amenaza

La amenaza asociada con un fenómeno natural se mide mediante la frecuencia de ocurrencia y la severidad medida mediante algún parámetro de intensidad del peligro determinado en una ubicación geográfica específica. El análisis de amenaza está basado en la frecuencia histórica de eventos y en la severidad de cada uno de ellos. Una vez que se definen los parámetros de amenaza, es necesario generar un conjunto de eventos estocásticos que definen la frecuencia y severidad de miles de eventos, representando así los parámetros principales de la amenaza en la región. El análisis de amenaza genera valores de los parámetros de intensidad definidos para cada una de las amenazas estudiadas y para cada uno de los eventos estocásticos planteados, mediante la modelación analítica de cada uno de los fenómenos.

Para lograr lo anterior, se han desarrollado una serie de modelos analíticos probabilistas para los principales fenómenos naturales tales como sismos, huracanes, lluvias intensas, inundaciones, deslizamientos y erupciones volcánicas. Como se muestra en la tabla I, cada uno de estos fenómenos de la naturaleza produce diferentes tipos de peligros, se deben considerar específicamente los eventos que pueden desencadenar situaciones de desastre.

Tabla I Fenómenos y amenazas

Fenómeno natural	Peligro
Sismos	Movimiento del terreno
	Tsunami
	Deslizamiento
	Licuación
Erupciones volcánicas	Caída de cenizas
	Flujos de lava
	Lahar
	Flujo piroclástico
Ciclón tropical	Viento
	Marea de tormenta
	Inundación
	Deslizamiento
	Socavación
Tormentas, ondas gélidas, ondas tropicales	Granizo
	Nieve
	Viento
	Marea de tormenta
	Inundación
	Deslizamiento
	Socavación

El objetivo principal del análisis probabilista de amenazas es proporcionar la información necesaria de amenazas con el fin de calcular en forma confiable los diferentes parámetros probabilistas relacionados con las pérdidas y efectos de los diferentes fenómenos naturales, para diferentes periodos de retorno en el rango entre 10 y 1000 años siempre que sea posible, aunque pueden usarse periodos mayores en ciertos casos específicos como el de erupciones volcánicas.

Para cada uno de los peligros se construye un conjunto de escenarios estocásticos cada uno de ellos calificado con su frecuencia y severidad, con base en la mejor información disponible al igual que en la opinión general de expertos en los diferentes campos.

El resultado de la evaluación de la amenaza es una base de datos para cada uno de los peligros estudiados que contiene un conjunto de eventos estocásticos, característicos de la amenaza total, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos, que corresponden a todos los posibles escenarios de amenaza que pueden presentarse en la región. Cada uno de los análisis de amenaza arroja una distribución geográfica en un área de influencia determinada de valores de intensidad particulares.

Otra forma de representar la amenaza es a través de curvas que representan, para un sitio en específico, la intensidad esperada de un evento dado (aceleración máxima del suelo, velocidad de viento, tirante de agua, etc.) asociado a un periodo de retorno o a su inverso, una tasa de excedencia.

## Amenaza sísmica

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se ha trabajado durante varios años en la modelación del peligro sísmico, como producto de lo anterior se propone la siguiente metodología para la definición del peligro sísmico que contempla los siguientes pasos:

1.- Definición y caracterización de las fuentes sismogénicas principales a partir de la información geológica y geotectónica.

2.- Definición de parámetros de sismicidad a las diferentes fuentes sísmicas. Estos parámetros se emplearán para definir la posible ocurrencia de futuros eventos sísmicos, a través de un proceso de Poisson (ecuación 1) o empleando el modelo del temblor característico (ecuación 2).

$$\lambda_i(M) = \lambda_{0i} \frac{e^{-b_i M} - e^{-b_i M_{ui}}}{e^{-b_i M_0} - e^{-b_i M_{ui}}} \quad (1)$$

Donde,

$M_0$  es la mínima magnitud relevante, tomada como 4.5 en este estudio;  $\lambda_{0i}$ , corresponde al número promedio de eventos por año de sismos con magnitud mayor que 4.5 que se producen en una determinada fuente;  $b_i$  es la pendiente del tramo inicial de la curva de recurrencia de magnitudes;  $M_{ui}$  es la máxima magnitud que puede generarse en cada fuente y se estima con base en la máxima longitud de ruptura posible de cada una de las fuentes y en otras características morfotectónicas (2)

$$\lambda(M) = \lambda(7) \left[ 1 - \Phi \left( \frac{M - EM}{\sigma_M} \right) \right] ; \quad M > 7$$

Donde  $\lambda(7)$ ,  $EM$  y  $\sigma_M$  son parámetros que se deben obtener estadísticamente para la zona mexicana de subducción, y  $\Phi$  es la función de distribución normal estándar.

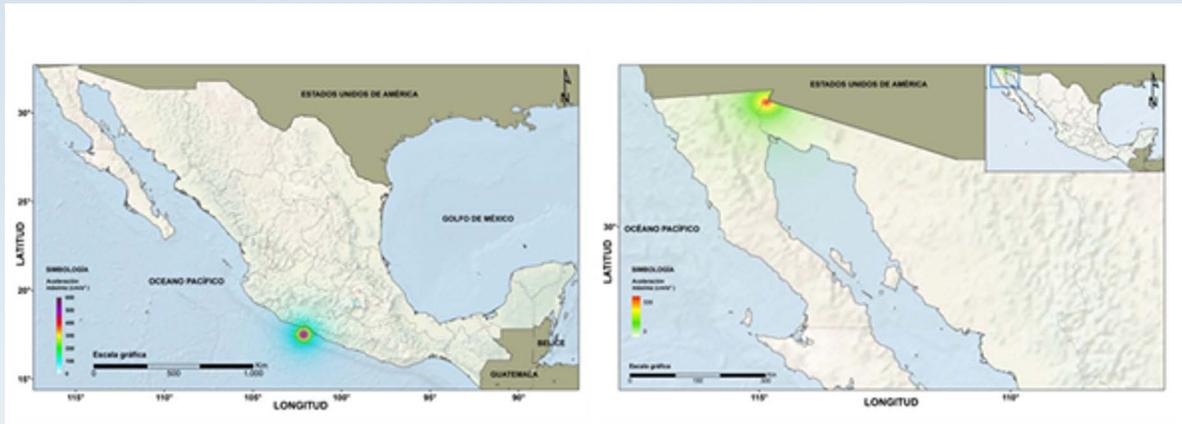
Estos parámetros, diferentes para cada fuente, definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas, y se estiman por medio de procedimientos estadísticos bayesianos (Rosenblueth *et al.*, 1989; Ordaz *et al.*, 1995) que incluyen información sobre regiones tectónicamente similares a las del país (a través de información validada por expertos), especialmente sobre el valor de  $M_{ui}$ .

3.- Generación de un conjunto de eventos estocásticos compatible con la distribución de ubicación, profundidad, frecuencias y magnitudes. Para cada fuente definida se generan una serie de escenarios de diversas magnitudes, cuyas probabilidades de ocurrir se calculan con base en la curva de recurrencia de magnitudes específica de esa fuente.

4.- Atenuación de parámetros de movimiento del terreno con base en leyes de atenuación que mejor representen las condiciones del movimiento entre las fuentes y los sitios donde se calcula la amenaza, ya sean leyes existentes en la literatura o creadas con información de datos locales.

5.- Generación de mapas de amenaza de eventos representativos con una distribución espacial de intensidad sísmica (valores espectrales) para cada evento. En la figura 3 se presentan de manera ilustrativa las aceleraciones máximas del suelo (PGA) para dos eventos sísmicos simulados, la figura 3a corresponde a las PGA de un sismo de subducción en la costa de Guerrero con una magnitud igual a 8.2 y

la figura 3b corresponde a las PGA de un sismo simulado de magnitud 7.2 en la región noroeste del país debido a la falla de San Andrés.



a) PGA para un sismo  $M_w = 8.2$

b) PGA para un sismo  $M_w = 7.2$

Figura 3. Mapas de intensidades sísmicas

6.- Modificación de parámetros de amenaza por efectos de sitio ya que la respuesta dinámica de depósitos de suelo modifica las características del movimiento en amplitud, contenido de frecuencias y duración ocasionando efectos de aumento y disminución de la intensidad. Con la información obtenida se modifican directamente los mapas calculados en el paso (5).

7.- Aplicación del modelo probabilístico de amenaza sísmica para la obtención de mapas de amenaza sísmica para diferentes periodos de retorno. La amenaza  $v(Sa)$ , expresada en términos de las tasas de excedencia de intensidades  $Sa$ , se calcula mediante la siguiente expresión

$$v(Sa) = \sum_{i=1}^N \int_{M_0}^{M_{ui}} -\frac{d\lambda(M)}{dM} \Pr(SA > Sa | M, R_i) dM \quad (3)$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas  $N$ , y  $\Pr(SA > Sa | M, R_i)$  es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor dadas la magnitud del sismo,  $M$ , y la distancia entre la  $i$ -ésima fuente y el sitio,  $R_i$ . Las funciones  $\lambda_i(M)$  son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza desde  $M_0$  hasta  $M_{ui}$ , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes. En la figura 4 se presentan mapas de amenaza sísmica para diferentes periodos de retorno obtenidos al aplicar la metodología mencionada anteriormente.

### Amenaza de viento

En las últimas décadas, en las regiones que se ven afectadas por la influencia de ciclones tropicales, se han invertido muchos esfuerzos por encontrar algún modelo numérico que permita determinar las condiciones costeras debidas a la presencia de huracanes, siendo los del tipo paramétrico los que más éxito han tenido.

Los modelos paramétricos de presión y viento dependen de la información siguiente: posición del ojo del huracán, presión central, velocidad máxima de viento sostenida en el ojo del huracán y radio ciclostrofico, conocido también como radio de máximo gradiente. Todos estos parámetros se pueden encontrar en boletines climatológicos, con excepción del radio ciclostrofico, por lo que para determinarlo se utiliza la siguiente expresión (Silva *et al.*, 2002):

$$R = 0.4785P_o - 413.01 \quad (4)$$

Donde  $R$  es el radio ciclostrófico en kilómetros y  $P_o$  la presión central en milibares.

Un modelo paramétrico de ciclones tropicales que se emplea para la estimación del riesgo fue desarrollado por Silva *et al.* (2002), el cual está compuesto por los submodelos de presión y viento. El modelo de presión está representado por la siguiente relación:

$$Pr = P_o + (P_N - P_o)e^{-R/r} \quad (5)$$

donde  $P_o$  es la presión en el centro del huracán,  $Pr$  es la presión a una distancia radial,  $r$  en km,  $P_N$  define a la presión normal y es igual a 1013 milibares y  $R$  es el radio de máximos vientos ciclostróficos.

Por otro lado, la velocidad del viento evaluada a diez metros sobre el nivel del mar, en km/h, para un ciclón en movimiento y para una distancia  $r$  medida desde el centro del ciclón, está dada por:

$$W = 0.886 \left[ F_v U_R + 0.5 V_F \cos(\theta + \beta) \right] \quad (6)$$

donde  $W$  es la velocidad del viento sostenida a 10 metros sobre el nivel del mar,  $V_F$  es la velocidad de desplazamiento del huracán,  $(\theta + \beta)$  es el ángulo formado por la dirección de desplazamiento del ciclón y un punto a una distancia  $r$ ,  $F_v = U_r/U_R$  es la relación de la velocidad de viento a una distancia radial  $r$  y el máximo gradiente de vientos.

Además de lo anterior, para calcular las velocidades de viento para una ubicación en tierra se emplea la expresión propuesta en el manual de obras civiles (CFE, 1993). En la figura 5 se muestran un mapa con valores esperados de velocidades máximas de viento para un huracán similar al huracán Emily, ocurrido en el 2005.

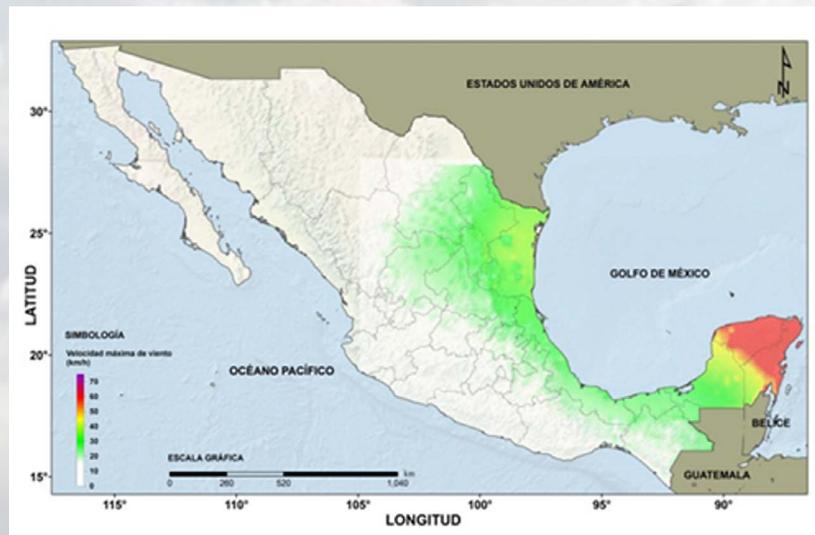


Figura 5. Mapas de velocidades máximas de viento para un huracán como Emily (2005).

## Amenaza de inundación

En el Instituto de Ingeniería también se han desarrollado metodologías para la estimación de manchas de inundación debido a precipitaciones intensas. La metodología propuesta se resume en los siguientes pasos:

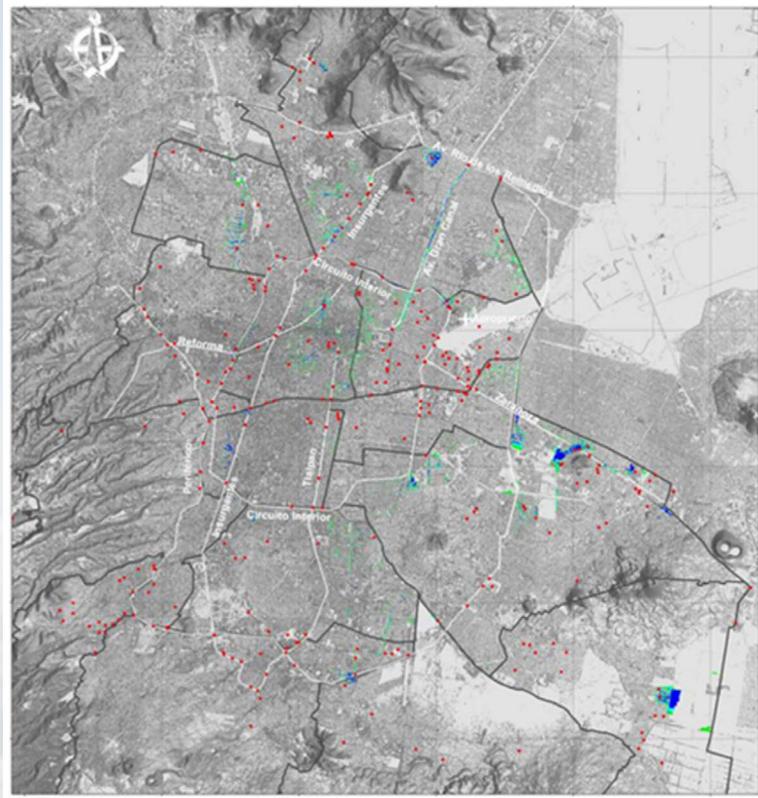
1. **Estimación de escenarios de precipitación a partir de registros históricos:** Utilizando la metodología de análisis objetivo mostrada en Vázquez (2000) y Méndez (2010), se obtienen mallas regulares de precipitación (modelos digitales en formato *grid*) a partir de un campo inicial, el cual se modifica sucesivamente mediante una función que pondera la información disponible en las estaciones climatológicas cercanas al sitio de estudio dentro de un radio de influencia especificado. Inicialmente se utilizará como campo inicial el conjunto de datos asimilados conocido como los Reanálisis Regionales de Norteamérica, NARR por sus siglas en inglés (Mesinger et al. 2005).
2. **Estimación de la probabilidad de ocurrencia de los escenarios históricos:** A partir de mapas digitales de isoyetas del país asociadas a diferentes periodos de retorno para una duración de 24hrs. se realiza un proceso de interpolación en donde pixel por pixel se determina el periodo de retorno de cada una de las precipitaciones consideradas de tal manera que al final se conozca el periodo de retorno al que se encuentra asociada la malla de precipitación evaluada. La probabilidad de excedencia del escenario  $k$  será igual a la multiplicatoria de las probabilidades de excedencia de las intensidades  $y_i$  en el pixel  $i$  como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Pr(k) = \prod_{i=1}^{N_{\text{pixeles}}} \Pr(y_i) \quad (7)$$

3. **Cálculo de la precipitación media por escenario para cada una de las cuencas:** Para las subcuencas en estudio se determina la precipitación media asociada a cada escenario de precipitación mediante el uso de herramientas y programas que faciliten la manipulación de Sistemas de Información Geográfica. El procedimiento consiste en determinar cuál es el promedio de precipitación que se encuentra dentro de la subcuenca en estudio.
4. **Cálculo de volúmenes de escurrimiento asociados a escenarios de precipitación para las cuencas analizadas:** Mediante el uso del método racional americano, se determinan los volúmenes de escurrimiento para cada una de las subcuencas analizadas. Para esto se utiliza información sobre las propiedades de las subcuencas (parteaguas, área, cauces principales, pendiente, tiempo de concentración, etc.).
5. **Estimación de las manchas de inundación para cada escenario de precipitación:** Para estimar las manchas de inundación correspondientes a los distintos escenarios de precipitación se elaboraron curvas de Volumen-Elevación para cada una de las subcuencas en las que se dividen las zonas de estudio. Para conocer el tirante de agua en una ubicación dada, únicamente se obtiene la diferencia entre la cota de inundación y la elevación natural del terreno en el punto deseado. Este procedimiento acumula el volumen de agua desde las zonas más bajas hasta las más altas de las cuencas analizadas.

Para llevar a cabo el último paso, se recurre a tecnología LIDAR, la cual permite hacer mediciones con láser de la topografía de un lugar desde una aeronave, proporcionando información tridimensional acerca de la forma de la superficie terrestre. La definición que se alcanza mediante esta tecnología permite obtener detalles sobre los árboles, arbustos, edificaciones, entre otros.

Una vez conocida la relación existente entre la elevación y el volumen de inundación para cada subcuenca, se utilizan los volúmenes de escurrimiento estimados para cada uno de los escenarios propuestos y se extrae la elevación de la superficie de agua asociada. En la figura 6 se puede observar un ejemplo de mapa de inundación, utilizando la metodología descrita. Como es de esperarse, los mayores tirantes se generarán en las zonas más bajas de cada subcuenca.



**Figura 6.** Ejemplo de manchas de inundación utilizando tecnología LIDAR.

### **Caracterización de la exposición**

La exposición se refiere principalmente a los componentes de infraestructura o a la población expuesta que puede verse afectada por un evento determinado. Para realizar la caracterización de la exposición es necesario identificar los diferentes componentes individuales incluyendo su ubicación geográfica, sus características geométricas, físicas e ingenieriles principales, su vulnerabilidad ante el evento amenazante, su valoración económica y el nivel de ocupación humana que puede llegar a tener en un escenario de análisis determinado.

Los valores de exposición de bienes en riesgo se estiman a partir de fuentes de información secundaria como bases de datos existentes, o pueden ser derivados por medio de procedimientos simplificados basados en información social y macro económica general, como densidad poblacional, estadísticas de construcción o información particular más específica. Con base en la información disponible, se crea una base de datos de exposición, construida de manera geo-referenciada, donde se incluye toda la información específica requerida para el análisis.

Por otro lado pueden utilizarse una serie de herramientas útiles para levantar información a partir de imágenes satelitales, fotografías aéreas o directamente mediante visitas de campo. Estas herramientas permiten conformar bases de datos georreferenciadas con algunas características básicas tales como tipo constructivos, área y número de pisos, lo cual puede luego complementarse con estadísticas de la zona, con zonificaciones previas de los tipos constructivos en la ciudad o mediante observaciones directas de campo.

El análisis debe en general incluir todos los activos físicos sujetos a riesgo por cuenta de cualquiera de las amenazas mencionadas. Dentro de los activos se incluyen las obras de infraestructura principales:

- Edificios
- Casas
- Instalaciones industriales
- Caminos y carreteras
- Puentes
- Sistema eléctrico incluyendo generación, subestaciones y transmisión
- Sistema de comunicaciones
- Sistemas de tuberías (agua potable, alcantarillado, oleoductos, gasoductos, etc.)
- Túneles
- Presas
- Plantas nucleares

### **Costo de reconstrucción**

El costo de reconstrucción es un insumo de gran importancia para la definición de los estimadores puntuales del riesgo. La valoración incluye tanto el valor del bien como tal (elementos estructurales y no estructurales principales) como la valoración de contenidos susceptibles al daño. Por ejemplo, para el caso de inundaciones normalmente los daños están asociados a los contenidos y a una porción de la estructura que requiere reparación y mantenimiento después de ocurrido el desastre.

### **Modelación de la vulnerabilidad**

La caracterización de la vulnerabilidad se realiza mediante la generación de funciones que relacionan el nivel de daño de cada componente con la intensidad del fenómeno de amenaza. La función de vulnerabilidad debe estimarse para cada uno de los tipos constructivos característicos, de manera que puedan asignarse a cada uno de los componentes de la base de datos de exposición. Mediante las funciones de vulnerabilidad asignadas es posible cuantificar el daño o afectación producida en cada uno de los activos ante la acción de un evento determinado, caracterizado por alguno de los parámetros de intensidad. Cada función de vulnerabilidad está caracterizada por un valor medio y una varianza con lo cual es posible estimar su función de probabilidad respectiva.

En general las funciones de vulnerabilidad se definen utilizando uno o varios de los siguientes tipos de información:

- Modelos analíticos.
- Ensayos de laboratorio.
- Datos estadísticos.
- Opinión de expertos.

A continuación, se presenta una descripción sobre la obtención de funciones de vulnerabilidad para la amenaza sísmica.

## Vulnerabilidad sísmica

### Daño esperado

En el desarrollo metodológico que se presenta a continuación, la intensidad sísmica se mide principalmente a través de la aceleración espectral y el comportamiento de la estructura está definido en términos de la distorsión máxima de entrepiso, por considerarse como el parámetro que mejor refleja el daño que la estructura podría sufrir ante tal intensidad (BSSC, 1997; Bertero *et al.*, 1991; Priestley, 1997; Sözen, 1997).

Considerando que el daño está expresado en general en términos de la distorsión máxima de entrepiso, es necesario transformar las funciones de vulnerabilidad para que queden expresadas en términos del parámetro requerido por la amenaza. Además, para su estimación debe considerarse el comportamiento inelástico de la estructura, para lo cual debe recurrirse a algún método aproximado de cálculo inelástico de respuesta sísmica estructural.

Para lograr lo anterior, se emplea el método del espectro de capacidad (Freeman, 1975; ATC-40, 1996) para definir el comportamiento inelástico de la estructura y las expresiones propuestas por Miranda (1999) para definir la distorsión máxima de entrepiso asociada al desplazamiento lateral presentado, donde, a partir de la aceleración espectral es posible determinar la máxima distorsión de entrepiso con la siguiente expresión:

$$\gamma_i = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 T^2}{4 \pi^2 N h} Sa(T) \quad (8)$$

donde,  $\beta_1$  es la relación entre el máximo desplazamiento lateral en el nivel superior de la estructura y el desplazamiento espectral, considerando un modelo de comportamiento elástico lineal,  $\beta_2$  describe la relación entre la máxima distorsión de entrepiso y la distorsión global de la estructura, que se define como el máximo desplazamiento lateral en la azotea dividido por la altura total,  $\beta_3$  expresa la relación entre el máximo desplazamiento lateral del modelo de comportamiento inelástico, y el desplazamiento máximo del modelo elástico lineal,  $\beta_4$  es el factor que considera que la distribución de la carga lateral con la altura es diferente en el modelo elástico y en el inelástico (Miranda, 1997),  $h$  es la altura de cada piso de la estructura,  $N$  es el número de entrepisos y  $Sa(T)$  es la aceleración espectral, que depende del periodo fundamental de vibración, el amortiguamiento de la estructura y la amenaza sísmica en el sitio.

Finalmente, el daño esperado en una edificación, para un valor dado de intensidad sísmica,  $\gamma_i$ , el valor esperado de  $\beta$  se puede calcular empleando la siguiente expresión (Miranda, 1999; Ordaz, 2000).

$$E(\beta | \gamma_i) = 1 - \exp \left[ \ln 0.5 \left( \frac{\gamma_i}{\gamma_0} \right)^\epsilon \right] \quad (9)$$

### Desviación estándar del daño

En forma complementaria a la estimación del valor esperado del daño como función del parámetro de intensidad de entrada, se debe plantear la desviación estándar de esta función. Para efectos de esta

estimación se propone la utilización de la función que se presenta en la Figura 7, la cual relaciona la desviación estándar del daño con la misma medida de intensidad planteada anteriormente.

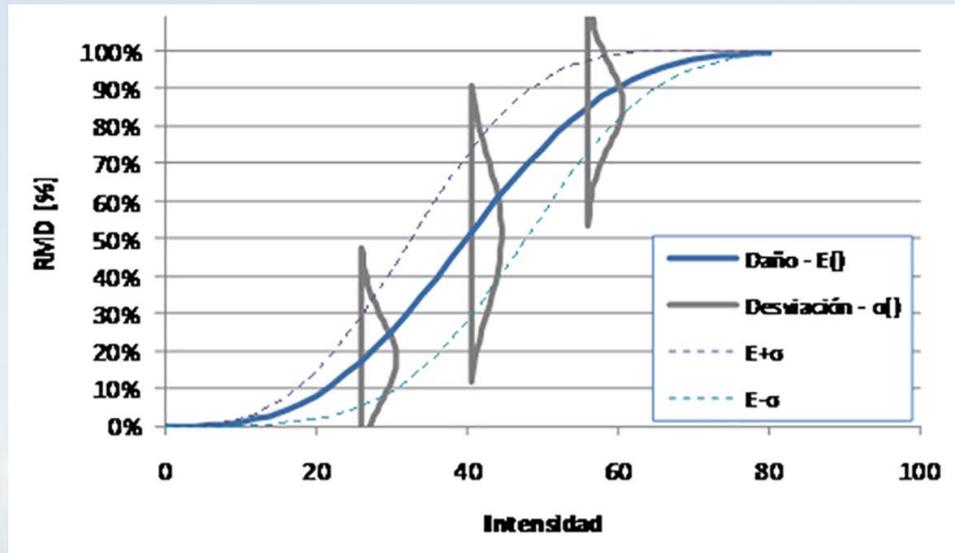


Figura 7. Consideración de una distribución Beta

Además, se considera que la densidad de probabilidades del daño es de tipo Beta y está dada por la siguiente ecuación:

$$p_{\beta|\gamma_i}(\beta) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \beta^{a-1} (1-\beta)^{b-1} \quad (10)$$

donde:  $a$  y  $b$  son parámetros que pueden calcularse a partir de la media y el coeficiente de variación del daño,  $C(\beta)$ , de la siguiente manera

$$a = \frac{1 - E(\beta|\gamma_i) - E(\beta|\gamma_i) C^2(\beta)}{C^2(\beta)} \quad (11)$$

$$b = a \left[ \frac{1 - E(\beta|\gamma_i)}{E(\beta|\gamma_i)} \right] \quad (12)$$

$C^2(\beta)$  se calcula como

$$C^2(\beta) = \frac{\sigma_{\beta}^2(\beta|\gamma_i)}{E(\beta|\gamma_i)} \quad (13)$$

donde  $\sigma_{\beta}^2(\beta|\gamma_i)$  es la varianza de la pérdida.

Para fijar la variación de la varianza de la pérdida se ha utilizado la expresión de la distribución de probabilidad asignada en el estudio clásico del informe ATC-13 (ATC-13, 1985) cuya varianza tiene la siguiente forma funcional:

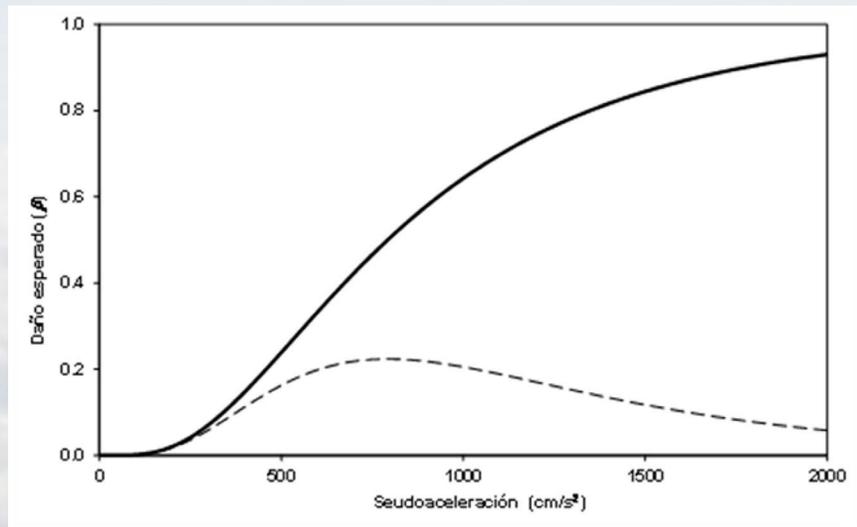
$$\sigma_{\beta}^2(\beta|\gamma_i) = Q [E(\beta|\gamma_i)]^{r-1} [1 - E(\beta|\gamma_i)]^{s-1} \quad (14)$$

$$Q = \frac{V_{\max}}{D_0^{r-1} (1 - D_0)^{s-1}} \quad (15)$$

$$s = \frac{r-1}{D_0} - r + 2 \quad (16)$$

$V_{\max}$ ,  $D_0$  y  $r$  son parámetros que dependen del tipo estructural,  $V_{\max}$  es la varianza máxima,  $D_0$  es el nivel de daño para el que ocurre esta varianza máxima y  $r$  se considera igual a tres.

Una vez determinados el valor esperado y la varianza de la pérdida, queda completamente definida la distribución de probabilidades del daño esperado dado un valor de intensidad sísmica. En la figura 8 se presenta una curva obtenida con una función de vulnerabilidad y la desviación estándar asociada para cada una de las intensidades de amenaza dadas.



**Figura 8.** Curva de vulnerabilidad sísmica y su desviación estándar asociada.

Así como se han presentado las bases para la estimación de la vulnerabilidad estructural ante acciones sísmicas, el Instituto de Ingeniería ha desarrollado diferentes metodologías para la estimación de la vulnerabilidad estructural y humana ante la acción de otros fenómenos naturales como viento, inundación, deslizamiento de laderas, licuación de arenas, tsunami y marea de tormenta, entre otros.

### Estimación del riesgo

Con base en los modelos probabilistas de amenaza propuestos y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes, se ha desarrollado un modelo de análisis de riesgo probabilista o modelación de pérdidas probabilística para el país o zona de análisis.

Para ello, es necesario plantear entonces la metodología específica de cálculo de las frecuencias de ocurrencia de niveles específicos de pérdidas asociados a los activos expuestos en lapsos determinados y ante la ocurrencia de amenazas naturales.

El riesgo por amenazas naturales es comúnmente descrito mediante la llamada curva de excedencia de pérdidas (loss curve) que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con que ocurrirán eventos en que se exceda un valor especificado de pérdidas. Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como tasa de excedencia, y puede calcularse mediante la siguiente ecuación, que es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} \Pr(P > p | \text{Evento } i) F_A(\text{Evento } i) \quad (17)$$

En la ecuación anterior  $v(p)$  es la tasa de excedencia de la pérdida  $p$  y  $F_A(\text{Evento } i)$  es la frecuencia anual de ocurrencia del evento  $i$ , mientras que  $\Pr(P > p | \text{Evento } i)$  es la probabilidad de que la pérdida sea superior a  $p$ , dado que ocurrió el  $i$ -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de  $v(p)$  es el periodo de retorno de la pérdida  $p$ , identificado como  $Tr$ .

El análisis probabilista de riesgo se realiza normalmente para un conjunto completo de escenarios especificados en las diferentes amenazas. Sin embargo, si así se desea, el análisis puede realizarse para un solo escenario (uno solo de los sumandos en la ecuación 17). Si se hace que la frecuencia anual de ocurrencia de este escenario sea 1, la aplicación de la ecuación 17 conduciría a las probabilidades de excedencia (ya no frecuencias anuales de excedencia) de valores de pérdida  $p$ , dado que el escenario en cuestión ocurrió.

## Estimadores del riesgo

- Pérdida Anual Esperada: la PAE se calcula como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para determinado evento, y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento en un periodo de un año, para todos los eventos estocásticos considerados. En términos probabilistas, la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual.
- Prima Pura de Riesgo: la PPR corresponde al valor de la PAE dividido por el valor de reposición del activo. Indica el costo que debe ser pagado anualmente para cubrir las pérdidas esperadas en un evento futuro. Se expresa en porcentaje o milésimas del valor de reposición.
- Curva de Excedencia de Pérdida: la CEP representa la frecuencia anual promedio con que determinada pérdida económica se verá excedida. Es la medida más importante en el manejo del riesgo, dado que brinda información básica para la planeación y destinación de recursos necesarios para cumplir con los objetivos de gestión particulares. La CEP se puede calcular a partir del mayor evento probable en un año, o de manera uniforme para todos los eventos posibles, en función de su periodo de retorno. Generalmente se prefiere el segundo enfoque, dado que permite considerar más de un evento catastrófico al año.
- Pérdida Máxima Probable (Probable Maximum Loss): la PML representa el valor de pérdida global en el portafolio para una tasa de excedencia dada. Dependiendo de la capacidad de la entidad para manejar el riesgo, se puede optar por gestionar pérdidas hasta determinado periodo de retorno.

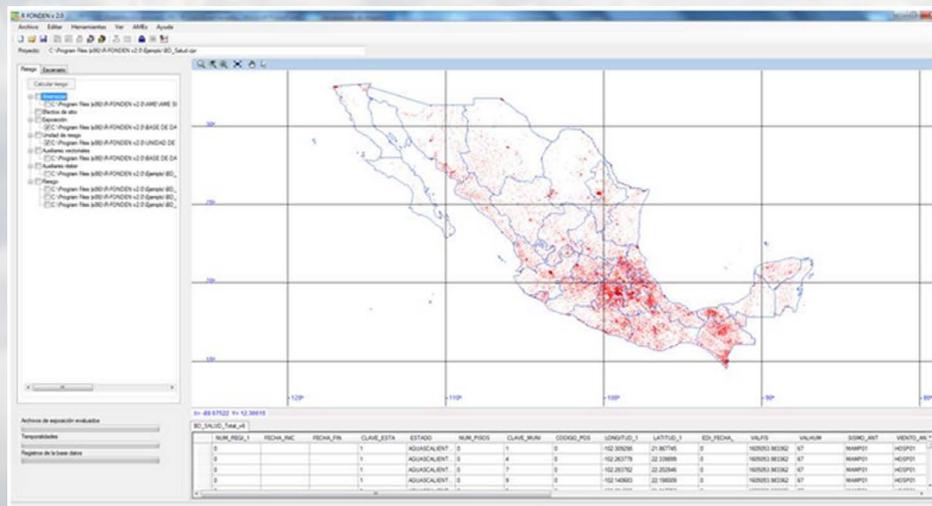
## Implementación de la modelación

### A) R-FONDEN

Desde el 2007, el Comité Técnico del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) ha llevado a cabo varios estudios para estimar, de una mejor manera, el riesgo por desastres naturales en México. El proyecto “Integración, análisis y medición de riesgo de sismo, inundación y ciclón tropical en México para establecer los mecanismos financieros eficientes de protección al patrimonio del fideicomiso FONDEN del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS)”, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, está enfocado en identificar los activos expuestos a desastres naturales como: carreteras, puentes, hospitales, escuelas, infraestructura hidráulica y viviendas en pobreza patrimonial, emplea los diferentes modelos mencionados anteriormente y los conjuga en una herramienta computacional llamada R-FONDEN (figura 9).



Carátula



Pantalla principal

Figura 9. Sistema para la cuantificación de pérdidas R-FONDEN.

El sistema R-Fondos se ha usado para mejorar las pólizas individuales de seguros de las diferentes dependencias federales, por ejemplo, permitió diseñar un esquema de aseguramiento para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a cargo de las carreteras y puentes federales, situación que anteriormente era imposible debido a la carencia de información. Además, este programa se empleó para diseñar el esquema de aseguramiento de la Secretaría de Educación Pública (World Bank, 2012).

## B) CAPRA

A partir del 2009, el Banco Mundial ha implementado una iniciativa en el Centro y Sudamérica, que consiste en crear grupos especializados para la gestión del riesgo conformados por académicos de diferentes universidades, servidores públicos de los diferentes gobiernos e ingenieros expertos de la práctica. El objetivo de esta iniciativa es desarrollar herramientas de evaluación y comunicación de riesgo con el fin de sensibilizar a tomadores de decisiones acerca del potencial de desastres de origen natural, formular estrategias de gestión de riesgos a nivel nacional, estatal y regional, con el fin de desarrollar una metodología común para evaluar y cuantificar el riesgo de desastres.

Para ello, se ha desarrollado una plataforma para la modelación probabilista del riesgo compuesta por diferentes elementos que permiten estimar diferentes amenazas como: sismo, lluvia, inundación, deslizamiento, y para la definición de la vulnerabilidad. Todo lo anterior se conjuga en una herramienta denominada CAPRA-SIG.

En la figura 10 se presenta la pantalla principal del programa CAPRA-SIG (World Bank, 2009) donde se aprecia en un mapa de la República Mexicana, la ubicación de las diferentes unidades médicas a cargo de la Secretaría de Salud y la amenaza de viento ocasionada por el huracán Stan, que afectó al país en el 2005.

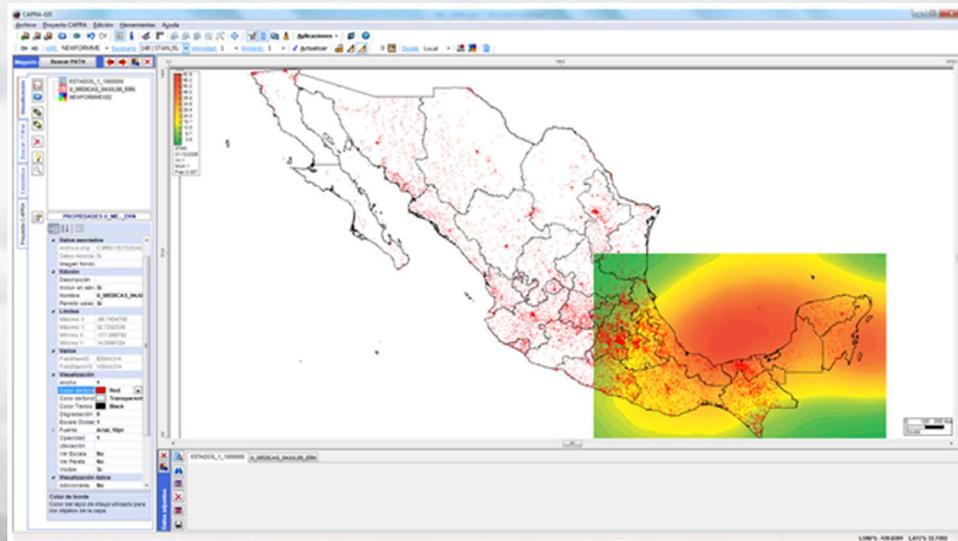


Figura 10. Pantalla principal del programa CAPRA-SIG.

## Conclusiones

con base en los modelos de amenaza probabilistas mencionados y en el inventario y valoración de activos expuestos con sus funciones de vulnerabilidad correspondientes, es posible llevar a cabo el análisis de riesgo probabilista o modelación de pérdidas probabilística para un país o zona de análisis.

El conocimiento de las condiciones regionales de ocurrencia de eventos peligrosos, así como las características reportadas sobre eventos históricos importantes, proveen una primera idea del potencial destructivo de los fenómenos que amenazan la región, y permite conocer anticipadamente, de manera aproximada, los periodos de retorno de los eventos más importantes.

Los avances actuales en el desarrollo y presentación de la información geográfica y georreferenciada, permiten adelantos importantes en los análisis de amenaza de eventos recurrentes. La distribución espacial de intensidades asociadas a fenómenos naturales adversos, es un insumo fundamental para la posterior evaluación del riesgo. El manejo de este tipo de información por medio de capas en sistemas de información geográfica, permite la automatización de los procesos de cálculo de riesgo, así como una comunicación simple y ágil de resultados.

La estimación de la vulnerabilidad estructural ante diversos fenómenos naturales a través de métodos cuantitativos hace posible expresar el riesgo a través de diferentes indicadores puntuales necesarios para la gestión integral del riesgo.

Con este tipo de herramientas e iniciativas, hoy en día es posible generar información para llevar a cabo una gestión integral del riesgo, desde su transferencia hasta su prevención y mitigación a través de planes e iniciativas que ayuden en la toma de decisiones, logrando con esto, una mejor calidad de vida para la sociedad.

## **Reconocimientos**

Los resultados y metodologías presentados en este trabajo han sido producto de varios años de investigación desarrollada por los autores en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y en ERN, Evaluación de Riesgos Naturales y Antropogénicos con la colaboración de Miguel A. Jaimes, Carlos Avelar, Marco A. Torres y Octavio Hinojosa.

## **Referencias**

- Applied Technology Council (1996).ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council, Redwood City California, EUA.
- Banco Mundial (2012a).FONDEN, Mexico's Natural Disaster Fund – A Review. Publicación conjunta del Banco Mundial y el Gobierno de México para la reunión del grupo G20 en Los Cabos, México.
- \_\_\_\_\_. Mundial (2012b). <http://www.ecapra.org> (página electrónica consultada el 20/09/2012).
- Bertero V., Anderson J.C., Krawinkler H. y Miranda E. (2001). Design guidelines for ductility and drift limits: Review of the state-of-the-practice and state-of-the-art in ductility and drift-based earthquake-resistance design of buildings. Reporte UCB/EERC-91/15, Earthquake Engineering research Center, Universidad de California, Berkeley.
- Building Seismic Safety Council (BSSC) (1997).NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- CFE, Comisión Federal de Electricidad (1993). Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Viento. Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, México.
- Freeman, S.A., Nicoletti, J.P. y Tyrell, J.V. (1975). Evaluations of Existing Buildings for Seismic Risk - A Case Study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington. Memorias del Congreso Nacional de EUA de Ingeniería Sísmica, Berkeley, U.S.A., pp. 113-122

- Méndez M. (2010). Variabilidad espacio-temporal de la sequía meteorológica en México: Aspectos dinámicos. Tesis Doctoral, Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM.
- Mesinger F., DiMego G., Kalnay E., Mitchell K., Shafran P.C., Ebisuzaky W., Jovic D., Woollen J., Rogers E., Berbery E.H., Ek M.B., Fan Y., Grumbine R., Higgins W., Li H., Lin Y., Manikin G., Parrish D. y Shi W. (2005). North American Regional Reanalysis, Bull. Amer. Meteor. Soc., 87:3, pp. 343-360.
- Miranda, E. (1997). Estimation of Maximum Interstory Drift Demands in Displacement-Based Design. Seismic design Methodologies for the Next Generation of Codes, H. Krawinkler and P. Fajfar editor, Balkema.
- \_\_\_\_\_, E. (1999). Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 4, pp. 417-425.
- Ordaz, M., Arboleda, J. y Singh, S.K. (1995). A scheme of random summation of an empirical Green's function to estimate ground motions from future large earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am. 95.
- \_\_\_\_\_, M. (2000). Metodología para la Evaluación del Riesgo Sísmico Enfocada a la Gerencia de Seguros por Terremoto. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF.
- Priestley, M.J.N. (1997). Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 1 No. 1, pp. 157-192.
- Rosenblueth, E., Ordaz M., Ssnchez Sesma, F.J. y Singh S.K. (1989). Design Spectra for Mexico's Federal District. Earthquake Spectra, 5, 273 291.
- Sözen, M.A. (1997). Drift-Driven Design for Earthquake Resistance of Reinforced Concrete. Memorias del EERC-CUREe, Simposio en Honor de Vitelmo V. Bertero, Berkeley, California.
- Silva, R, Govaere, G, Salles, P, Bautista, G, y Díaz, G. (2002). Oceanographic vulnerability to hurricanes on the Mexican coast. International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Cardiff, Wales.
- Vázquez J.L. (2000). Caracterización objetiva de los nortes del Golfo de México y su variabilidad interanual. Tesis de Licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Facultad de Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver.

### MICROZONIFICACIÓN DE ZONAS URBANAS, ELEMENTO BÁSICO PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL, GESTIÓN DE RIESGOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

Gilbert Francisco Torres Morales  
Raymundo Dávalos Sotelo  
Saúl Castillo Aguilar  
Ignacio Mora González,  
Miguel Leonardo Suárez

#### Resumen

Se presentan los resultados de microzonificaciones de peligros por fenómenos naturales para diferentes zonas conurbadas y se plantea la importancia en integrar estos resultados en la planeación urbana. Las ciudades donde se han realizado trabajos son: Orizaba, Veracruz y Xalapa, como parte de un proyecto del Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos para el estado de Veracruz, financiado por los Fondos para la Prevención de Desastres Naturales FOPREDEN y CONACYT. Se integró la información general de cada zona mediante un sistema de información geográfica (SIG), obteniendo diferentes mapas temáticos y mapas de características dinámicas de los suelos.

Con todos los datos recopilados y generados se alimentó un SIG y se generaron modelos donde se delimitan las zonas con mayor peligro por sismo, inundaciones y deslizamiento de laderas. Estos resultados se compararon con los mapas de las principales características en las zonas conurbadas y se estableció una clasificación cualitativa de las zonas de mayor a menor peligro. Se tendrán los elementos básicos de información para la planeación urbana y el ordenamiento territorial. Esta información se pondrá a disposición de las autoridades y población en general mediante un portal de internet donde podrán descargar los mapas y visualizarlos mediante programas gratuitos disponibles en internet.

#### Abstract

This paper presents the results of the natural hazards for different suburbs and highlights the importance of integrating these results in urban planning. The cities that have been covered for the definition of danger in the state of Veracruz are: Orizaba, Veracruz and Xalapa, as part of the production of a Geological and hydrometeorology Hazards Atlas for the state of Veracruz, financed by the Funds for the Prevention of Natural Disasters FOPREDEN and CONACYT. We integrated the background data of each metropolitan area using a geographic information system (GIS), obtaining different thematic maps, and maps of dynamic characteristics of soils in each metropolitan area.

With all the data collected and generated and fed into a SIG, we generated models which define the areas most threatened by earthquake, flood and landslide slopes. These results were compared with maps of the main features in the urban zones and we established a qualitative classification of areas of high to low risk. It will have the basic elements of information for urban planning and land use. This information will be made available to the authorities and the general public through an Internet portal where people can download and view maps using free software available online.

## Introducción

Los efectos de los fenómenos naturales en México, en numerosas ocasiones han provocado grandes desastres, que vienen acompañados de pérdidas económicas y humanas, muchas veces relacionadas con el colapso de estructuras por la falta de información precisa y por la aplicación de criterios, en ocasiones erróneos, para el diseño de las obras de ingeniería. La inquietud de conocer mejor los fenómenos naturales para tomar medidas de prevención a través de reglamentos de construcción, planes de contingencia y una correcta planeación urbana tomando en cuenta los fenómenos naturales, ha convencido al hombre de que la observación, el registro y el estudio de los fenómenos naturales nos conducen a mejores resultados.

En particular para el caso de sismos, el Estado de Veracruz ha sufrido a lo largo de su historia daños importantes debido a sismos de gran intensidad. Cabe recordar que el Estado ocupa el segundo y tercer lugar en número de víctimas mortales a nivel nacional, sólo después del sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México, que cobró aproximadamente 6,000 víctimas, de acuerdo con los registros oficiales. El sismo de Xalapa del 3 de enero de 1920 ( $M_s=6.2$ ) ocupa el segundo lugar a nivel nacional en número de víctimas con 650; de éstas, 419 murieron por avalanchas de lodo provocadas por el deslave de material en barrancas, lo anterior resalta la importancia del fenómeno de deslizamiento de laderas en la zona, así como, los peligros hidrometeorológicos extremos conjugados con otros fenómenos naturales. El sismo de 1920 se originó en la Sierra Madre Oriental, entre los Estados de Puebla y Veracruz, el epicentro se ubicó aproximadamente a 35 Km. al suroeste de la Ciudad de Xalapa (Suárez, 1991, Flores y Camacho, 1922). El tercer lugar corresponde al sismo de Orizaba del 28 de agosto de 1973 ( $M_w=7.0$ ) con 539 muertes. Este sismo se ubicó en el estado de Puebla muy cerca de la zona limítrofe entre Puebla y Veracruz, a una distancia de menos de 40 Km. al suroeste de Orizaba.

Otros sismos de gran importancia que dañaron ciudades del Estado, fueron: El sismo del 14 de enero de 1931 de Huajuapán de León, Oax., ( $M_s=7.8$ ), que causó daños en la ciudad de Veracruz; el sismo del 25 de julio de 1937 de Nopaltepec, Ver., ( $M_s=7.3$ ), que afectó a las ciudades de Veracruz, Xalapa, Orizaba y Córdoba; el sismo de Jáltipan del 26 de agosto de 1959 ( $M_s=6.4$ ), que destruyó totalmente la ciudad y afectó a las ciudades de Acayucan, Minatitlán y Coatzacoalcos; el sismo del 11 de marzo de 1967 ( $M_w=5.7$ ), conocido como el temblor de Veracruz por los daños ocasionados en aproximadamente 50 edificios.

El aumento de la población, la actividad industrial y la alta probabilidad de afectación por fenómenos naturales, muestran la importancia de delimitar los peligros en las áreas urbanas, para poder tomar medidas para la prevención de desastres y poder realizar una planeación urbana acorde con la naturaleza. Frecuentemente, la falta de recursos económicos acompañada de la falta de información más precisa sobre la zona, tiene como consecuencia que muchas viviendas e incluso grandes estructuras, se construyan sin el asesoramiento técnico adecuado (Torres, 2000).

## Metodología

### Microzonificación

En general, en las investigaciones de microzonificación se consideran todos los fenómenos naturales que potencialmente pueden afectar un área de interés, como por ejemplo: sismos, inundaciones, deslizamientos, licuación de suelos, avalanchas, erosión, tsunamis, etc., y se prepara el mapa de amenazas para cada uno de los peligros potenciales. Estos mapas se superponen y luego se divide el área considerada en sectores de diferente grado de peligro. Los sistemas de información geográfica (SIG) son de gran utilidad para estas tareas.

El peligro sísmico es un fenómeno que afecta considerablemente las áreas urbanas cuando se presenta si no se tienen medidas preventivas y generalmente sus consecuencias cobran una gran factura económica

y en vidas humanas. Estudios sobre la distribución de las calamidades causadas por los sismos indican que las zonas de daño intenso pueden estar muy localizadas y que la envergadura de esos daños puede cambiar bruscamente a distancias muy cortas, es decir, las intensidades sísmicas pueden variar considerablemente entre dos puntos próximos (Fig. 1). Lo anterior condujo a la hipótesis de que el factor esencial para la evaluación del daño de las estructuras son las condiciones del subsuelo local (efectos de sitio) (Trigos, 1988). La importancia de la respuesta de sitio ha sido reconocida desde los inicios de la sismología, sobre todo en Japón, y ha sido documentada desde principios del siglo XVIII (Giraldo *et al.* 1999).

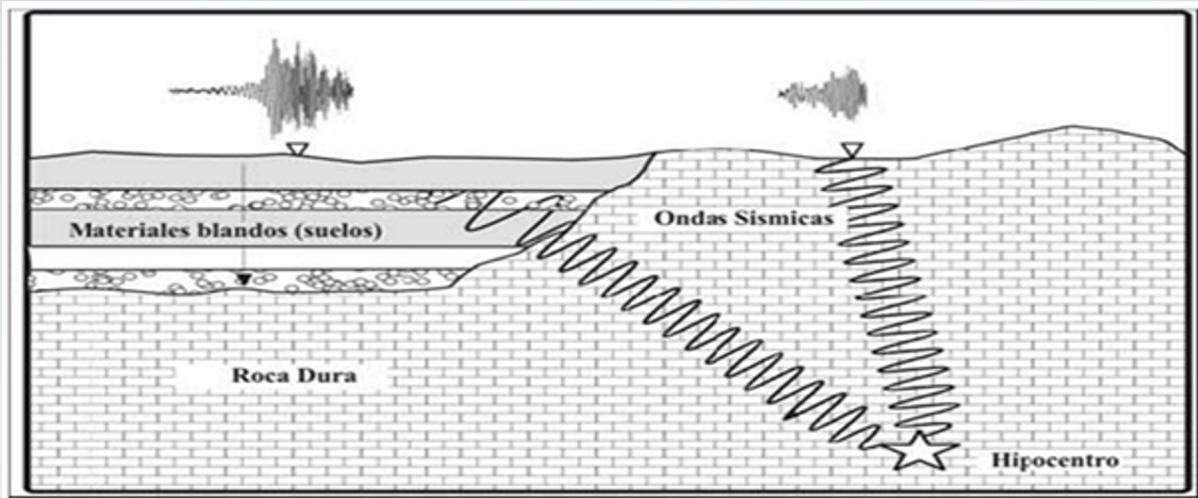


Figura 1. Fenómeno de amplificación de las ondas sísmicas en suelos blandos.

Los estudios de microzonificación sísmica son una rama de los estudios de microzonificación y son los más importantes para zonas o ciudades expuestas a sismos; éstos son estudios interdisciplinarios de las ciencias de la Tierra que, debidamente sintetizados y dibujados, permiten preparar el mapa de peligros sísmicos. Estos estudios abarcan unos pocos kilómetros, incluyendo la zona urbana existente y su posible expansión, y se consideran los efectos que un sismo tendría tomando en cuenta los tan importantes efectos de sitio mencionados, mostrados por curvas de isoperíodo y zonas de amplificación relativa a terreno firme, para delimitar microzonas sísmicas; éste es un documento fácil de interpretar y aplicar en planes de uso de suelo para la reducción de desastres naturales, así como para reglamentos de construcción.

La metodología empleada para determinar los efectos de sitio en las Zonas Conurbadas (ZC), fue la experimental, misma que se ha ocupado en muchos estudios de determinación de efectos de sitio de ciudades en México (Torres, 2008), como en el Distrito Federal, Oaxaca, Puebla, Morelia, Tehuacán, Guadalajara, y que se divide, en general, en cuatro fases: *La primera fase* consistió en definir las zonas sismogénicas a través del estudio de la sismicidad global donde se ubica la ciudad, así como, de una investigación de los sismos históricos que han afectado la zona y la ciudad. *La segunda fase* consistió en investigar y definir las características de la geología, morfología, geotecnia, hidrología, hidrología histórica, además de los daños por sismos. *La tercera fase* fue el monitoreo sísmico, utilizando diferentes tipos de registro para cuantificar el comportamiento y las características del subsuelo. Se analizan los registros de movimientos sísmicos fuertes, débiles y microtemblores (vibración ambiental) además se trata de aplicar todas las técnicas particulares para cada uno de estos registros.

*La cuarta fase* consistió en definir, a partir de los mapas y la información integrada en los SIG, el mapa de curvas de isofrecuencias, isoperíodos, la amplificación relativa a terreno firme y el mapa de clasificación de las microzonas sísmicas, que indican las zonas con amplificaciones locales debido al

tipo de suelo. Con lo anterior, se pueden seleccionar puntos idóneos para la construcción de estaciones de monitoreo sísmico permanentes, así como establecer algunas recomendaciones para el uso de estos mapas e incluirlos en los reglamentos de construcción.

### **Determinación del efecto de sitio**

La amplificación de las ondas sísmicas en sedimentos blandos cerca de la superficie ha sido reconocida desde los inicios de la sismología; esta amplificación de las ondas sísmicas durante un sismo puede desencadenar daños en las estructuras que están cimentadas sobre estos suelos. Una forma de inferir estas características desfavorables de los suelos es mediante la técnica de Nakamura, que consiste en el registro de vibración ambiental en un punto de una área urbana y la obtención de las razones espectrales entre las componentes horizontales más la vertical de un mismo registro propuesta originalmente por Nakamura (1989).

Para evaluar la amplificación de las ondas sísmicas de los suelos en las diferentes zonas conurbadas se procedió al registro de vibración ambiental en la zona conurbada de Orizaba se tomaron 121 puntos, en Veracruz 238 y en Xalapa, 517. Se utilizaron dos acelerómetros triaxiales, uno de la marca Refteck modelo 130-anss/02 y otro el CMG-5TD de la marca Guralp System, además de que en algunos sitios también se registro vibración ambiental con un sismógrafo de banda ancha CMG-6TD de la marca Guralp System. Después de orientar y nivelar los aparatos en cada punto, se registraron un promedio de diez minutos continuos de vibración ambiental, estos se grabaron en las memorias internas de los equipos que después se descargaron a una computadora para su análisis. De los registros de vibración ambiental obtenidos se procedió a su análisis espectral para obtener sus razones H/V.

La primera parte del análisis consiste en la visualización de las trazas para seleccionar aquellos segmentos de registro que no estén contaminados por transitorios de corta duración que puedan afectar la estabilidad de las señales (principalmente vehículos y peatones en la proximidad del instrumento). De los registros se seleccionan segmentos de dos minutos para su análisis y de cada uno de estos se escogen ventanas de entre 20 y 30 segundos de duración, los cuales se utilizaron para calcular espectros de Fourier. El elegir varias ventanas de registro para cada punto, permite obtener estimaciones más robustas del espectro de amplitudes de Fourier para cada punto de observación. Finalmente, se aplica la técnica de Nakamura para cada uno de los puntos, y se obtiene una estimación de la frecuencia dominante del sitio. Los análisis se realizaron con la ayuda de los programas Degtra (Ordaz, 1990) y Geopsy (Geopsy, 2007)

Como ejemplo se muestran en la figura 2, las razones espectrales promedio y su respectiva desviación estándar para tres puntos de vibración ambiental en la ciudad de Xalapa con diferentes características de suelo, la línea continua indica el promedio de los cocientes espectrales para diferentes ventanas de información, mientras que la línea discontinua indica el promedio más-menos una desviación estándar. Se observa una buena concordancia entre ambas componentes horizontales.

Además, se instalaron estaciones de monitoreo sísmico, en terreno firme (estación de referencia) y en terreno blando, de acuerdo con las características geológico-geotécnicas (Tabla 1), utilizando sismómetros de banda ancha marca *Guralp*, modelo CMG-6TD. Han funcionado simultáneamente hasta ocho estaciones de monitoreo sísmico, registrando a la fecha más de 100 sismos, con lo que se pudo aplicar la técnica estándar y corroborar los resultados obtenidos mediante la técnica de Nakamura.

La red de monitoreo sísmico en la ZCX ha servido para poder registrar los sismos de las fuentes sismogénicas que afectan la zona y se han registrado sismos de todas las fuentes sismogénicas de la República Mexicana, siendo los sismos perceptibles por la población los que generan las velocidades y aceleraciones más grandes en las estaciones. Anteriormente sólo se tenía un sismógrafo de banda ancha en cada estación, pero debido a que en sismos recientes, los sismógrafos en terreno blando se

han saturado se están disponiendo acelerógrafos juntos con los sismógrafos para no perder información durante los sismos.

El mayor peligro son las más activas y que se encuentran a menor distancia y que se asocian a los sismos históricos que han generado daños en la ZCX, estos sismos los podríamos agrupar en cuatro: los sismos de subducción, los profundos de subducción los corticales del eje neovolcánico y los locales y del golfo. El periodo de retorno también va en ese orden y se tienen registrados por la red sismos de todas estas zonas. Los sismos más importantes que se han registrado por la red desde 2007 son aproximadamente 15 y de los representativos por haber sido percibidos por la población y causado alarma son: El temblor de Oaxaca del 12 de Febrero del 2008 (M=6.6); el temblor de Puebla del 22 de Mayo del 2009 (M=5.7); 8 de Septiembre del 2009 (M=5.1), localizado en Isla, Ver.; el sismo del 7 de Abril de 2011 (M=6.7), a 83 km de las Choapas Ver.; el sismo del 25 de Febrero de 2011 (M=6.0), que se ubicó al suroeste de Sayula, Ver.;

**Tabla 1 - Ubicación de las Estaciones de Monitoreo Sísmico de la ZCX.**

Estación		Dirección	Tipo de Terreno	Altura	Coordenadas UTM	
Nombre	Clave				X	Y
Cerro	XCE	Herrera Tejeda No 119 Col. Federal	Firme	1513	718,712.00 0	2,162,703.00 0
CCTUV	XCC	Fco. J. Moreno No 20 Col. Zapata	Blando	1374	717,775.00 0	2,159,292.00 0
CCT01	X01	2ª Priv. de Jazmín No 1 Col. B. Juárez	Blando	1273	716,420.00 0	2,160,264.00 0
Lagos	XLA	13 de Septiembre No 67 Col. Isleta	Blando	1345	718,254.00 0	2,159,026.00 0
Electricistas	XEL	José F. Díaz No 48 Col. Electricistas	Blando	1386	718,864.00 0	2,159,572.00 0
Hayas	XHA	Priv. Eucalipto #7 Col. Benito Juárez	Blando	1392	716,069.00 0	2,159,735.00 0
Clavijero	XCL	Clavijero No 158 Col. Centro	Blando	1446	717,802.00 0	2,161,401.00 0
Idiomas	XID	Galeana y 7 de Noviembre	Blando	1385	717,006.00 0	2,160,316.00 0

Las fuentes sismogénicas más importantes y que generan el mayor peligro son las más activas y que se encuentran a menor distancia, que se asocian a los sismos históricos que han generado daños en la ZCX, estos sismos los podríamos agrupar en cuatro: los sismos de subducción, los profundos de subducción, los corticales del eje neovolcánico, los locales y del golfo. El período de retorno también va en este orden y se tienen registrados por la red los sismos de todas estas zonas. Los sismos más importantes que se han registrado por la red desde 2007 son aproximadamente 15. Los representativos por haber sido percibidos por la población y causado alarma son: El temblor de Oaxaca del 12 de Febrero del 2008 (M=6.6), el temblor de Puebla del 22 de Mayo del 2009 (M=5.7), el sismo del 8 de Septiembre del 2009 (M=5.1), localizado en Isla Ver., el sismo del 7 de Abril del 2011 (M=6.7) a 83 km de las Choapas Ver., el sismo del 25 de Febrero del 2011 (M=6.0), que se ubicó al sureste de Sayula, Ver., el sismo del 28 de septiembre de 2011 (M=4.1), localizado a 32 Km en el sureste de Misantla; 14 de febrero de 2012 (M=4.1), localizado a 10Km de Sayula, Ver.; el 20 de marzo de 2012 (M=7.4), a 29 Km al sur de Ometepec, Gro., el más fuerte sentido hasta la fecha y que ha generado las velocidades y aceleraciones más grandes  $a=9$  gales y  $V=0.31$  m/s. Algunos de los sismos más importantes registrados en las estaciones se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 - Principales sismos registrados por las estaciones de la ZCX.

ID	Fecha Local	Hora local	Mag.	Estaciones de Monitoreo Sísmico															
				XCE	XCC	XSU	X01	XEL	XLA	XCL	XHA	XID	XBU	XSB	XPS	XII	XFC		
9	05/07/2007	20:09:19	6.2	X	X														
19	20/10/2007	10:14:46	4.5	X		X													
21	12/02/2008	06:50:18	6.6	X			X												
32	14/04/2008	22:03:06	6.5	X				X	X	X	X								
41	03/07/2008	13:21:20	4.7	X	X							X	X						
52	23/09/2008	21:33:06	6.4	X										X					
72	22/05/2009	14:24:18	5.7	X								X				X			
81	08/09/2009	00:14:31	5.1	X								X			X	X			
136	20/03/2012	12:02:00	7.4	X	X							X					X		

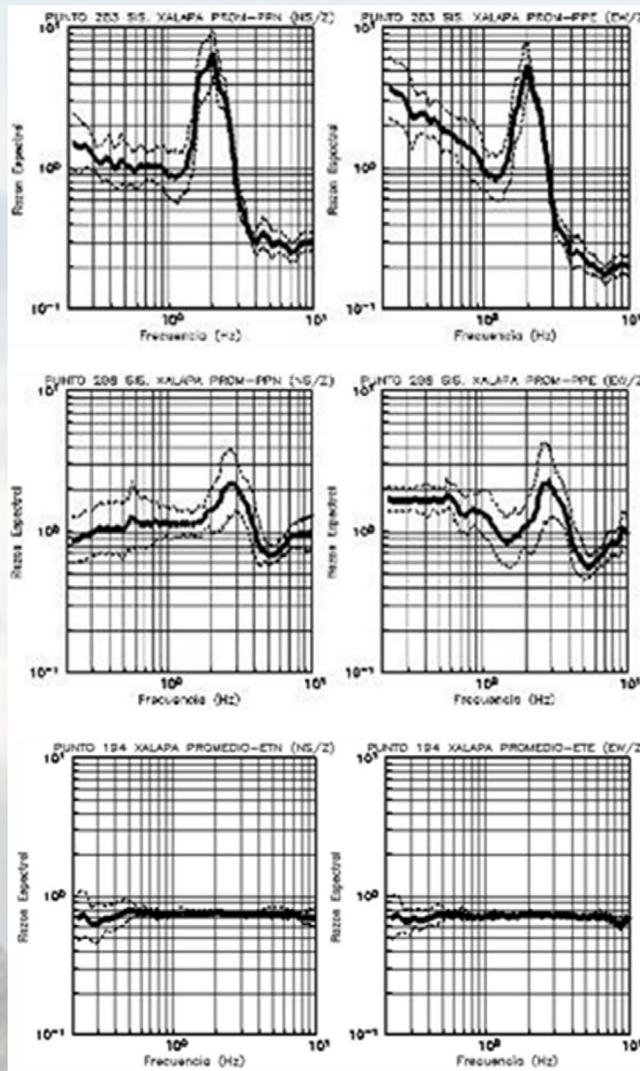


Figura 2. Razones espectrales típicas para un registro de vibración en terreno firme, intermedio y blando (De Arriba abajo respectivamente.)

### Mapas de microzonificación sísmica

Los estudios de microzonificación sísmica reúnen la información más importante de la zona conurbada en estudio, como mapas de geología, geotecnia, hidrología, hidrología histórica además de generar nueva información como es el realizar una investigación de los sismos más importantes que han afectado al área conurbada y un mapeo de los daños. Para las zonas conurbadas de Orizaba, Veracruz y Xalapa se realizó esta recopilación de información. Además, de los estudios de campo, para obtener las características dinámicas de los suelos, consistentes en el registro de vibración ambiental y el registro de sismos con estaciones no permanentes en terreno firme y blando, para aplicar las técnicas de Nakamura o H/V y la de cocientes espectrales estándar.

## Resumen de resultados

Los resultados del análisis espectral de vibración ambiental y de los sismos registrados en las estaciones de monitoreo sísmico se integraron mediante un sistema de información geográfica (SIG), generando mapas temáticos en todas las zonas conurbadas como el de: puntos de vibración, geológico, isofrecuencias, isoperíodos, e isoamplificaciones para todas las zonas conurbadas (Torres *et al.* 2011), como ejemplo se presentan los resultados para la zona conurbada Xalapa (Torres *et al.* 2009) (Fig. 3.); éstos son productos importantes ya que se podrán combinar los resultados obtenidos de la vibración ambiental y sismos con los de las principales características de las zonas conurbadas. Los mapas elaborados en esta investigación se procesaron con ayuda del programa (SIG) ArcGis de la empresa ESRI. Todos estos mapas contienen la información a detalle y están montados en el SIG sobre la cartografía de INEGI, por lo que esta información está georeferenciada y es susceptible a actualizar, lo que hace que el estudio sea dinámico. Además, se pueden hacer consultas a detalle para cualquier punto, de las características antes mencionadas, lo que será de gran ayuda para profesionales de la construcción, protección civil, valuadores, aseguradoras, etc.

Lo anterior permitió realizar un análisis de los peligros sísmicos en las zonas conurbadas y clasificar zonas a partir del periodo fundamental del suelo, obteniendo así como ejemplo para la Zona Conurbada de Xalapa (Fig. 3.): Zona 1 (Peligro Bajo): Esta zona es la más estable, ya que se encuentra asentada bajo derrames basálticos de origen reciente y sobre material compacto de mediana a alta estabilidad producto de las últimas emisiones volcánicas. Esta zona se encuentra en la parte central del área urbana de Xalapa, sobre los derrames de lava emitidos por el Cerro de Macuiltépetl. Esta zona presenta valores de periodos menores a 0.3 y amplitudes menores a 2. Zona 2 (Peligro Intermedio): Esta zona es de mediana estabilidad, ya que se encuentra en su mayoría sobre limos arcillo-arenosos compactos, flujos piroclásticos y brechas volcánicas, esta zona presenta valores de periodos de entre 0.3 a 0.6 y amplitudes de 2 a 4. Zona 3 (Peligro Alto): Esta zona es de baja estabilidad, ya que se encuentra en su mayoría sobre limos de plasticidad alta y media, sobre arenas limosas producto de los derrames de lava basáltica muy alterada del Cerro Colorado y sobre depósitos de aluvión material transportado y depositado por corrientes de agua. En sitios constituyen lomas con pendientes pronunciadas, haciendo inestable sus laderas. En esta zona se presentan valores de periodos mayores a 0.6 y amplitudes mayores a 4.

Se puede observar a partir de los resultados integrados mediante el SIG, que las zonas con características de suelo menos favorables presentan los efectos de sitio más desfavorable, es decir periodos y amplificaciones altos. Los periodos encontrados en la ZCX tienen valores que van de 0.07 hasta 1.14 y las amplificaciones relativas a terreno firme de 1 a 6 veces, y aunque este último parámetro es considerado aproximado mediante la técnica de Nakamura, nos da una idea de las zonas que pueden tener una mayor respuesta. Los periodos encontrados no son muy grandes, comparados con otras ciudades como la Ciudad de México, y sugieren estratos no muy profundos. Los periodos de los suelos podrían ser significativos para edificaciones cuyos periodos de vibración coincidan o estén próximos, ya que se tendría una mayor respuesta de estas edificaciones, debido a la posible resonancia de la estructura con el suelo.

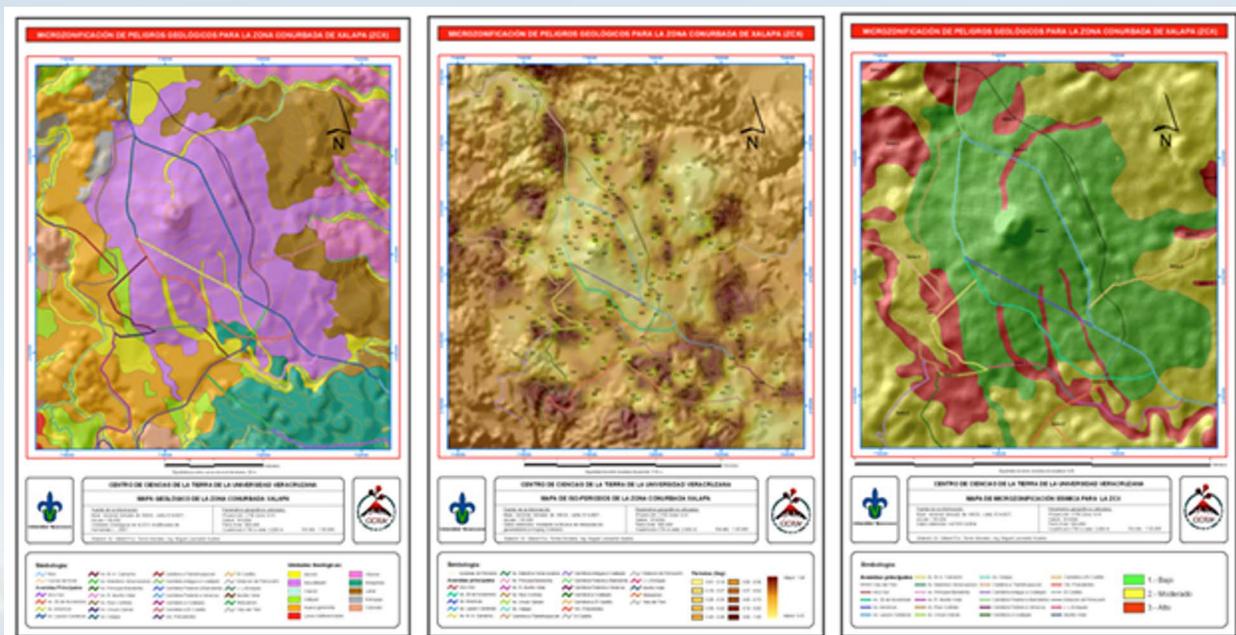


Figura 3. Geología, isoperíodos, y de microzonificación sísmica de la Zona Conurbada Xalapa

### Microzonificación de peligros por inundaciones

Para delimitar las zonas susceptibles a inundaciones la metodología empleada para evaluar el peligro por inundación incluyó los siguientes pasos en la investigación: antecedentes históricos, condiciones meteorológicas, existencia de cursos de agua en la zona, condiciones topográficas (zonas bajas), condiciones de permeabilidad y uso del suelo, intervención humana, identificación de puntos críticos, cálculo de microcuencas, identificación de puntos críticos de desbordes durante crecidas, dimensionamiento del peligro de inundación, superficie afectada, altura de inundación, probabilidad de ocurrencia y por último la elaboración de mapas de peligro por inundación.

En el proceso de análisis fue ocupado un modelo digital de elevaciones de alta resolución, proporcionado a partir del proyecto ASTER Global Digital Elevation Model de forma libre por la NASA (<http://www.servir.net/>) y un Sistema de Información Geográfica gvSIG-Sextante utilizando la herramienta hidrológica MFD. Esta herramienta de modelación se basa en el modelo “Multiple Flow Direction Algorithms” método que considera un flujo bidimensional, que calcula la dirección y acumulación de los flujos superficiales a partir de las diferencia de las pendientes y exposiciones del terreno, obteniendo como resultado la red de escurrimientos y los límites de las nano-micro y subcuencas hidrográficas.

Para obtener la zonificación de las áreas con peligro de inundación, se aplicó el índice de humedad, también conocido como índice topográfico compuesto. El índice es una función de la pendiente y de las áreas que aportan flujo en el sentido de la pendiente; por esta razón áreas planas con un mayor aporte de flujo tendrán un valor más alto de peligro a inundarse, en tanto que las áreas ubicadas en las laderas tendrán valores menores de peligro a inundarse. El índice está asociado a la forma del terreno y a las propiedades del suelo. Además, se procedió a verificar los resultados obtenidos, sobreponiendo los polígonos que la comisión municipal de agua y saneamiento (CMAS) del municipio Xalapa identifica como sitios críticos de inundación, con lo que se observó la correspondencia entre los resultados obtenidos en el modelado y los sitios identificados como problemáticos (Fig. 4.).

### Microzonificación de peligro por deslizamiento de laderas en la ZCX

La utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG) fue de gran ayuda para identificar los parámetros requeridos para el análisis, la información ocupada para este proceso fue un modelo digital de elevaciones (MDE) de alta resolución ASTER. Con el MDE se elaboraron curvas de nivel a cada 2m de equidistancia, se delimitaron las zonas de mayor pendiente y posteriormente se clasificaron las de mayor peligro, con el propósito de verificarlas y evaluarlas en campo. En esta primera etapa se consideraron los parámetros básicos recomendados por CENAPRED para evaluar laderas, y la información recopilada en estudio de microzonificación sísmica.

La identificación de los atributos geotécnicos, geológicos y topográficos permitieron hacer una estimación cualitativa de la amenaza de un deslizamiento. Los factores a calificar son: el tipo de ladera, ubicación, características físicas del sitio, factores topográficos, históricos, geotécnicos, geomorfológicos, ambientales, y si existiera, tipología de escurrimientos y de viviendas. Finalmente se realiza una estimación de la amenaza sumando la calificación para cada etapa, a fin de valorar el grado de la amenaza que pudiese adjudicársele a la ladera, calificándola desde la muy baja hasta la muy alta. Con los resultados obtenidos y la aplicación del SIG, se delimitaron cualitativamente las zonas de peligro ante deslizamiento de laderas, diferenciando zonas de peligro bajo, moderado y alto, representándose en el mapa del color verde al rojo (Fig. 4.).

El mapa final resultante que reúne los peligros en la zona conurbada Xalapa se presenta como un mapa general de microzonificación (Fig. 4.). La integración de estas cartografías y bases de datos mediante un SIG, es un aspecto de gran interés ya que permite modificaciones en la medida que se produzcan cambios en el medio físico, en la actividad económica o en el desarrollo de las poblaciones. Además, permite manejar gran cantidad de información, cruzándola para obtener nuevos mapas resultado del análisis de las variables y factores considerados de influencia en los procesos. Siendo un elemento fundamental para que autoridades, legisladores y técnicos puedan fundar sus decisiones en los campos de su competencia, tales como la elaboración de leyes y normativas o en materia de ordenamiento territorial, protección civil y prevención de desastres.

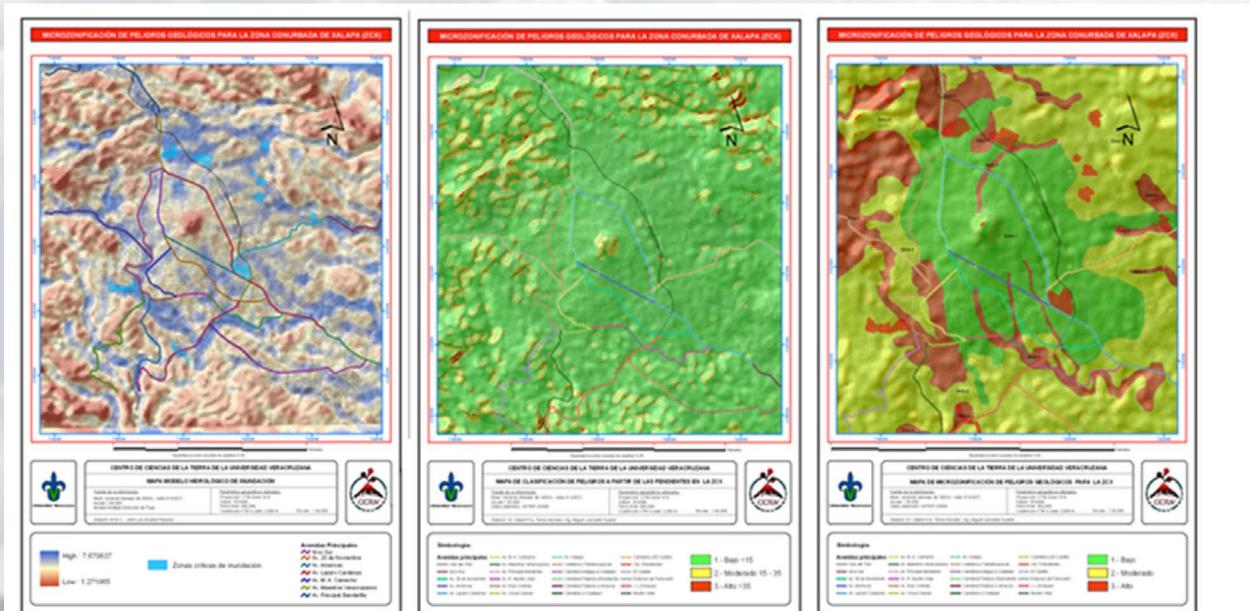


Figura 4. Mapa de modelo hidrológico de inundación, clasificación de pendientes de acuerdo a criterios cualitativos propuestos y mapa general de microzonificación.

## Ordenamiento territorial, gestión de riesgos y desarrollo sostenible

Aunado a la determinación de los peligros locales, es importante considerar el objetivo principal de un programa de mitigación de desastres, que es reducir las pérdidas humanas y materiales, de tal manera que no se interrumpa el desarrollo sostenido de una ciudad, región o país, como consecuencia de una catástrofe que obstaculice de manera significativa el ritmo de su crecimiento social y económico. Dicho objetivo se puede lograr si se reduce el RIESGO (Andrew *et al.* 1991).

El RIESGO depende de dos factores: El PELIGRO o AMENAZA natural y la VULNERABILIDAD de las construcciones.

El PELIGRO o AMENAZA es el grado de exposición de un lugar a los fenómenos naturales dentro de un período determinado, independientemente de lo que sobre dicha ubicación se construya. En general, es poco y muy costoso lo que el hombre puede hacer para reducir el peligro.

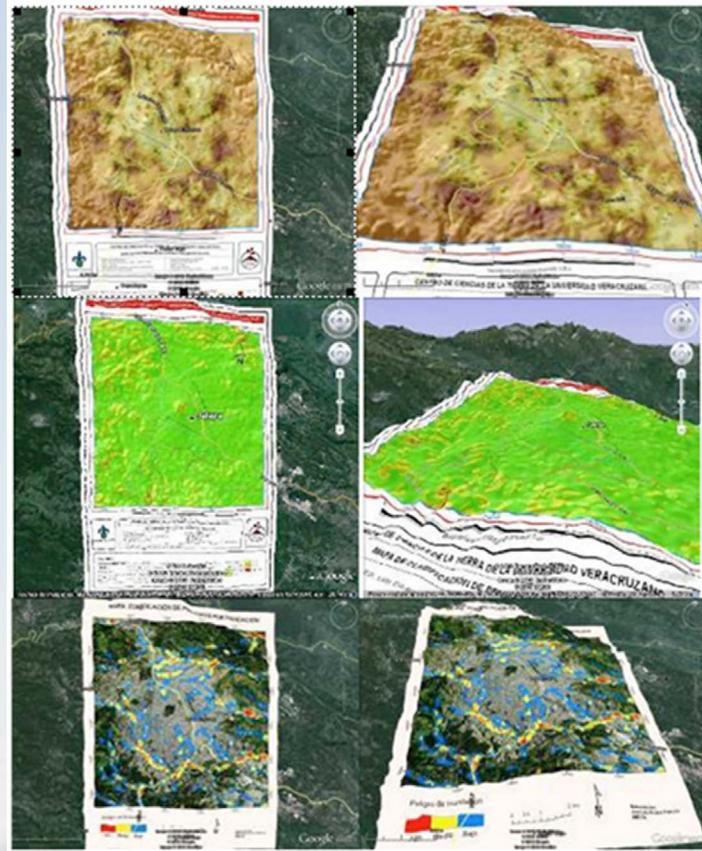
LA VULNERABILIDAD es una propiedad intrínseca de la estructura o de la área urbana, una característica de su propio comportamiento ante la acción de un fenómeno natural, descrito a través de una ley causa-efecto, donde la causa es el fenómeno natural y el efecto es el daño (Sandi H. 1986), y se refiere al grado de daños que pueden sufrir las edificaciones que realiza el hombre y depende de las características de su diseño, la calidad de los materiales y de la técnica de construcción, en general, de su posible respuesta.

El RIESGO es, por lo tanto, el resultado de la exposición de la construcción hecha por el hombre, con el grado de vulnerabilidad que le es inherente, frente al peligro al que se verá sometida. Esto es considerado por las compañías de seguros para fijar las primas respectivas y las compañías reaseguradoras para decidir si aceptan o no el reaseguro y a qué costo. Estas definiciones aceptadas por la ONU se refieren a edificaciones individuales de las cuales se pueden estimar las respectivas pérdidas económicas.

En el marco del enfoque del desarrollo sostenible que postula crecimiento económico, equidad social, sostenibilidad de los recursos naturales y gobernabilidad, se establecen una serie de puntos en la agenda para la gestión del riesgo, pero los más importantes y significativos serán que la población y los desarrollos urbanos sigan la filosofía del programa de mitigación de desastres y esto se logrará en gran medida si se consideran los efectos de los fenómenos naturales. Los gobiernos en general realizan una serie de esfuerzos importantes para que el ordenamiento de las áreas urbanas tenga una buena organización y se realicen de acuerdo con las leyes vigentes, pero en ocasiones las consideraciones de los efectos de los fenómenos naturales es muy superficial. Un punto importante dentro de los programas de ordenamiento territorial debe ser el promover los estudios de microzonificación de peligros por fenómenos naturales.

Los resultados de la microzonificación sísmica para tres áreas urbanas y microzonificación de peligros geológicos para la ciudad de Xalapa se entregaron a los usuarios de los proyectos.

Además, se ha puesto a disposición en una página de internet (<https://sites.google.com/site/microzonecct/>), la cual está resumida en forma de mapas, esta información se presenta además en un formato a partir del cual se puede consultar la información mediante el programa Google Earth, con lo se podrá visualizar con detalle estos resultados (Fig. 5). Lo que servirá para que la población identifique los sitios donde piensa construir o comprar, lo que ayudaría a tomar decisiones tanto a la población como a las autoridades.



**Figura 5.** Mapas de isoperíodos, de modelo hidrológico de inundación y clasificación de pendientes en Google Earth, para su visualización y análisis.

## Referencias

- Andrew W., R. J. Spencer, A. Pomonis, PNUD/UNDRO, (1991), “*Vulnerabilidad y evaluación del riesgo*”, Naciones unidas para el desarrollo y socorro en casos de desastre (UNDRO), programa de entrenamiento para manejo de desastres (DMTP), primera edición.
- Flores T., H. Camacho. (1922). “*Terremoto Mexicano del 3 de enero de 1920*”, Boletín 38, Instituto Geológico Mexicano. <http://bcct.unam.mx/bogeolpdf/geo38/>.
- GEOPSY (2007), Versión 2.6.3, (SESARRAY-2.0.5), <http://www.geopsy.org>.
- Giraldo V., A. Alfaro, L.G. Pujades, J.A. Canas. (1999). “*Estimación de efectos locales con movimientos sísmicos y microtemblores*”, Monografía Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Editor A.H. Barbat. ISBN: B-42176-99.
- Nakamura Y. (1989) “*A method for dynamics characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*”, QR of RTRI, 30, No. 1, 25-33. .
- Ordaz M. y C. Montoya. (1990-2002). “*Programa DEGTRA*”. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Sandi H., (1986), *“Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems”*, Report of the Working Group of the European Association for Earthquake Engineering, Proceedings of the 8<sup>th</sup> ECEE, Lisboa, Portugal.
- Servicio Sismológico Nacional, (2009), <http://www.ssn.unam.mx>
- Suárez, G. (1991). *“El sismo de Xalapa del 3 de enero de 1920”*, Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS, # 42, México D.F.
- Trigos J. L., (1988), *“Riesgo sísmico, construcciones y reglamentos en México”*, Memorias III Simposio nacional de ingeniería sísmica, Guadalajara. Jal. Octubre 30- Noviembre 1 1988.
- Torres G., (2000), *“Importancia de la microzonificación sísmica de las principales ciudades del estado de Veracruz”*. Memorias congreso nacional por la prevención de desastres, 1<sup>er</sup> foro regional del sureste sobre desastres hacia una cultura de la prevención, Xalapa, Veracruz. Marzo de 2000. Publicado en La Revista de La Sociedad Mexicana de Salud Pública, A.C.: Revista Higiene, Vol. IV, No.2, Mayo-Agosto del 2002.
- \_\_\_\_\_, G. (2008), *“Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz y evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural del centro histórico”*, Universidad Veracruzana, Instituto de Ingeniería, Zona Veracruz, Tesis Doctoral, Veracruz. <http://www.uv.mx/insting/Tesis/tesis-2008>.
- \_\_\_\_\_, G., J. Lermo, R. Dávalos, I. Mora, J. Hernández, M. Leonardo, D. Huesca. (2009). *“Microzonificación sísmica de la zona conurbada de la Ciudad de Xalapa (ZCX), Ver”*, Memorias XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, México.
- \_\_\_\_\_, G., Rodríguez M., J. Lermo, R. Dávalos, I. Mora, J. Hernández, M. Leonardo, (2011). *“Microzonificación sísmica de tres ciudades en el estado de Veracruz, México”*, Memorias XVIII, Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, México.

## ESTIMACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO DE BARCELONA Y SU APLICACIÓN EN LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LA CIUDAD

Armando Aguilar  
Luis G. Pujades  
Alex Barbat,  
Mario G. Ordaz  
Nieves Lantada

**Resumen**

En el presente trabajo se describen los principales pasos empleados en la estimación probabilista del peligro sísmico de Barcelona, y se menciona cómo dicho peligro sísmico fue utilizado en la estimación probabilista del riesgo sísmico de la ciudad. Para fines comparativos, se estimó el peligro sísmico de Barcelona tanto en términos de tasas de excedencia de intensidades macrosísmicas, como en términos de tasas de excedencia de la aceleración máxima del terreno (PGA). En la estimación del peligro sísmico se empleó el código de cómputo CRISIS2008 (Ordaz et al, 2008), el cual se basa en la metodología propuesta por Cornell (1968) y Esteva (1970). Dicho código incorpora valiosas herramientas que permiten hacer estimaciones del peligro sísmico, con un importante nivel de detalle. Además, el CRISIS2008 permite obtener resultados de peligro sísmico tanto en términos de tasas de excedencia versus PGA, como en términos de tasas de excedencia versus intensidades macrosísmicas. De acuerdo con los resultados, en Barcelona el valor de PGA igual a  $85 \text{ cm/s}^2$ , tiene en promedio un periodo de retorno de 475 años. Mientras que los resultados obtenidos en términos de intensidades macrosísmicas, indican que la intensidad macrosísmica que tiene en promedio un periodo de retorno de 475 años, corresponde a un valor entre VI y VII. Las curvas de peligro sísmico en términos de tasas de excedencia versus intensidades macrosísmicas, se obtuvieron para ser empleadas en la estimación del riesgo sísmico de la ciudad mediante el método probabilista de índices de vulnerabilidad (Aguilar, 2011). De acuerdo con los resultados, en la ciudad hay edificios con un alto nivel de riesgo sísmico, esto último se debe a que a pesar de que Barcelona está ubicada en una zona de sismicidad entre baja a moderada, existe un porcentaje importante de edificios con niveles significativamente altos de vulnerabilidad sísmica. Las curvas de riesgo sísmico obtenidas se expresan en términos de frecuencias de excedencia versus grados de daño sísmico.

**Abstrac**

In this document the main steps used to estimate the probabilistic seismic hazard of Barcelona are described. Additionally, it is mentioned a procedure to use the seismic hazard results to estimate the seismic risk of the buildings of Barcelona. For comparative purposes, the seismic hazard of Barcelona is assessed using two procedures: 1) the seismic hazard is assessed considering the seismicity of the seismic sources in terms of macroseismic intensities, and attenuation laws in terms of macroseismic intensities, 2) the seismic hazard curves in terms of macroseismic intensities versus exceedance rates, are obtained through a transformation of the seismic hazard results available in terms of PGA versus exceedances

rates. The code CRISIS2008 (Ordaz et al, 2008) was used to estimate the seismic hazard. This code is a versatile tool because it allows taking into account an important number of considerations to estimate the seismic hazard. On the other hand, the CRISIS2008 code allows obtaining seismic hazard results in terms of exceedance rates versus PGA, or in terms of exceedance rates versus macroseismic intensities. According to the results, in Barcelona the value of 85 cm/s<sup>2</sup> of PGA has in average a return period of 475 years. On the other hand, the seismic hazard results in terms of macroseismic intensities show that in Barcelona the macroseismic intensity that has a return period of 475 years is a value between VI and VII. The seismic hazard results were used to estimate the seismic risk of the buildings of Barcelona according to the probabilistic version of the vulnerability index methodology (Aguilar, 2011). According to the results, in Barcelona there are buildings with high levels of seismic risk. These kinds of results are explained due to the combination of buildings with high levels of seismic vulnerability located in places with moderate seismic hazard. The seismic risk obtained is expressed in terms of frequencies of exceedance versus seismic damage grades.

## **Introducción**

Actualmente existen diversas metodologías para estimar el riesgo sísmico de edificios a escala urbana. Una de ellas fue recientemente propuesta y se conoce como metodología probabilista de índices de vulnerabilidad (Aguilar, 2011). En dicho método se considera tanto el peligro sísmico como la vulnerabilidad sísmica, para estimar el riesgo sísmico de edificios. Particularmente, el peligro sísmico o la amenaza sísmica se expresa en términos de frecuencias de excedencia de intensidades macrosísmicas. En el presente trabajo se describe el procedimiento y los principales resultados obtenidos al estimar el peligro sísmico de Barcelona, con la finalidad de emplear tales resultados de peligro en la estimación del riesgo sísmico de los edificios residenciales de Barcelona. Para tal fin, se analizan dos procedimientos: en el primero las curvas de tasas de excedencia de intensidades macrosísmicas se obtienen directamente, es decir, el peligro sísmico se estima a partir de datos de sismicidad de las fuentes sísmicas en términos de intensidades macrosísmicas y mediante el empleo de leyes de atenuación de intensidades macrosísmicas. Mientras que en el segundo procedimiento, las curvas de peligro sísmico en términos de intensidades macrosísmicas, se obtienen al transformar resultados de peligro sísmico obtenidos en términos de tasas de excedencia de la aceleración máxima del terreno (PGA). El primer procedimiento es el más recomendable para estimar la peligrosidad sísmica, requerida en el método probabilista de índices de vulnerabilidad para estimar el riesgo sísmico de edificios. Sin embargo, el segundo procedimiento se considera en el presente trabajo para fines de comparación, y porque este procedimiento incluye consideraciones que pueden tomarse en cuenta, en las regiones en las que los estudios de peligrosidad sísmica disponibles, están en términos de PGA.

## **Peligro sísmico en Barcelona**

La ciudad de Barcelona está situada en el noreste de la península Ibérica que suele considerarse como una microplaca que forma parte de la placa euroasiática, actuando de rótula en la interacción entre las placas Euroasiática y la Africana (Casas-Sainz y De Vicente, 2009; Rosenbaum et al, 2002; Jabaloy et al, 2002). Por otra parte, la distancia más cercana desde Barcelona a los bordes de la placa Euroasiática con la placa Africana, es de más de 500 kilómetros. De manera que la sismicidad que tiene mayor efecto sobre Barcelona, no es la que se produce en los límites de dichas placas tectónicas, sino la que se genera en el interior de la placa Euroasiática. Es importante destacar que se ha estimado que en el Cretácico temprano – Hauteriviano (hace aproximadamente 135 millones de años), la península Ibérica constituía una sola placa tectónica (Casas-Sainz y De Vicente, 2009; Jabaloy et al, 2002).

En la Figura 1 se muestran los epicentros de sismos de intensidades mayores o iguales a V, ocurridos entre los años 1152 y 1998, en la región de Cataluña y zonas aledañas. Tales sismos son relevantes porque se considera que a partir del grado de intensidad V, se empieza a generar daño en edificaciones (Grünthal, 1998). En dicha figura puede observarse cómo la peligrosidad sísmica de la ciudad está bajo la influencia de las zonas costeras del mar Mediterráneo y, más al norte del Prepirineo y Pirineo.

Al observar la Figura 1 es posible identificar que en Barcelona y en la región que rodea a dicha ciudad, han ocurrido sismos importantes. De manera que se puede afirmar que Barcelona ha estado sometida a significativos niveles de intensidad sísmica. Por ejemplo, la Tabla I muestra algunas de las intensidades sísmicas que se estima se han presentado en Barcelona.

Debido a la importancia social y económica de la ciudad de Barcelona, se han desarrollado numerosas investigaciones relacionadas con la peligrosidad sísmica de dicha ciudad. Algunas de ellas corresponden a estudios específicos de la peligrosidad sísmica de Barcelona y Cataluña (Irizarry et al, 2010; Secanell et al, 2004; Irizarry et al 2003b; Goula et al, 1997; Secanell, 1999), y otras corresponden a diferentes aspectos de la peligrosidad sísmica de Barcelona y de Cataluña (Secanell et al, 2008; Perea y Atakan, 2007; Ojeda et al, 2002; Jimenez et al, 2001; Secanell et al, 1999).

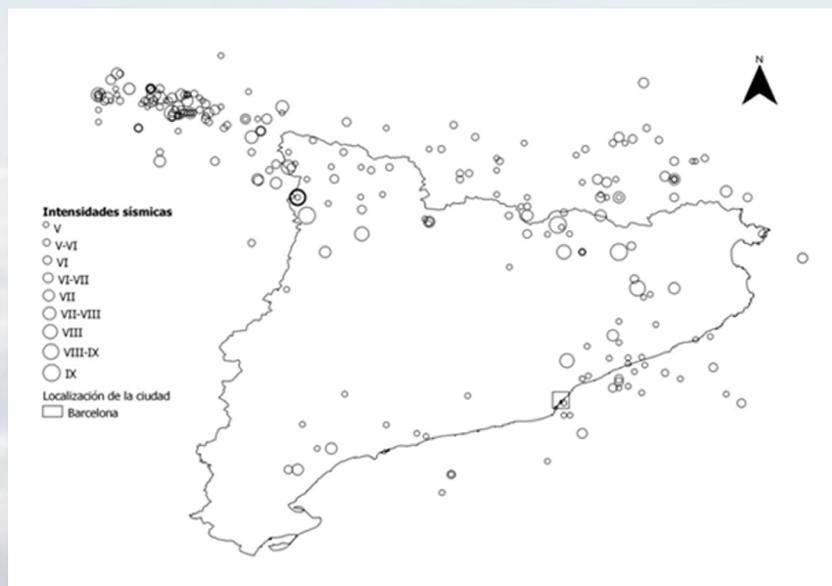


Figura 1. Ubicación de los principales epicentros de sismos con intensidades mayores o iguales a V, ocurridos entre los años 1152 y 1998 en la región de Cataluña y zonas aledañas (Susagna y Goula, 1999).

Fecha	Intensidad en la región de la ciudad de Barcelona
3-Marzo-1373	V-VI
2-Febrero-1428	VI-VII
25-Mayo-1448	V-VI

Tabla I. Grados de intensidad sísmica EMS-98 estimados en la ciudad de Barcelona, debidos a la ocurrencia de importantes sismos en los siglos XIV y XV (Olivera et al, 2006).

En el trabajo realizado por Secanell et al (1999), propusieron un mapa de zonas sísmicas de Cataluña, en términos de las intensidades MSK definidas por Medvedev, Sponheuer y Karnik (Musson y Cecic, 2002), asociadas a un periodo de retorno de 500 años. Específicamente, propusieron 5 zonas sísmicas para toda Cataluña, y ubicaron a Barcelona en la zona 2. A esta última zona le corresponde una intensidad

sísmica entre VI y VII (MSK), para un suelo duro, y para un periodo de retorno de 500 años. Este último tipo de suelo se caracteriza por ser un material compacto, granular, con una velocidad de onda de cizalla entre 400 y 800 m/s, y con características mecánicas de buenas a muy buenas (Fleta et al, 1998).

A pesar de los diversos estudios de peligrosidad sísmica que se han hecho para Barcelona, en el presente trabajo se ha considerado conveniente realizar una nueva estimación de la peligrosidad sísmica de dicha ciudad, con la finalidad de: 1) ilustrar el enfoque probabilista planteado en la metodología probabilista de índices de vulnerabilidad, para estimar el peligro sísmico, 2) obtener resultados específicos de peligro sísmico en términos completamente probabilistas, requeridos para estimar el riesgo sísmico mediante la metodología probabilista de índices de vulnerabilidad y, 3) incorporar a los análisis de peligro sísmico actualizaciones realizadas en el código CRISIS2008 (Ordaz et al, 2008).

A continuación se describen los principales pasos considerados en el análisis de peligrosidad sísmica de Barcelona.

## Geología

Los límites físicos de la actual ciudad de Barcelona han sido establecidos con la ayuda de cuatro elementos naturales: el mar Mediterráneo, la sierra de Collserola, el río Besòs y el río Llobregat (Figura 2). La mayor parte de la ciudad está situada sobre un llano, el cual tiene una suave inclinación hacia el mar. Por otra parte, desde el punto de vista geomorfológico es posible distinguir dos unidades: a) los relieves montañosos que constituyen el substrato de la ciudad y, b) el llano. En el caso de los relieves montañosos, es posible encontrar materiales Paleozoicos y Terciarios, mientras que el llano de Barcelona se puede dividir en otras dos unidades geomorfológicas: 1) la zona central de la ciudad, compuesta de materiales de edad Pleistocena (2.5 Millones de años), y 2) los depósitos deltaicos de los ríos Besòs y Llobregat, los cuales están compuestos por materiales de edad Holocena (0.012 Millones de años).



Figura 2. Imagen satelital de la ciudad de Barcelona (ICC, 2010).

Los materiales Paleozoicos de Barcelona están principalmente compuestos de materiales de origen sedimentario, afectados por diferentes grados de metamorfismo y por materiales plutónicos. Particularmente, se encuentran calizas, pizarras y granitos. Los materiales terciarios corresponden al Mioceno que forma el bloque de Montjuïc, y el Plioceno, más reciente, que constituye el substrato del Cuaternario en la zona central del distrito del Eixample y parte baja de la ciudad. El Mioceno está formado por series marinas potentes de aguas poco profundas, con capas alternadas de bancos de margas

azuladas, fosilíferas, areniscas rojo-grisáceas, y algún nivel de conglomerados. Mientras que el Plioceno está constituido por una capa inferior de margas azul-verdosas, con numerosos fósiles, y una capa superior con margas arenosas y arenas pardo-amarillentas.

Por otra parte, los materiales cuaternarios pueden diferenciarse por su edad en Pleistoceno u Holoceno. Los materiales del Pleistoceno están básicamente formados por arcillas compactas rojas, limos amarillentos de origen eólico y costra calcárea. Mientras que los materiales Holocenos son depósitos deltaicos de los ríos Besos y Llobregat, formados por arena gruesa y grava, limos y arcillas intermedias, arena fina o gruesa, limos plásticos color marrón y suelo humus (Cid et al, 2001). La Figura 3 muestra un mapa con la situación geológica en superficie de Barcelona (Cid et al, 1999).

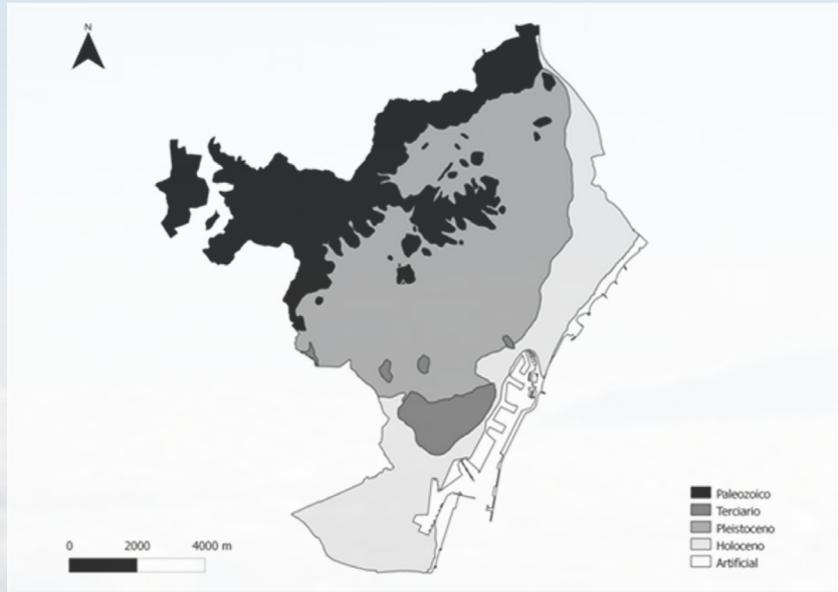


Figura 3. Situación geológica, en superficie, de la ciudad de Barcelona (Cid et al, 1999).

## Fuentes sismogénicas

### Geometría de las fuentes sísmicas

En el presente trabajo se consideraron las zonas sismotectónicas indicadas en la Figura 4 (Secanell et al, 2004). Dichas zonas coinciden con las empleadas por Secanell et al (2004) y con pequeñas modificaciones coinciden también con las que fueron propuestas originalmente por Goula et al (1997), las cuales a su vez tienen como referencia la propuesta de zonación sismotectónica de Cataluña realizada por Fleta et al (1996). Por otra parte las zonas sismotectónicas empleadas en el presente trabajo, han sido utilizadas en diversos estudios de peligrosidad sísmica de Barcelona y de Cataluña (Irizarry et al, 2010; Secanell et al, 2004; Irizarry et al, 2003a).

Por otra parte, la geometría de cada fuente sísmica se definió en el programa CRISIS2008, mediante los datos de longitud, latitud y profundidad, de cada uno de los vértices del polígono que representa a cada una de las fuentes sísmicas.

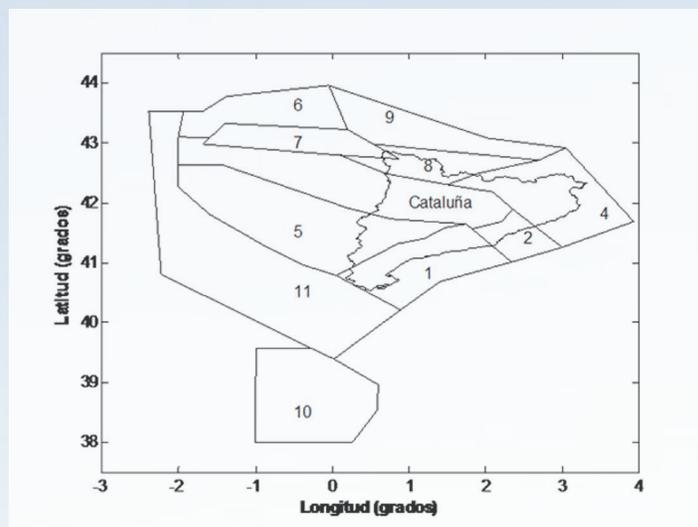


Figura 4. Representación geométrica de las fuentes sísmicas empleadas para estimar el peligro sísmico de Barcelona.

### Potencial sísmico

La sismicidad de las fuentes sísmicas de la Figura 4 se modeló usando el modelo truncado Gutenberg-Richter, el cual se representa mediante la Ec. 1.

$$\lambda(I) = \alpha \frac{e^{-\beta(I-I_{\min})} - e^{-\beta(I_{\max}-I_{\min})}}{1 - e^{-\beta(I_{\max}-I_{\min})}} \quad (1)$$

donde  $\lambda(I)$  es la frecuencia anual de excedencia de la intensidad macrosísmica  $I$ ,  $I_{\min}$  es la mínima intensidad epicentral considerada,  $I_{\max}$  es la máxima intensidad epicentral posible en cada zona,  $\alpha$  es la frecuencia anual de excedencia de las intensidades mayores o iguales a  $I_{\min}$ , y el valor de  $\beta$  es la pendiente relacionada con la ley Guttenberg-Richter (Goula et al, 1997; Ordaz et al, 2008).

Los parámetros de sismicidad correspondientes a cada fuente sísmica de la Figura 4 se indican en la Tabla II. Dichos parámetros fueron determinados a partir de un catálogo sísmico basado en intensidades macrosísmicas M.S.K (Secanell et al, 2004), y han sido empleados en estudios recientes del peligro sísmico de Barcelona y de otras regiones de Cataluña (Irizarry et al, 2010; Secanell et al, 2004; Irizarry, 2004). Por tales motivos, en el presente trabajo se emplean los referidos parámetros de sismicidad de las fuentes sísmicas.

**Tabla II. Parámetros de sismicidad de las fuentes sísmicas, cuya geometría se muestra en la Figura 4 (Secanell et al, 2004).**

Zona Sismotectónica	Superficie (km <sup>2</sup> )	$\alpha$	$\sigma(\alpha)^*$	$\beta$	$\sigma(\beta)^*$	$h$ (km)*	$I_{min}^*$	$I_{max}^*$	$I_{max}$ observada *
1	14100	0.100	0.030	1.864	0.559	7	V	VIII	VII
2	4600	0.128	0.033	1.608	0.324	7	V	IX	VIII
4	16300	0.157	0.030	1.256	0.186	10	V	X	IX
5	23100	0.040	0.014	1.319	0.373	10	V	IX	VIII
6	8000	0.099	0.025	1.977	0.640	10	V	VII	VI
7	7200	0.957	0.090	1.420	0.116	15	V	X	VIII
8	7700	0.218	0.040	1.716	0.246	15	V	IX	VIII
9	9600	0.070	0.020	1.737	0.214	10	V	VIII	VII
10	19700	0.635	0.059	1.201	0.083	10	V	XI	X
11	40100	0.060	0.016	0.886	0.242	10	V	IX	VIII

\*  $\sigma(\alpha)$  es la desviación estándar de  $\alpha$ ;  $\sigma(\beta)$  es la desviación estándar de  $\beta$ ;  $h$  es la profundidad en km;  $I_{min}$  es la intensidad epicentral mínima asignada a la fuente sísmica;  $I_{max}$  es la intensidad epicentral máxima asignada a la fuente sísmica;  $I_{max}$  observada es la máxima intensidad epicentral observada en la fuente sísmica.

## Atenuación

### Leyes de atenuación de la intensidad

En el presente trabajo se emplearon las leyes de atenuación de López Casado et al (2000). Dichas leyes se obtuvieron principalmente a partir de catálogos de mapas de isosistas de la Península Ibérica y se representan mediante la Ec. 2.

$$I = f(I_{epic}) - a_2 \ln \Delta - a_3 \Delta \quad (2)$$

donde  $I$  es la intensidad macrosísmica a una distancia focal  $\Delta$ ,  $\Delta = (R^2 + R_0^2)^{1/2}$  con  $R$  la distancia epicentral en km, y  $R_0$  un valor que se usa para mejorar el ajuste y que tiene el significado de profundidad focal en km (Tabla III);  $I_{epic}$  es la intensidad epicentral en la escala MSK;  $f(I_{epic})$  se determina de acuerdo con la Tabla III;  $a_2$  y  $a_3$  son coeficientes que toman los valores indicados en la Tabla III.

**Tabla III. Valores correspondientes a las leyes con una atenuación alta y una atenuación baja en la Península Ibérica de acuerdo con López Casado et al (2000).**

Atenuación	$f(I_{epic})$	$a_2$	$a_3$	$R_0$	$\sigma$
Alta (Figura 5a)	$6.016 + 0.090 \cdot I_{epic} + 0.069 \cdot I_{epic}^2$	1.477	0.01035	4	0.46
Baja (Figura 5b)	$5.557 + 0.902 \cdot I_{epic} + 0.014 \cdot I_{epic}^2$	1.762	0.00207	2	0.59

$\sigma$  es la desviación estándar de la intensidad macrosísmica  $I$ .

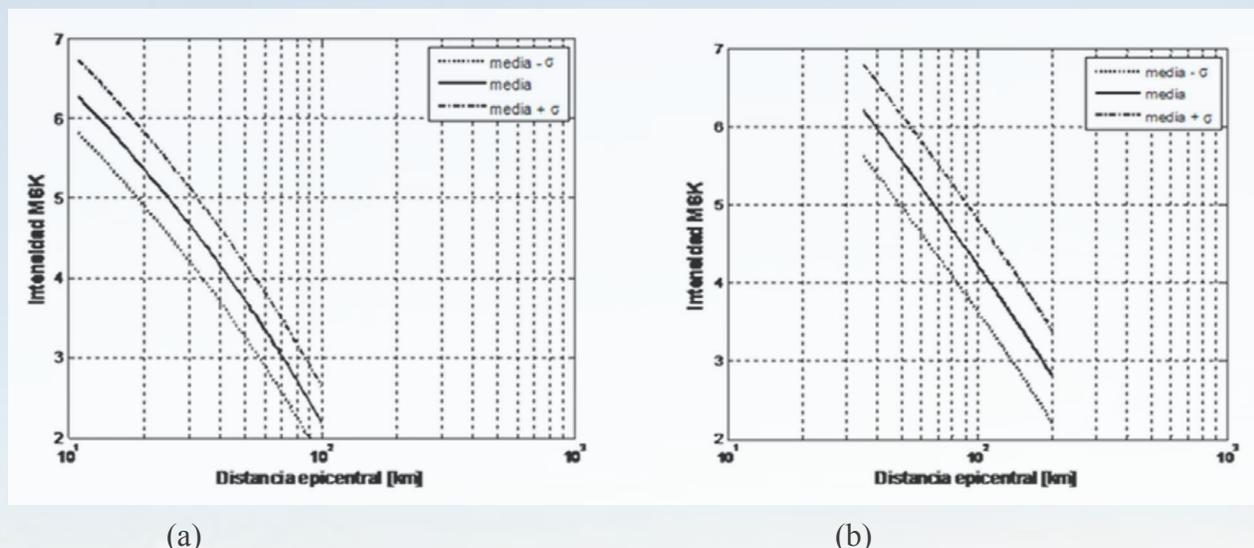


Figura 5. Atenuación de la intensidad de un sismo con intensidad epicentral VII, de acuerdo con: (a) la ley de atenuación “Alta” y, (b) la ley de atenuación “Baja” de López Casado et al (2000).

López Casado et al (2000) propusieron en total 5 leyes de atenuación, de las cuales dos se usan en el presente trabajo. Cada ley de atenuación fue definida en función del grado de atenuación, desde un grado de atenuación muy alto hasta un grado de atenuación muy bajo. Además, indicaron las regiones en las que consideran son válidas cada una de las leyes de atenuación propuestas. En función de lo anterior y al considerar la ubicación de las fuentes sísmicas empleadas en el presente trabajo, se determinó emplear únicamente dos leyes de atenuación, la correspondiente al nivel de atenuación bajo y la correspondiente al nivel de atenuación alto. Específicamente, se emplea la ley de atenuación baja para la fuente sísmica 7 ubicada en la región de los Pirineos (Figura 4), y la ley de atenuación alta se emplea para el resto de las fuentes sísmicas consideradas en el presente trabajo.

### Ley de atenuación de la aceleración máxima del terreno (PGA)

El modelo de atenuación sísmica elegido para estimar el peligro sísmico de Barcelona en términos de la aceleración máxima del terreno, es el que fue propuesto por Ambraseys et al (1996). Dicha ley de atenuación se obtuvo a partir de registros sísmicos de 157 sismos en Europa y regiones adyacentes (Ambraseys et al, 1996). Por otra parte dicha ley de atenuación fue elegida en el proyecto Risk-UE para estimar la peligrosidad sísmica de Barcelona, y ha sido considerada una opción adecuada para estimar la peligrosidad sísmica de la ciudad (Irizarry et al, 2010). Adicionalmente, la ley de Ambraseys et al (1996) ha sido empleada para realizar estudios previos de peligro sísmico de: a) regiones de Cataluña (Perea y Atakan, 2007); b) de la totalidad de Catalunya (Irizarry, 2004), y; c) de toda la península Ibérica (Jiménez et al, 2001). En la Figura 6 se muestran curvas debidas a la ley de atenuación de Ambraseys et al (1996).

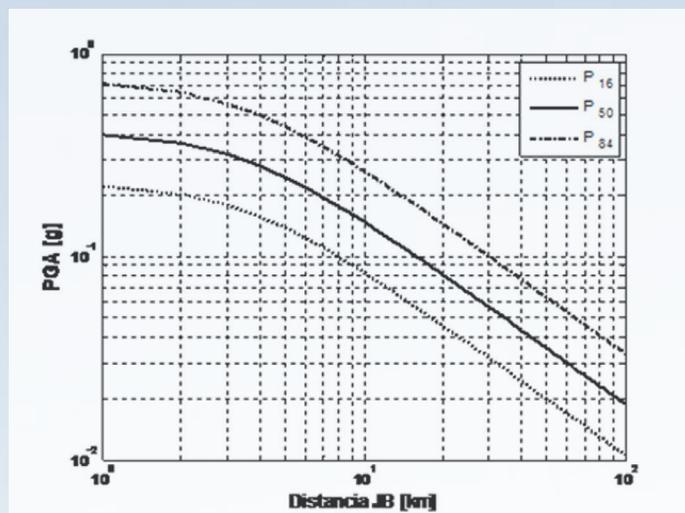


Figura 6. Curva de atenuación de los valores de PGA (g) vs. distancia Joyner y Boore (1981), obtenida mediante la ecuación de Ambraseys et al (1996), para una magnitud  $M_s = 6$  y para un sitio en roca.

### Curva de peligro sísmico a partir de intensidades macrosísmicas

En el código CRISIS2008 sí es posible realizar cálculos de peligrosidad sísmica mediante leyes de atenuación cuya distribución de los residuos es normal. De manera que es posible integrar directamente en los cálculos, la incertidumbre en las leyes de atenuación de la intensidad macrosísmica empleadas para Barcelona. Esto último es relevante, porque en general, se considera primordial que en la estimación de la peligrosidad sísmica se considere directamente la incertidumbre en las leyes de atenuación sísmica (Bommer y Abrahamson, 2006). Por lo tanto, al considerar en el CRISIS2008 las fuentes sísmicas de Figura 4, con sus correspondientes parámetros de sismicidad, y las leyes de atenuación de la Tabla III, fue posible obtener la curva de peligro sísmico de la Figura 7. De acuerdo con dicha curva la intensidad de VI tiene un periodo de retorno de 278 años, mientras que a la intensidad de VII le corresponde un periodo de retorno de 2041 años.

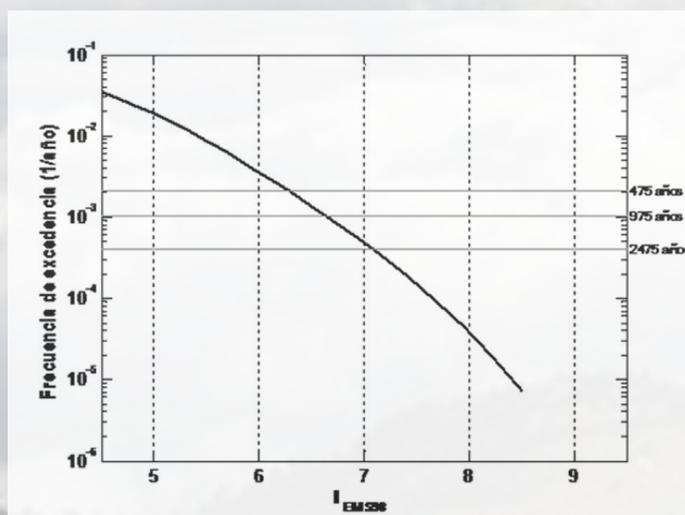


Figura 7. Curva de peligrosidad sísmica de Barcelona obtenida mediante el código CRISIS2008, en el que se integró directamente la incertidumbre en las leyes de atenuación de las intensidades macrosísmicas.

## Curva de peligro sísmico a partir de la magnitud Ms

Una de las dificultades de estimar el peligro sísmico de Barcelona, mediante la sismicidad de las fuentes sísmicas expresada en términos de magnitudes sísmicas, es que en tal caso es necesario aplicar leyes de transformación de intensidades macrosísmicas a magnitudes  $M$ , por ejemplo, magnitudes  $M_s$ . El empleo de tales transformaciones es necesario porque para la región de Cataluña, el catálogo de sismicidad más completo para fines de estimar peligro sísmico, está en términos de intensidades macrosísmicas.

Por tal motivo, en el presente trabajo se emplearon tres relaciones Magnitud ( $M_s$ ) - Intensidad epicentral ( $I_0$ ). Adicionalmente, las tres relaciones se tomaron en cuenta mediante un árbol lógico y con ello fue posible obtener la curva de peligro sísmico mostrada en la Figura 8.

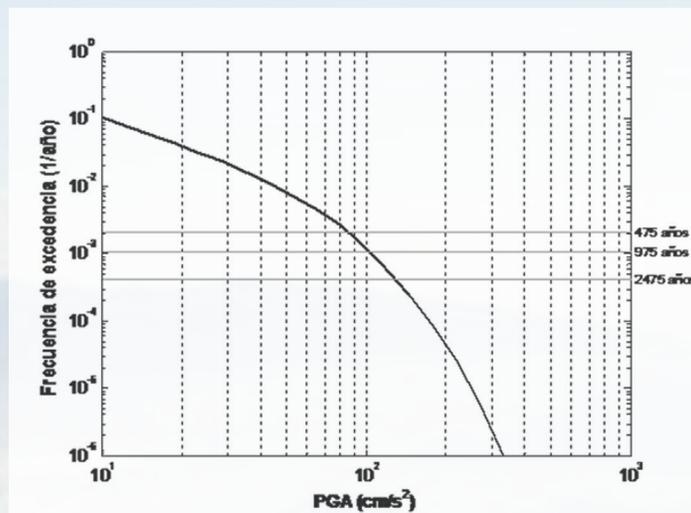


Figura 8. Curva de peligrosidad sísmica de Barcelona obtenida mediante el CRISIS2008.

De acuerdo con la curva de peligro sísmico de la Figura 8, el valor de PGA que tiene un periodo de retorno de 475 años es igual a  $85 \text{ cm/s}^2$ . Mientras que el valor de PGA que tiene un periodo de retorno de 975 años es igual a  $102 \text{ cm/s}^2$ . Por otra parte, con la finalidad de emplear estos resultados de peligro sísmico en la estimación del riesgo sísmico mediante el método probabilista de índices de vulnerabilidad, es necesario convertir esta curva de peligro (Figura 8), en otra curva que esté en términos de intensidades macrosísmicas versus frecuencias de excedencia. Para tal fin, es posible emplear leyes de transformación de PGA a MMI.

En la Figura 9 se muestran 4 relaciones intensidad macrosísmica-PGA: a) la de Sorensen et al (2008) que fue propuesta a partir de datos de la región de Campania en Italia y en especial de registros del sismo de Irpina de 1980; b) la de Wald et al (1999) determinada a partir de datos sísmicos de California; c) la de Marin et al (2004) propuesta a partir de datos de Francia, y; d) la de las normas NCSE-94. En el presente trabajo se emplearon las cuatro relaciones para observar las curvas que se obtienen en cada caso. Particularmente, se emplearon dichas relaciones para transformar la curva de peligro sísmico de la Figura 8, y se obtuvieron las curvas de la Figura 10. Para fines de comparación en la Figura 10 se incluye también la curva de peligro sísmico de la Figura 7.

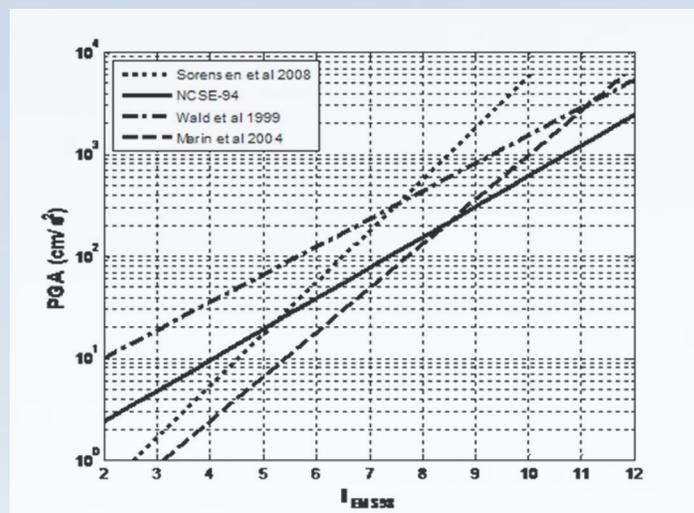


Figura 9. Relaciones intensidad macrosísmica-PGA consideradas en el presente trabajo.

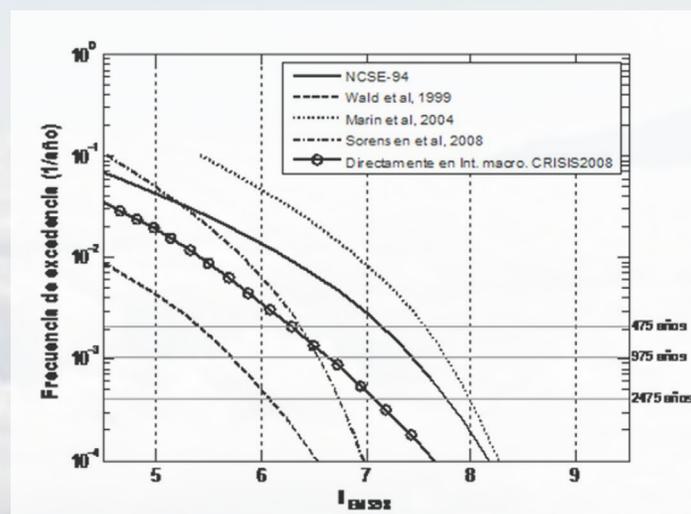


Figura 10. Comparación de las curvas de peligrosidad sísmica obtenidas al transformar valores de PGA en intensidades macrosísmicas, con la curva de peligrosidad sísmica obtenida directamente en términos de intensidades macrosísmicas.

En la Figura 10 es posible observar que entre las curvas en términos de intensidades macrosísmicas obtenidas al transformar las curvas en términos de PGA, la obtenida mediante la relación de Sorensen et al (2008), es la que tiene las mayores similitudes con las curvas de peligrosidad sísmica obtenidas directamente en términos de intensidades macrosísmicas. Especialmente, en los periodos de retorno comprendidos entre los 475 años y 975 años. Por lo tanto, debido a que las curvas de peligrosidad sísmica obtenidas directamente mediante intensidades macrosísmicas, son las que acumulan menos incertidumbre, es posible concluir que para el presente estudio la relación de Sorensen es una relación razonablemente adecuada para el caso de Barcelona, especialmente, en intensidades macrosísmicas comprendidas entre V y VII. Por lo tanto, la curva de frecuencias de excedencia de intensidades macrosísmicas obtenida al transformar mediante la relación de Sorensen et al (2008), la curva de frecuencias de excedencia de valores de PGA de la Figura 8, puede considerarse una curva que representa en forma razonable la peligrosidad sísmica de Barcelona.

Es importante señalar que los resultados de peligro sísmico obtenidos en el presente estudio tienen importantes coincidencias con los resultados de peligro sísmico obtenidos en estudios previos, tanto en el caso de resultados en términos de intensidades macrosísmicas (Secanell et al, 2004; Peláez y López, 2002; Goula et al, 1997; NCSE-02, 2002) como en el caso de resultados en términos de PGA (Jiménez et al, 1999; Peláez y López, 2002; Irizarry et al, 2010; Secanell et al, 2008; NCSE-02, 2002).

## Riesgo sísmico

Las curvas de peligro sísmico en términos de intensidades macrosísmicas versus frecuencias de excedencia, pueden emplearse para estimar riesgo sísmico mediante la metodología probabilista de índices de vulnerabilidad. Al hacerlo para la ciudad de Barcelona, y particularmente para 68982 edificios residenciales de la ciudad, es posible obtener por cada edificio curvas de riesgo sísmico como las mostradas en la Figura 11. Al promediar los resultados obtenidos, es posible obtener resultados de riesgo sísmico para la totalidad de los edificios de Barcelona estudiados. De acuerdo con estos últimos resultados, el distrito con mayor riesgo sísmico en la ciudad es el de Ciutat Vella. Es posible concluir también, que el riesgo sísmico de algunos edificios de Barcelona es importante, debido a que a pesar de que tales edificios están localizados en zonas con niveles moderados de peligro sísmico, los mismos tienen muy altos niveles de vulnerabilidad sísmica.

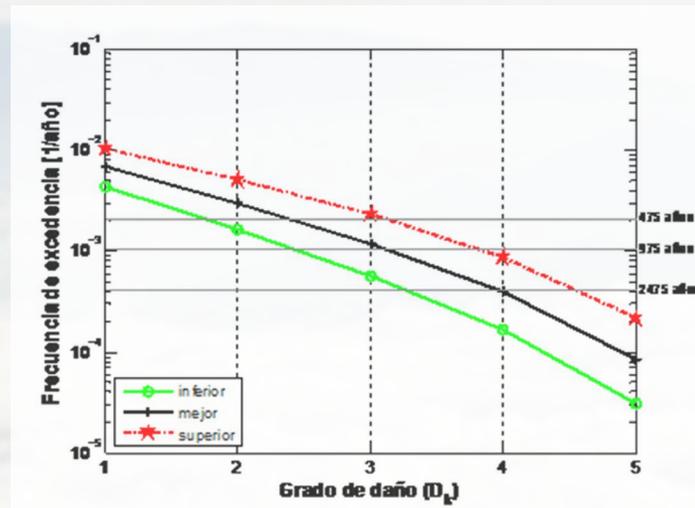


Figura 11. Curvas de riesgo sísmico de un edificio de Barcelona, obtenidas al aplicar la metodología probabilista de índices de vulnerabilidad (Aguilar, 2011) y al considerar la curva de peligrosidad sísmica de Barcelona.

## Conclusiones

La estimación de la peligrosidad sísmica de Barcelona implica retos importantes debido a que la ciudad está localizada en una región de sismicidad entre moderada y baja. Por tal motivo, emplear una metodología probabilista para estimar la peligrosidad sísmica de Barcelona constituye una de las mejores alternativas, para identificar la peligrosidad sísmica de la ciudad.

El código CRISIS2008 permitió estimar la peligrosidad sísmica de Barcelona, directamente en términos de frecuencias de excedencia de las intensidades macrosísmicas. Por ejemplo, de acuerdo con los resultados, en Barcelona la intensidad de VI tiene en promedio un periodo de retorno de 278 años. De manera similar, se obtuvo que la intensidad que en Barcelona tiene en promedio un periodo de retorno de 475 años es igual a 6.3 (VI-VII).

El riesgo sísmico de Barcelona no debe obviarse pues de acuerdo con los resultados los niveles de vulnerabilidad sísmica de algunos edificios son muy altos, y por lo tanto, los respectivos niveles de riesgo sísmico son también importantes.

## Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo parcial de: 1) El Ministerio Español de Educación y Ciencia y con fondos FEDER (proyecto: CGL-2005-04541-C03-02/BTE); 2) el proyecto “Contribuciones sismológicas, geofísicas y de ingeniería a la predicción y prevención del riesgo sísmico” (CGL2008-00869/BTE); 3) La Comisión Europea y con fondos FEDER a través del proyecto de investigación “SisPyr: INTERREG: POCTEFA 2007- 2013/73/08”; 4) Proyecto PROMEP: “Análisis de sensibilidad en la estimación probabilista de peligro sísmico en regiones, y evaluación del código CRISIS2008 usado para calcular el peligro sísmico.” El primer autor reconoce el valioso apoyo de la Universidad Veracruzana, del Instituto de Ingeniería de la UNAM y de la Universidad Politécnica de Cataluña.

## Referencias

- Aguilar, A., 2011. Evaluación probabilista del riesgo sísmico de edificios en zonas urbanas, Directores: Alex H. Barbat, Lluís G. Pujades y Mario G. Ordaz. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., Bommer, J. J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25: pp. 371-400.
- Bommer, J. J., Abrahamson, N. A., 2006. Why Do Modern Probabilistic Seismic-Hazard Analyses Often Lead to Increased Hazard Estimates?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96 (6): 1967-1977.
- Casas-Sainz, A. M., De Vicente, G., 2009. On the tectonic origin of Iberian topography; *Tectonophysics*; 474: 214-235.
- Cid, J., Figueras, S., Fleta, J., Goula, X., Susagna, T., Amieiro, C., 1999. Zonación Sísmica de la Ciudad de Barcelona. Primer Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Murcia, España, pp. 263-271.
- \_\_\_\_\_, J. Susagna, T., Goula, X., Chavarria, L., Figueras, S., 2001. Seismic Zonation of Barcelona Based on Numerical Simulation of Site Effects; *Pure and Applied Geophysics*; 158: pp. 2559-2577.
- Cornell, A., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, (5): pp. 1583-1606.
- Esteva, L., 1970. Regionalización sísmica de México para fines de ingeniería. Institute of Engineering, Series-246, UNAM, Mexico.
- Fleta, J., Escuer, J., Goula, X., Olivera, C., Combes, Ph., Grellet, B., Granier, Th., 1996. Zonación tectónica, primer estadio de la zonación sismotectónica del NE de la península Ibérica (Cataluña), *Geogaceta*, 20(4): pp. 853-856.
- \_\_\_\_\_, J., Estruch, I., Goula, X., 1998. Geotechnical characterization for the regional assessment of seismic risk in Catalonia. Proceedings 4th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society, Barcelona, pp. 699-702.
- Goula, X., Susagna, T., Secanell, R., Fleta, J., Roca, A., 1997. Seismic Hazard Assessment for Catalonia (Spain). Proceedings Second Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems, Barcelona, pp. 173-177.
- Grünthal, G., 1998. European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie*. Luxemburg; 15: pp. 1-99.

- ICC, 2010. Institut Cartogràfic de Catalunya. [http://www.icc.es/vissir2/?lang=ca\\_ES](http://www.icc.es/vissir2/?lang=ca_ES) (Consultado el 18 de diciembre de 2010).
- Irizarry, J., Goula, X., Susagna, T., 2003a. Analytical formulation for the elastic acceleration-displacement response spectra adapted to Barcelona soil conditions. Technical report. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Irizarry, J., Goula, X., Susagna, T., 2003b. Evaluación de la peligrosidad sísmica de la ciudad de Barcelona en términos de aceleración espectral, 2º Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Málaga, España, pp. 389-399.
- Irizarry, J., 2004. An Advanced Approach to Seismic Risk Assessment. Application to the Cultural Heritage and the Urban system of Barcelona. Doctoral thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 406 pp.
- \_\_\_\_\_, J., Lantada, N., Pujades, L. G., Barbat, A. H., Goula, X., Susagna, T., Roca, A., 2010. Ground-shaking scenarios and urban risk evaluation of Barcelona using the Risk-UE capacity spectrum based method; *Bulletin of Earthquake Engineering* (9) 2: 441-466.
- Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F., 2002. Palaeostress evolution of the Iberian Peninsula (Late Carboniferous to present-day); *Tectonophysics* 357: pp. 159-186.
- Jiménez, M-J., García-Fernández, M., GSHAP Ibero-Maghreb Working Group, 1999. Seismic hazard assessment in the Ibero-Maghreb region; *Annali di Geofisica*, 42(6): pp. 1057-1065.
- \_\_\_\_\_, M.J., Giardini, D., Grünthal, G., SESAME Working Group, 2001. Unified seismic hazard modeling throughout the Mediterranean region, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42 (1-2): pp. 3-18.
- Joyner, W. B., Boore, D. M., 1981. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake; *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6): pp. 2011-2038.
- López Casado, C., Molina, S., Delgado, J., Peláez, J. A., 2000a. Attenuation of Intensity with Epicentral Distance in the Iberian Peninsula; *Bulletin of the Seismological Society of America*; 90: pp. 34-47.
- Marin, S., Avouac, J-P., Nicolas, M., Schlupp, A., 2004. A probabilistic approach to seismic hazard in metropolitan France; *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(6): pp. 2137-2163.
- Musson, R.M.W., Cecic, I., 2002. Macroseismology. In W. HK Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, C. Kisslinger (Eds). *International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology*, Volume 81A, pp. 807-822.
- NCSE-02, 2002. Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación, Real Decreto 997/2002, Boletín Oficial del Estado No. 244, Madrid.
- NCSE-94, 1994. Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación, Real Decreto 2543/1994, Boletín Oficial del Estado No. 33, Madrid.
- Ojeda, A., Atakan, K., Masana, E., Santanach, P., Jiménez, M-J., García Fernández, M., 2002. Integration and influence of paleoseismic and geologic data for the seismic hazard evaluation in the Catalan coastal ranges, Spain; *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22: pp. 911-916.
- Olivera, C., Redondo, E., Lambert, J., Riera, A., Roca, A., 2006. The earthquakes of the XIV and XV centuries in Catalonia (NE Spain). First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Ginebra, Suiza, 10 pp.
- Ordaz, M., Martinelli, F., Aguilar, A., Arboleda, J., Meletti, C., D'Amico, V., 2008. CRISIS2008, Ver 3.8. Program for computing seismic hazard, UNAM, México.

- Peláez, J. A., López, C., 2002. Seismic Hazard Estimate at the Iberian Peninsula; *Pure and Applied Geophysics*; 159: pp. 2699-2713.
- Perea, H., Atakan, K., 2007. Influence of slow active faults in probabilistic seismic hazard assessment: the northwestern margin of the València trough; *Natural Hazards*, 43: pp. 379-396.
- Rosenbaum, G., Lister, G. S., Duboz, C. , 2002. Relative motions of Africa, Iberia and Europe during Alpine orogeny; *Tectonophysics*; 359: pp. 117-129.
- Secanell, R., 1999. Avaluació de la perillositat sísmica a Catalunya: anàlisi de sensibilitat per a diferents models d'ocurrència i paràmetres sísmics, PhD thesis, Universidad de Barcelona, Barcelona, 335 pp.
- \_\_\_\_\_, R., Goula, X., Susagna, T., Fleta, J., Roca, A., 1999. Mapa de zones sísmiques de Catalunya. 1er Congreso nacional de Ingeniería Sísmica, Murcia, España, pp. 251-259.
- \_\_\_\_\_, R., Goula, X., Susagna, T., Fleta, J., Roca, A., 2004. Seismic hazard zonation of Catalonia, Spain, integrating random uncertainties, *Journal of Seismology*, 8: pp. 25-40.
- \_\_\_\_\_, R., Bertil, D., Martin, C., Goula, X., Susagna, T., Tapia, M., Dominique, P., Carbon, D., Fleta, J., 2008. Probabilistic seismic hazard assessment of the Pyrenean region. *Journal of seismology*, 12: pp. 323-341.
- Sorensen, M. B., Stromeyer, D., Grünthal, 2008. Estimation of macroseismic intensity-New attenuation and intensity vs. ground motion relations for different parts of Europe. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, October 12-17, 8 pp.
- Susagna, M. T., Goula, X., 1999. *Atlas Sísmic de Catalunya. Volum 1: Catàleg de sismicitat*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, 413 pp.
- Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H., 1999. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California; *Earthquake Spectra*, 15(3): pp. 557-564.

## TÉCNICAS DE MONITOREO SÍSMICO APLICADAS AL CITLALTÉPETL: ALGUNOS RESULTADOS

Ana María Alarcón Ferreira  
Francisco Córdoba Montiel  
Ignacio Mora González  
Sergio R. Rodríguez Elizarrarás

**Resumen**

La relación entre la presencia de volcanes, el marco tectónico regional y la dinámica de los temblores es muy estrecha (Burski, 2008). En Veracruz el vulcanismo activo se localiza en la Faja Volcánica Mexicana, originada por los procesos de subducción entre la placa Norteamericana y la placa de Rivera y de Cocos y en el Campo Volcánico de los Tuxtlas (CVT), donde Verma (2006) sugiere que el magmatismo del CVT es similar a los magmas encontrados en zonas de rift (esfuerzos de extensión) sin embargo se requieren de más estudios para conocer mejor su origen (Espíndola, 2010).

En el volcán Citlaltépetl en los últimos 467 años, ha ocurrido una erupción con VEI=2 en promedio cada 78 años, y la probabilidad de que ocurra una en los próximos 50 años es de 0.48. Estas cifras sólo intentan dar una idea del orden de las probabilidades. Cada caso debe ser analizado en el contexto de la historia eruptiva del volcán en cuestión. El análisis de los patrones de ocurrencia de una erupción explosiva ayudará a hacer estimaciones cuantitativas de los niveles de amenaza (Guía Básica, 2006).

Además se tienen registros de colapso del edificio hace aproximadamente 13,000 años, el cual generó una avalancha gigantesca de escombros que viajó 80 Km de distancia, y cubrió un área de 140 Km<sup>2</sup> con un volumen de 1.8 Km<sup>3</sup>. La presencia de un glaciar y de un sistema hidrotermal, provocó alteración de la roca haciéndola menos competente. Estas condiciones también existen en la actualidad en el volcán. De modo que el riesgo potencial de colapso del edificio podría generar un lahar de gran volumen. En el año de 1920 y a consecuencia de un sismo Ms=6.2 (Suter et al., 1996), se generó un flujo de escombros de 44 millones de m<sup>3</sup>.

La mayoría de las erupciones, tal vez todas, vienen precedidas por cambios geofísicos y/o geoquímicas en el estado del volcán; por ello es necesario establecer una vigilancia volcánica, que se refiere a los estudios científicos que observan, registran y analizan sistemáticamente los cambios visibles ó invisibles, que ocurren en el volcán y en sus alrededores. Dichos cambios pueden ser detectados y medidos mediante redes de instrumentos y el empleo de técnicas especializadas (Tilling, 1989).

Los métodos de monitoreo sísmico y de deformación son utilizados para medidas sistemáticas e interpretación diagnóstica de los modelos de comportamiento de la actividad volcánica. Las mediciones de las variaciones en la sismicidad y deformación del suelo han proporcionado datos confiables y son ampliamente usados en la vigilancia de los volcanes (Tilling, 1989). Adicionalmente se han incorporado otros métodos de monitoreo como el geoquímico de manantiales y el visual.

En este trabajo se presentarán las técnicas empleadas y los resultados derivados del monitoreo sísmico del volcán Citlaltépetl y crecimiento del instrumental en este volcán.

## Abstract

The relationship between the presence of volcanoes, the regional tectonic framework and dynamics of earthquakes is very close. There is a close connection between the presence of volcanoes, the regional tectonic framework and dynamics of earthquakes. In Veracruz active volcanism is located in the Mexican Volcanic Belt, caused by the subduction of two plates: North American and Cocos and in the Tuxtlas volcanic field (CVT), where according to Verma (2006) CVT magmatism is similar to the magmas typical of rift zones (extension-related) but more studies are required to better understand their origin.

During the last 467 years of the eruptive history of Citlaltépetl volcano, there has been a VEI = 2 eruption on average every 78 years, and the probability of another eruption of this type in the next 50 years is 0.48 (according to simple probabilistic estimations). Nevertheless, each case must be analyzed individually in the context of the eruptive history of the volcano in question. The analysis of the recurrence rate of an explosive eruption will help make quantitative estimates of the threat levels.

In addition, there are records of events including volcanic edifice collapse:

~ 13,000 years: a gigantic avalanche debris, travelled 80 km from the source, covered an area of 140 km<sup>2</sup> and had a volume of 1.8 km<sup>3</sup>. The presence of a glacier and a hydrothermal system altered the rock to be less competent, increasing collapse probability; The same conditions also exist today. The potential risk of volcanic edifice collapse could generate large volume lahars. In 1920 a debris flow of 44 million m<sup>3</sup> was triggered by an earthquake (Ms-6.2).

An avalanche of a slightly larger volume, would be able to threaten Coscomatepec population, and if the avalanche would move along the Metlac drainage system, the city of Orizaba would probably be affected. The city lies on the banks of the river Orizaba; calculations indicate that the height of the wave of debris could reach 16 m.

Most eruptions, perhaps all, are preceded by geophysical and/or geochemical changes of the volcano state, which creates the necessity to establish a volcano monitoring, which refers to scientific studies that observe, record and analyze systematically the visible or invisible changes that occur in the volcano and its surroundings. Such changes can be detected and measured by instrument networks and the use of specialized techniques.

Seismic monitoring and deformation methods are used for systematic measures and diagnostic interpretation of behavior patterns of volcanic activity. Measurements of changes in seismicity and ground deformation data have provided reliable and are widely used in monitoring volcanoes. Additionally, other methods have been incorporated as for example geochemical and visual monitoring of springs.

This paper presents the techniques and results derived from seismic monitoring of Citlaltépetl volcano from its beginning, and the activities designed to modernize instruments, as well as the incorporation of other monitoring techniques.

## Historia y construcción geológica del volcán Citlaltépetl

En Veracruz el vulcanismo activo se localiza en la Faja Volcánica Mexicana, originada por los procesos de subducción entre la placa Norteamericana y la placa de Rivera y de Cocos, y en el Campo Volcánico de los Tuxtlas (CVT), donde Verma (2006) sugiere que el magmatismo del CVT es similar a los magmas encontrados en zonas de rift (esfuerzos de extensión) sin embargo se requiere de más estudios para conocer mejor su origen (Espíndola, 2010). El volcán Citlaltépetl ó Pico de Orizaba se localiza a los 19°01'N, 97°16'W con una altura de 5 675 msnm, dentro de la Faja Volcánica Mexicana. Citlaltépetl significa "Cerro de la Estrella" en Náhuatl. El cono actual está compuesto principalmente por lavas andesíticas y dacíticas.

La última actividad importante ocurrió en 1687 (Mooser, *et al.*, 1958), aunque hay reportes de erupciones menores en tiempos más recientes (De-la Cruz y Carrasco-Núñez, 2002). Existen señales de actividad sísmica moderna como exhalaciones débiles de SO<sub>2</sub>, sismos denominados volcanotectónicos y depósitos de azufre en las paredes del cráter (Waitz, 1910-1911), por lo que se considera como un volcán activo en estado de quietud.

Los primeros estudios geológicos de carácter regional fueron realizados por Yañez-García y García-Durán (1982) y Negendank *et al.* (1985). En 1982 Robin y Cantagrel presentaron el primer trabajo sobre la estratigrafía y evolución del Citlaltépetl, al cual le siguieron estudios más detallados (Hoskuldsson, 1992; Carrasco-Núñez, 1993).

Estudios de carácter petrológico se realizaron en la década de los ochenta (Kudo *et al.*, 1985; Singer y Kudo, 1986; Calvin *et al.*, 1989). Los estudios relacionados con la actividad eruptiva han sido realizados por (Cantagrel *et al.*, 1984; Hoskuldsson *et al.*, 1990; Hoskuldsson y Robin, 1993; Carrasco-Núñez, 1993; Carrasco-Núñez, 1993; Siebe *et al.*, 1993; Carrasco-Núñez y Rose, 1995; Carrasco-Núñez, 1997; Gómez-Tuena y Carrasco-Núñez, 1999; Rossotti y Carrasco-Núñez, 2004) y el primer mapa geológico del volcán se realiza con la descripción de sus distintas etapas de formación (Carrasco-Núñez y Ban, 1994; Carrasco-Núñez, 2000).

Basado en un estudio estratigráfico detallado Carrasco-Núñez y Ban (1994) y Carrasco-Núñez (2000), concluyeron que la construcción del volcán había ocurrido en cuatro fases eruptivas, las etapas de evolución del Citlaltépetl fueron denominadas desde la más antigua a la más reciente: el cono Torrecillas, el cono Espolón de Oro, domos silícicos periféricos y el cono Citlaltépetl (Carrasco-Núñez y Ban, 1994; Carrasco-Núñez, 2000).

La formación del cono Citlaltépetl no está ligada únicamente a la ocurrencia de erupciones efusivas, sino también a la ocurrencia de erupciones explosivas (Siebe *et al.*, 1993; Hoskuldsson y Robin, 1993; Carrasco-Núñez y Rose, 1995; Rossotti y Carrasco-Núñez, 2004).

El registro estratigráfico indica que existen tres eventos explosivos mayores, que han sido bien documentados: 1) una erupción que produjo flujos de pómez en el sector oriental del volcán hace aproximadamente 13 000 años, 2) la secuencia eruptiva Citlaltépetl, compuesta por diversas caídas de pómez y flujos piroclásticos ocurrida entre 8 500 y 9 000 años (Carrasco-Núñez y Rose, 1995) y 3) una serie de flujos de bloques y cenizas, expuestos en el flanco oeste y sureste ocurrida hace 4 100 años (Siebe *et al.*, 1993; Carrasco-Núñez, 1999).

Con toda la información geológica existente en el año 2002 Sheridan y colaboradores elaboraron el mapa de peligros volcánicos del Citlaltépetl y con el empleo de los programas FLOW3D (Kover, 1995) y LAHARZ (Iverson *et al.*, 1998). Díaz-Castellón (2003) y Zimbelman *et al.* (2004) evaluaron la estabilidad del edificio volcánico (figura 1). Además Sheridan *et al.* (2004) reevaluaron la zonificación para flujos piroclásticos del Citlaltépetl y presentaron en forma detallada la metodología empleada para elaborar el mapa de peligros para este volcán.

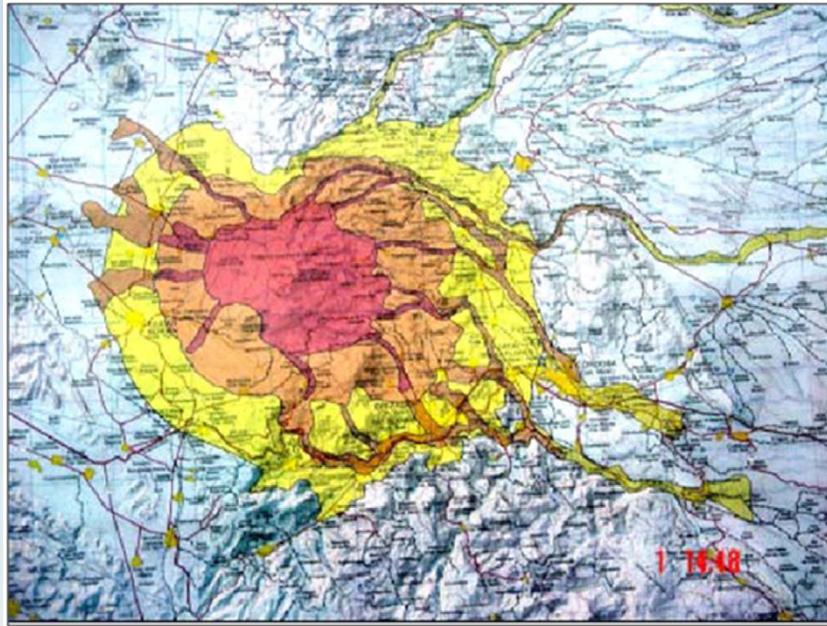


Figura 1. El mapa puede ser de gran utilidad en el diseño de planes de desarrollo económico y social, así como planes de protección civil, en caso de contingencia ya que se señalan las áreas que pudieran ser afectadas, en Veracruz son 20 municipios y en Puebla son 12. Alrededor de 700, 000 habitantes en un radio menor a 50 Km.

### Evaluación del peligro volcánico

El “peligro” o “amenaza” está relacionada con la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, que puede manifestarse en un sitio y durante un tiempo de exposición prefijado. Debido a la complejidad de los sistemas físicos en los cuales un gran número de variables pueden condicionar el proceso, la ciencia aún no cuenta con técnicas que le permitan modelar con alta precisión dichos sistemas y por lo tanto los mecanismos generadores de cada una de las amenazas.

Por esta razón, la evaluación de la amenaza, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido en el pasado y modelando con algún grado de aproximación los sistemas físicos involucrados.

Las magnitudes se obtienen del Índice de Explosividad Volcánica (VEI) (figura 2), que representa una medida de la energía total que libera una erupción y de la tasa a la que libera esa energía ( $\lambda$ ). La tasa eruptiva es la tasa media a la que han ocurrido erupciones de cierta magnitud o rango de magnitudes (figura 3) en el tiempo  $\lambda(\text{VEI})$ . El inverso de este parámetro es el tiempo medio de recurrencia para ese tipo de erupciones  $\tau(\text{VEI}) = 1/\lambda(\text{VEI})$ . En términos generales, existe una cierta correlación entre el VEI y el potencial destructivo que puede tener una erupción.

Esta correlación no es muy precisa, ya que en ocasiones erupciones con valores VEI bajos o moderados pueden resultar muy dañinas. Sin embargo, las erupciones con VEI altos tienden a ser siempre destructivas para el entorno de los volcanes que las originan.

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Pequeña	Moderada	Moderada a grande	Grande	Muy grande	--	--	--
Volumen emitido (m <sup>3</sup> )	< 10,000	10,000 – 1,000,000	Uno a diez millones	Diez a cien millones	Cien a mil millones	Uno a diez km <sup>3</sup>	Diez a cien km <sup>3</sup>	Cien a mil km <sup>3</sup>	Más de 1000 km <sup>3</sup>
Altura de la columna (km)	0,1	0,1 – 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	Más de 25	--	--	--
Duración en horas	-1	-1	1 - 6	1 - 6	1 - 12	6 - 12	Más de 12	--	--
Inyección a la troposfera	Mínima	Leve	Moderada	Sustancial	Grande	--	--	--	--
Inyección a la estratosfera	Nula	Nula	Nula	Posible	Definida	Significativa	Grande	--	--

Adaptado de: Newhall y Self (1982).

Figura 2. Escala compuesta que considera diversas características de una erupción explosiva. Índice de Explosividad Volcánica (VEI) de Newhall y Sef (1982).

### Probabilidad de ocurrencia del peligro

Para efectos del análisis de peligro, los volcanes se clasifican de acuerdo con criterios relacionados con sus tasas eruptivas y con las magnitudes (VEI) que han sido capaces de producir, esta definición de magnitud continúa ajustándose.

	Year	VEI
<b>Historical</b>	1867	2
	1846	2
	1687	2
	1569–89	2
	1545	2
	1533–39	2
<b>Geological</b>	Year BP	VEI
	4100	≥4
	8500–9000	≥4
	13000	≥4

Figura 3. Actividad geológica e histórica registrada en el volcán Citlaltépetl (De la Cruz-Reyna y Carrasco-Núñez, 2002).

En el apartado Elaboración de Mapas de Peligros Volcánicos de la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (2006), propuesta y publicada por el CENAPRED se menciona que la probabilidad de ocurrencia de por lo menos una erupción de VEI 2 y 4 en el volcán Citlaltépetl en los próximos 50 años, puede obtenerse usando una distribución Binomial, bajo el supuesto que el proceso de Bernoulli describe la secuencia eruptiva estacionaria del volcán.

Utilizando la distribución estadística binomial  $B(n, x) = C_x P^x (1 - P)^{n-x}$ , se obtiene que en el volcán Citlaltépetl en los últimos 467 años, ha ocurrido una erupción con VEI=2 en promedio cada 78 años, y la probabilidad de que ocurra una en los próximos 50 años es de 0.48.

Estas cifras sólo intentan dar una idea del orden de las probabilidades. Cada caso debe ser analizado en el contexto de la historia eruptiva del volcán en cuestión. El análisis de los patrones de ocurrencia de una erupción explosiva ayudará a hacer estimaciones cuantitativas de los niveles de amenaza.

### **Monitoreo sísmico en el volcán Citlaltépetl**

La mayoría de las erupciones, tal vez todas, vienen precedidas por cambios geofísicos y/o geoquímicos en el estado del volcán, por ello es necesario establecer una vigilancia volcánica que se refiere a los estudios científicos que observan, registran y analizan sistemáticamente los cambios visibles ó invisibles que ocurren en el volcán y en sus alrededores. Dichos cambios pueden ser detectados y medidos mediante redes de instrumentos y el empleo de técnicas especializadas (Tilling, 1989).

Los métodos de monitoreo sísmico y de deformación son utilizados para realizar medidas sistemáticas e interpretación diagnóstica de los modelos de comportamiento de la actividad volcánica. Las mediciones de las variaciones en la sismicidad y deformación del suelo han proporcionado datos confiables y son ampliamente usados en la vigilancia de los volcanes (Tilling, 1989). Adicionalmente se han incorporado otros métodos de monitoreo como el geoquímico de manantiales y el visual.

Ibáñez, 2000 menciona que el análisis de los datos de una red sísmica permitirá conocer diferentes aspectos del sistema volcánico como: la dinámica y transporte de fluidos, los efectos o consecuencias de esa dinámica y el posible estado de esfuerzos local y regional (mecanismos de fuente sísmica), además proporcionarán información de numerosos aspectos como los parámetros de la fuente (posición, evolución temporal, cuantificación energética, física y naturaleza) y del medio (estructura de velocidad, atenuación, respuesta local, heterogeneidades, etc). Para el caso del volcán Citlaltépetl la aplicación del monitoreo sísmico se realiza desde 1999, mediante el análisis de los registros sísmicos obtenidos de la operación de las estaciones localizadas en el volcán.

Además, Ibáñez (2000) menciona que para realizar el estudio y análisis de una región volcánica usando datos sísmicos se requiere:

- Detección, registro y adquisición de las señales sísmica.
- Identificación, caracterización y clasificación de las señales sísmicas.
- Análisis cuantitativo de la sismicidad.

A continuación se detallan los tres puntos anteriores relacionándolos con el volcán Citlaltépetl.

#### **Detección y registro de las señales sísmicas**

En México sólo los volcanes Popocatépetl y de Fuego de Colima cuentan con redes sísmicas en tiempo real, que han registrado la actividad sísmica y en conjunto con datos de otros monitoreos, han permitido realizar estudios sobre sismicidad volcánica que han servido para la elaboración de pronósticos a corto, mediano y largo plazo (Macías, 2005).

En el estado de Veracruz existen volcanes y campos volcánicos, de los cuales destacan el volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba) que se ubica en la parte oriental de la Faja Volcánica Mexicana y el Volcán San Martín, localizado en el Campo Volcánico de los Tuxtlas, ambos son considerados volcanes activos y por lo tanto, necesitan ser vigilados.

Para el monitoreo sísmico en tiempo real del volcán Citlaltépetl, el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (CCTUV) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) dieron inicio a los trabajos de instrumentación sísmica a través de la instalación de una red sísmica compuesta por tres estaciones con una distribución aproximadamente triangular. En marzo de 1998, se instaló la primera estación sísmica en este volcán llamada Halcón (POHV), de tipo analógica y consta de un sismómetro de periodo corto uniaxial Mark L4C con frecuencia natural de 1 Hz.

En junio del 2001 CCTUV en colaboración con CENAPRED, personal Civil Puebla y Veracruz y BUAP, se instala la segunda estación sísmica analógica que recibió el nombre Chipe que incluye un sensor triaxial de periodo corto Mark L4C y en 2004 CCTV, CENAPRED y personal de Protección Civil Veracruz, instalan la tercera estación analógica llamada Halcón II que opera con un sismómetro uniaxial Mark L4C de 1 Hz.

Las tres estaciones son autónomas y envían sus señales al Puesto Central del Registro del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (figura 4) en Xalapa y al CENAPRED por medio de enlaces telemétricos.



Figura 4. El sistema de adquisición de datos Earthworm 7.5 registra y almacena los datos provenientes de las estaciones sísmicas de periodo corto ubicadas en el volcán Citlaltépetl. (Foto: A. Alarcón).

También se han utilizado los registros de la estación sísmica de Ciudad Serdán (IIS) del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

### **Identificación, caracterización y clasificación sísmica**

Los volcanes activos son fuentes de una gran variedad de señales sísmicas, las cuales se han clasificado de acuerdo con su forma de onda, contenido espectral y/o localización. Sin embargo la tendencia actual, es mejorar el entendimiento de los efectos de la fuente y de propagación, ya que con ello se da un criterio mucho más completo para la clasificación de una señal, tal como lo sugiere Ibáñez (1997), al afirmar que tales variaciones en la clasificación dependen en buena medida del tipo de instrumento, condiciones geológicas y del tipo de volcán.

Un ejemplo concreto puede observarse en trabajos como el desarrollado por Hidayat et al. (2000) en el Volcán Merapi (Indonesia) en donde encuentran que eventos que tienen bajas frecuencias en estaciones a 3 y 5 km del cráter, aparecen con altas frecuencias en estaciones ubicadas a 200 y 300 m del mismo (obsérvese aquí un fuerte efecto de propagación).

Por esta razón diversas clasificaciones han sido propuestas por autores (Tabla I), como por ejemplo, Okada et al. (1981) quienes encontraron al menos ocho tipos de eventos en el Volcán Usu (Japón). Además, observaron que, para fuentes separadas unos 200 m entre sí, aparecían señales diferentes con lo que se sugerían variaciones en la fuente, más que un efecto de propagación. Otro ejemplo de varias señales lo dan Malone et al. (1981) y Malone et al. (1983) quienes describieron seis tipos de señales en el Volcán St. Helens (EEUU).

El contenido en frecuencias de algunas de estas señales variaba de unas estaciones a otras, sugiriendo efectos de propagación, aunque también para una misma posición de la fuente se observaron diferencias en el contenido espectral, indicando diferente comportamiento de la fuente. Por otro lado es posible que la carencia de una terminología global dificulte críticamente la asignación de un nombre específico a un tipo de sismo dado.

Los criterios de clasificación sísmica mencionados en la Tabla I, se han aplicado también al volcán Popocatepetl para la clasificación de sus eventos sísmicos. En el caso del volcán Citlaltépetl la red sísmica que ha operado desde 1999 hasta el año 2012, ha registrado eventos sísmicos del Tipo A denominados volcanotectónicos y pequeños derrumbes.

Tabla I. Clasificación sísmica aplicada a diversos volcanes en el mundo.

<u>Molina</u> (1999) Volcán Tungurahua (Adopta la de Power)	<u>Minakami</u> (1960, 1974) Volcanes Asama Y Sakurajima <u>Dibble</u> (1974) Ruapehu <sup>(a)</sup>	<u>Latter</u> <sup>(b)</sup> (1979,1981) Volcanes Ruapehu y Ngauruhoe <u>Ntepe y</u> <u>Dorel</u> (1990) V. Stromboli	<u>Power et</u> <u>al</u> (1994) Volcán Redoubt	<u>McNutt et al</u> (1996) Mammoth Mountain	<u>Otros</u> <u>Tipos</u> Mount St Helens, V.N. del Ruiz, Soufriere Hills
Volcano- tectónico (VT)	Tipo A	Volcano- tectónico	Volcano- tectónico VT	Alta frecuencia HF	Alta frecuencia (Endo et al., 1981; Nieto et al., 1990), Tipo h (Malone et al., (1983)
Largo período (LP)	Tipo B	Volcánico	Largo período	Baja frecuencia LF	Baja frecuencia (Endo et al., 1981), Tipo M y Tipo L (Malone et al., 1983), Largo período (Nieto et al., 1990)
Híbrido (HB)	-	-	Híbrido	Frecuencia mixta	Híbrido (White,R., 1998), Media frecuencia
Tremor Volcánico	Tremor volcánico	Tremor volcánico (baja, media y alta frecuencia)	Tremor volcánico	Tremor volcánico	Tremor armónico, tremor espasmódico

### Eventos Tipo A ó Volcanotectónicos

Los eventos volcanotectónicos son generados por fallamiento ó fracturamientos de corte en rocas sólidas, como los ocasionados en las zonas de subducción. Sus principales características son detección del arribo de paquetes de ondas P y S, una fase intensa corta, así como la contribución de ondas superficiales y un decaimiento final en forma de exponencial decreciente que representa la coda. Las frecuencias están definidas para estos sismos oscilan entre 5 y 15 Hz y sus profundidades hipocentrales varían entre 3 y 10 Km.

Eventos Tipo A ó volcanotectónicos, han sido registrados en el volcán Citlaltépetl desde 1999 a 2012; la figura 5 (a) corresponde a un sismo volcanotectónico registrado el 29 de diciembre de 2003 y la figura 5(b) a otro ocurrido el 31 de agosto de 2006.

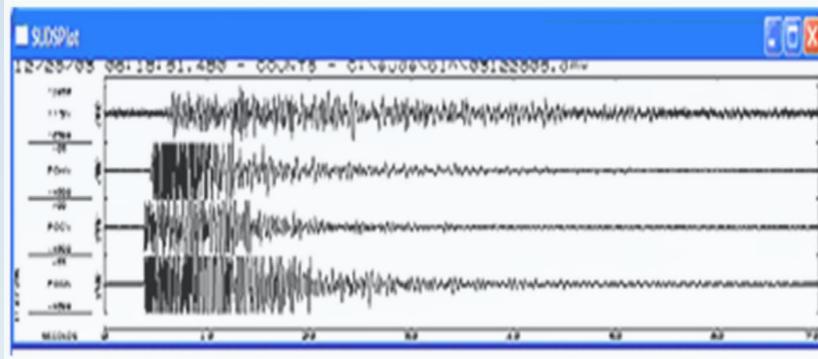


Figura 5 (a)

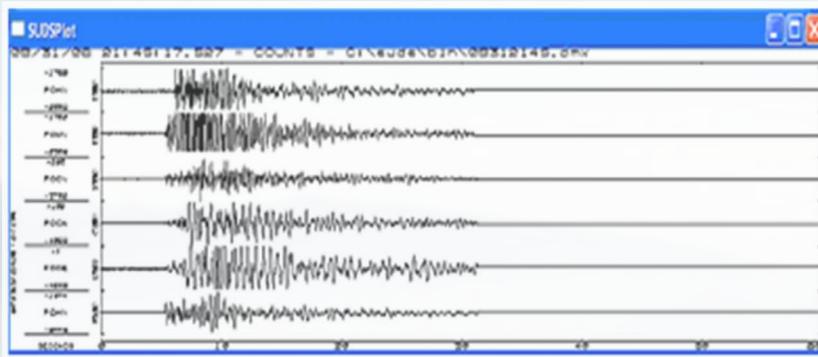


Figura 5(b)

Los sismos volcanotectónicos que se han podido localizar por sus primeros arribos claros en las estaciones POHV, POC e IISV se presentan en la Tabla II utilizando el programa HYPOCENTER de Lienert et al. (1986). Este programa, basado en HYPO71 (Lee and Lahr, 1975) presenta mejores soluciones al permitir que la profundidad se comporte como una variable durante todo el proceso iterativo. Además, este programa utiliza procedimientos estadísticos de regresión tales como centrado y escalamiento para mejorar la matriz de condición, la cual relaciona los cambios en los tiempos de arribo a variaciones en la localización hipocentral.

HYPOCENTER utiliza un modelo de velocidades de capas planas. Aunque es difícil pensar que un modelo de este tipo sea realista para un edificio volcánico, hay que tomar en cuenta que esta estructura se ha ido construyendo por capas. Un modelo de este tipo esencialmente se comportará como una sola capa, ya que los rayos sísmicos con longitudes de onda de 0.35-3 km no serán afectados por capas de espesores menores que estas dimensiones. El modelo usado (Mikumo, comunicación personal) para las localizaciones en el volcán Popocatepetl consiste en una capa de 3.5 km de espesor a partir de la cima del volcán y con una velocidad de 3.5 km/s. La segunda capa tiene un espesor de 4.5 km y una velocidad de 5.5 km/s. La última capa que consiste en un semiespacio tiene una velocidad de 6.5 km/s. Las velocidades fueron determinadas usando la relación  $v = 1.76$ . Modelos similares han sido utilizados para localizar sismos en volcanes activos como es el caso del Redoubt (Lahr et al., 1994). Así que este mismo es el empleado para el volcán Citlaltépetl.

Tabla II. Sismos localizados utilizandoHYPOCENTER.

FID	Shape ^	ANO	MES	DIA	HORA	MIH	SEG	LAT	LONG	PROF	MAG	I11	I12	I13	I14	I15	I16
0	Point	1	6	25	0	36	56.34	19.05	-97.3	6.7	2.02	5	188	3	0	0	0
1	Point	1	7	4	20	16	55.91	19.04	-97.31	2.82	2.19	6	197	4	0	0	1
2	Point	1	7	4	22	18	25	19.04	-97.31	0	2.97	5	182	5	0	0	0
3	Point	1	8	1	11	33	40.55	19.13	-97.25	9.93	2.73	5	26	7	0	0	0
4	Point	2	7	14	2	3	57.31	19.05	-97.29	6.99	1.77	7	204	2	0	0	0
5	Point	2	10	20	18	10	17.6	19.1	-97.41	15.3	2.21	5	59	13	0	1	1
6	Point	2	11	3	14	54	23.11	19.06	-97.29	4.45	2.28	8	159	2	0	1	1
7	Point	2	11	6	10	11	53.93	19.06	-97.3	3.92	2.03	6	160	2	0	0	1
8	Point	3	12	28	19	17	35.35	19.11	-97.39	5.07	2.49	6	59	14	0	0	0
9	Point	3	12	29	6	18	54.18	19.03	-97.26	2.94	2.37	5	108	3	0	0	0
10	Point	4	1	1	1	26	32.06	19.07	-97.24	2.07	1.96	5	55	4	0	1	1
11	Point	4	1	4	18	7	40.6	19.01	-97.3	10.43	2.28	6	238	2	0	1	1
12	Point	4	2	9	13	0	16.7	19.02	-97.27	4.38	1.94	7	122	1	0	0	0

En la figura 6 se presenta el mapa en planta de la ubicación de estos eventos, para su elaboración se utilizó AcGIS 9.2 y cartografía del INEGI del estado de Veracruz 1:50000.

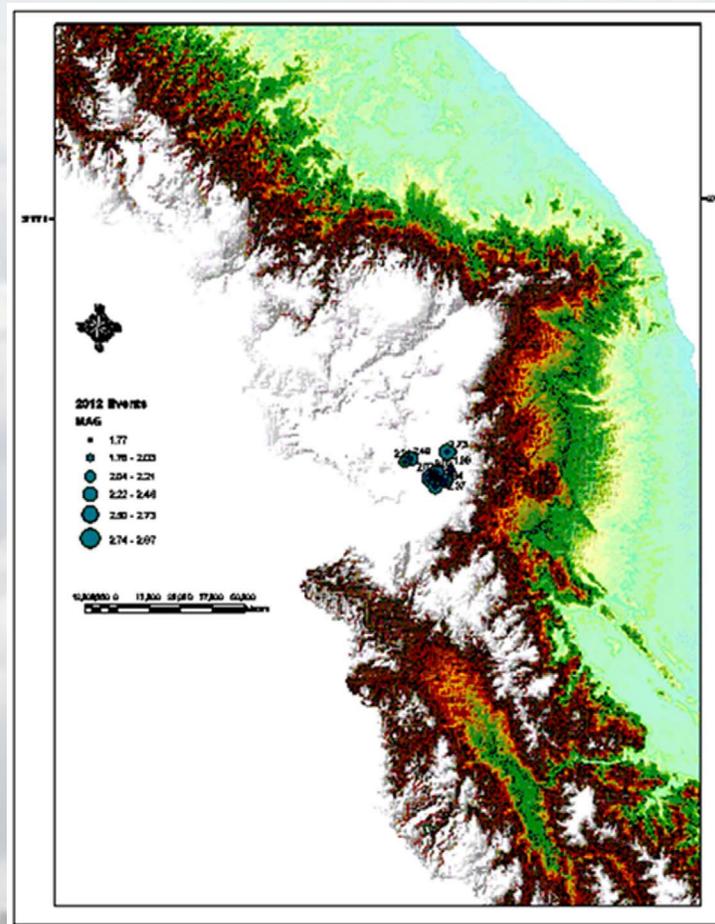
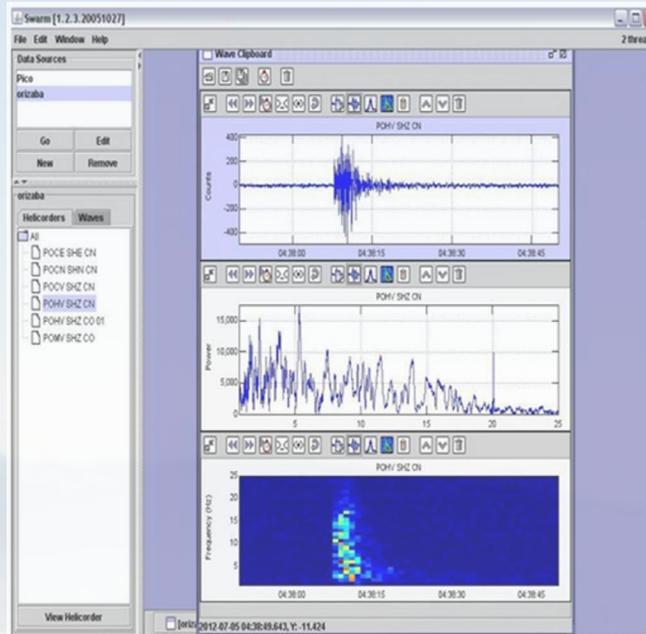
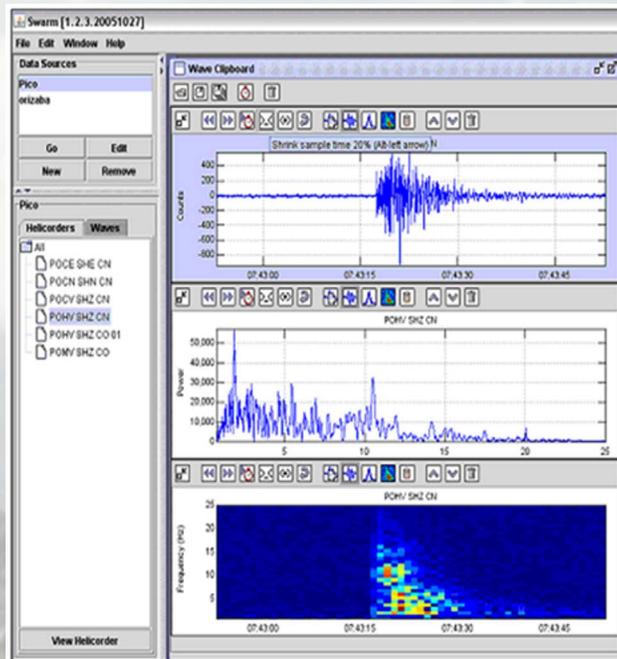


Figura 6. Mapa de ubicación de los sismos volcanotectónicos, las magnitudes de los sismos es Mc (magnitud de coda) varían en rangos de 1.77 a 2.97.

Desde el año 2008 se utiliza el software S.W.A.R.M (Seismic Wave Analysis Real-Time Monitor) complementario al sistema Earthworm, que entre otras opciones permite obtener un sismograma digital, donde es posible visualizar los sismos que se generan en el volcán. Una vez identificados se puede obtener el espectro de frecuencia y el espectrograma de los eventos registrados en el Citlaltépetl, en la figura 7 (a) y (b) se presentan un par de ejemplos de sismos registrados en el año 2012.



7(a)



7(b)

Figura 7(a). Sismo Volcanotectónico registrado el 5 de julio de 2012 a las 04:38 (GMT) y en (b) Volcanotectónico del mismo día 5 de Julio del 2012 a las 07:43 (GMT).

## Derrumbes

Los derrumbes en los volcanes se pueden generar por colapsos de domo, explosiones, ocurrencia de sismos, por arrastre de material no consolidado que desciende por las pendientes de las laderas, etc. En el volcán Citlaltépetl este tipo de eventos han sido registrados principalmente por la estación Chipe (POC), localizada en el flanco Sur del volcán, y su origen se ha asociado a la remoción de pequeñas cantidades de material suelto en las laderas durante la temporada de lluvias.

## Sismicidad histórica regional

Otro aspecto necesario a conocer es la sismicidad regional ya que podrían tener una influencia en el volcán Citlaltépetl. En el estado de Veracruz durante el siglo XX ocurrieron importantes sismos en esta región profunda (mayores de 40 kilómetros) y por estar ubicados bajo la zona más poblada de México (Faja Volcánica Mexicana), produjeron graves daños como el de 1973 en la ciudad de Orizaba. Asimismo en la entidad también se registran otro tipo de sismos denominados *corticales o someros*, los cuales son eventos intraplaca muy superficiales que ocurren dentro de la placa Norteamericana (con profundidades entre los 5 y los 35 kilómetros) y cuyas magnitudes son considerablemente menores a las de los sismos de subducción o profundos. Un ejemplo de esto es el sismo de Xalapa que ocurrió en 1920, el cual provocó graves daños a esta ciudad veracruzana (Kostoglodov et al., 1999).

El sismo de Xalapa del 3 de enero de 1920 ( $M_s = 6.2$ ; Suter et al., 1996) ocupa el segundo lugar a nivel nacional en número de víctimas con 650; de éstas, 419 murieron por avalanchas de lodo provocadas por el deslave de material en barrancas. Este sismo se originó en la Sierra Madre Oriental, entre los estados de Puebla y Veracruz, ubicándose el epicentro a 35 km al suroeste de la Ciudad de Xalapa (Suárez 1991, Flores y Camacho 1922). El tercer lugar le corresponde al sismo de Orizaba del 28 de agosto de 1973 ( $M_w 7.0$ ; Singh y Wyss, 1976) con 539 muertes. Su epicentro se localizó en el estado de Puebla muy cerca de la zona limítrofe con Veracruz a una distancia de menos de 40 km al suroeste de Orizaba.

Además de los sismos de Xalapa y Orizaba, de gran trascendencia por las vidas que cobraron, han existido otros sismos que dañaron ciudades del estado como el de 1931 en Huajuapán de León, Oax., ( $M_s 7.8$ ; Singh et al. 1985) que causó daños a la ciudad Veracruz; el de 1937 ( $M_s 7.3$ ; Jiménez y Ponce 1977-78) que afectó las ciudades de Veracruz, Xalapa, Orizaba y Córdoba.

Por lo anterior, el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana con la asesoría del SSN y el Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica de la UNAM propuso la instalación de una red sísmica para el estado de Veracruz (figura 8), a través de los proyectos: Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos del Estado de Veracruz (capítulo Peligro Sísmico) y la Red Sismológica del estado de Veracruz para Evaluación del Riesgo Sísmico. Dichos proyectos fueron cofinanciados por el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y el Gobierno del Estado de Veracruz a través de la Secretaría de Protección Civil.

## Análisis cuantitativo de la sismicidad en el volcán Citlaltépetl

Para el análisis cuantitativo de la sismicidad del volcán Citlaltépetl se elaboran gráficos que presentan el conteo de sismos registrados en el volcán Citlaltépetl desde 1999 hasta Junio de 2012 (figura 9) y otro que corresponde a la curva de energía acumulada para el mismo período (figura 10). La revisión de la sismicidad se realiza diariamente y por tanto, los gráficos se actualizan de acuerdo al registro de los sismos.

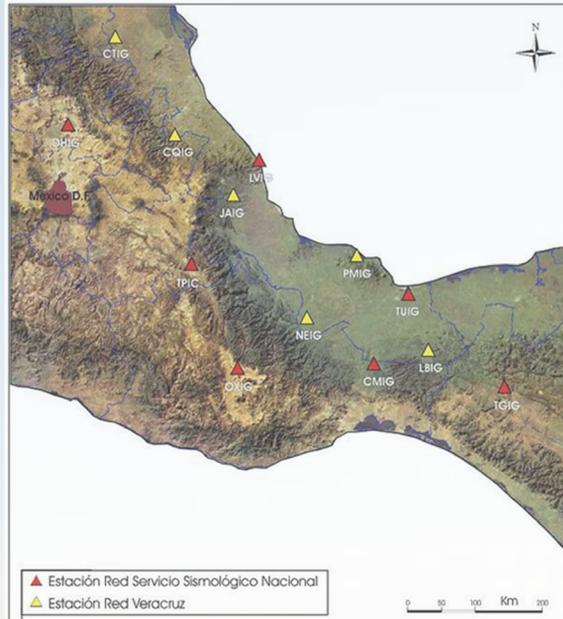


Figura 8. La red sísmica para el estado de Veracruz cuenta con 6 estaciones de banda ancha y banda muy ancha, con una distribución tal que se obtenga la mejor cobertura en esta región del país y que se complemente con los equipos que el SSN ya tiene en la entidad (Laguna Verde y Tuzandepetl, LVIG y TUIG respectivamente) y los que se encuentran instalados en las proximidades del territorio veracruzano que incluyen a las estaciones ubicadas en Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Chiapas.

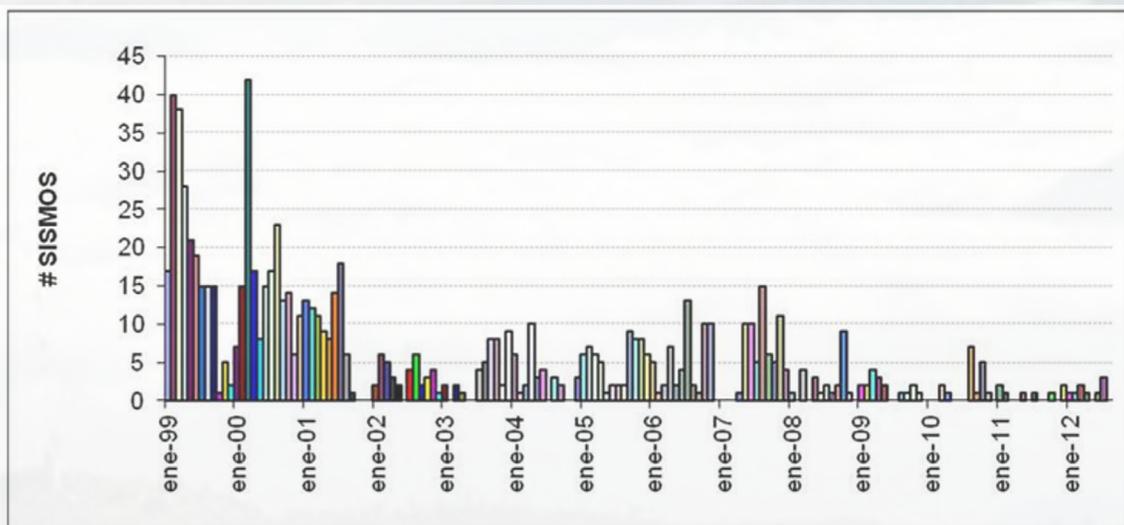
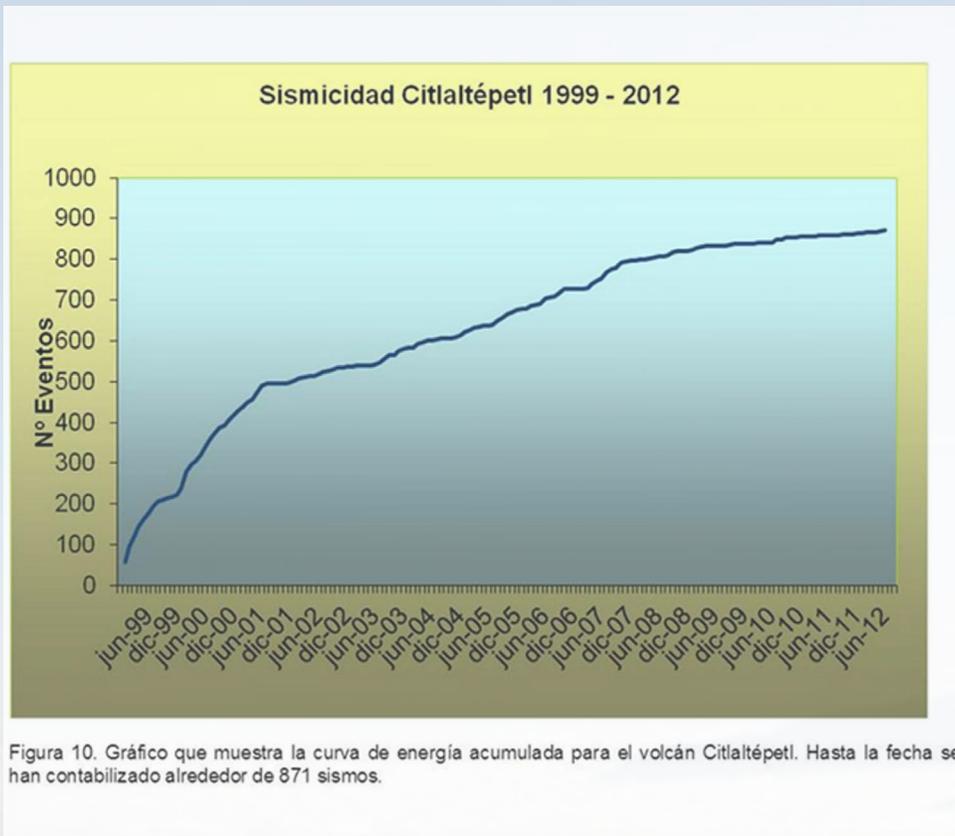


Figura 9. Conteo de sismos volcánotectónicos para el volcán Citlaltépetl, el registro de la sismicidad abarca desde 1999 y considera hasta julio de 2012 (~12 años).



### Escenarios más probables en caso de reactivación volcánica en el Citlaltépetl

En caso de reactivación volcánica es probable la ocurrencia de alguna de las siguientes manifestaciones:

- Incremento el nivel de sismicidad local registrada por las estaciones ubicadas en el volcán, que la población podría percibir generando temor.
- Emisiones ligeras de gas y/o ceniza que pueden afectar zonas de ganadería, de cultivo, contaminar el agua, afectar caminos, etc. En las viviendas podrían causar colapsos de techos en viviendas precarias (techos de lámina) y generar causar lluvia ácida, además de problemas de salud en la población.
- Presencia de magma e incandescencia en el cráter.
- Formación de pequeños domos y presencia de pequeñas explosiones que podrían destruirlos generando caída de fragmentos de diversos diámetros alrededor del volcán.

### Conclusiones

1. Las estaciones sísmicas para el volcán Citlaltépetl, que funcionan desde 1998 con la instalación de la primera estación (POHV), se ha logrado mantener operando de manera regular sin embargo es necesario realizar ajustes de comunicación telemétrica y realizar una modernización del equipo y los instrumentos.
2. En cuanto a la modernización de la instrumentación sísmica, personal del CENAPRED instaló un equipo de banda ancha (comunicación oral) en diciembre de 2011 (adicional al equipo de periodo corto) en la estación Chipe (POC), localizada en el flanco sur del volcán. La señal se recibía en el puesto central de registro del CENAPRED, sin embargo a mediados del 2012 dejó de operar.

El personal del CENAPRED tiene considerado restaurar su operación (comunicación personal) y compartir la señal con el CCT en próximas fechas.

3. Por otro lado en el 2012 personal del CCT de la UV en colaboración con personal del SSN de la UNAM, está realizando actividades relacionadas con la instalación de equipo de banda ancha en la estación POMV, localizada en el flanco Este (W) del volcán. Las actividades incluyen la remodelación del pedestal en la estación, renovación del cableado y sustituir la comunicación telemétrica por un sistema de comunicación satelital, este último será proporcionado por el SSN.
4. Procesar, evaluar y clasificar los datos generados por la red sísmica permiten conocer la actividad sísmica base del volcán. El tipo de sismos registrados en el volcán son los volcanotectónicos, presentes sobre, alrededor y fuera del edificio; sus magnitudes  $M_c$  (magnitud de coda) varían en rangos de 1.77 a 2.97. También se registran derrumbes en el flanco sur del volcán. Hasta el momento, el nivel de sismicidad en el volcán se mantiene con niveles estables.
5. En cuanto a la sismicidad tectónica regional se está llevando a cabo la instalación de una red sísmica para el estado de Veracruz (6 estaciones), a través de los proyectos: Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos del Estado de Veracruz (capítulo Peligro Sísmico) y la Red Sismológica del estado de Veracruz para Evaluación del Riesgo Sísmico.
6. Es necesario complementar con otras técnicas de monitoreo (visual, geoquímica de manantiales, deformación, etc.) con el propósito de establecer correlaciones entre diversos tipos de datos. Al respecto personal del CCT está realizando gestiones para instalar una cámara que proporcione una imagen del volcán en tiempo real que permita observar cambios visibles en el edificio volcánico. El sitio considerado son las instalaciones del Gran Telescopio Milimétrico del INAOE en Puebla, ubicado en el flanco sur del volcán.

## Recomendaciones

1. Derivado de la historia geológica del volcán es necesario considerar el escenario de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud en la región que podría ocasionar colapsos, derrumbes, avalanchas, etc. Por lo que es necesario que las autoridades de Gobierno y de Protección Civil contemplen este escenario y tomen las medidas del caso.
2. Se sugiere a las autoridades de Protección Civil que realicen la elaboración de instrumentos enfocados a la gestión de una emergencia volcánica, utilizando el mapa de peligros del volcán Citlaltépetl y los escenarios probables ya mencionados, por ejemplo: elaboración un plan operativo de acuerdo a los posibles escenarios mencionados, elaboración de un mapa de rutas primarias y secundarias en caso de evacuación, selección con antelación de sitios para albergues, identificación de necesidades de la población sujeta a posibles evacuaciones para ser cubiertas por la autoridades, etc.

## Agradecimientos

Se agradece de forma especial al personal de la Secretaría de Protección Civil Estatal de Veracruz por el apoyo brindado para la construcción, instalación e instrumentación de las estaciones sísmicas en el volcán Citlaltépetl.

## Referencias

Atlas de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos del Estado de Veracruz. 2009. Gilbert Francisco Torres Morales, Ignacio Mora González, Francisco Córdoba Montiel. Capítulo Peligro Sísmico.

- Burski M. 2008. A general model for tectonic control of magmatism: Examples from Long Valley Caldera (USA) and El Chichón (México). *Geofísica Internacional* 48 (1), pp. 171-183 (2009).
- Calvin, E.M., Kudo, A.M., Brookins, D.G., Ward, D.B., 1989. Strontium isotope and trace element geochemistry of Pico de Orizaba-Trans- Mexican Volcanic Belt: comparison phases II and III, en, *Continental magmatism; abstracts: New México Bureau of Mines & Mineral Resources, Bulletin*, pp. 131, 38.
- Cantagrel, J.M., Gourgaud, A., Robin, C., 1984, Repetitive mixing events and Holocene pyroclastic activity at Pico de Orizaba and Popocatepetl, México: *Bulletin Volcanologique*, 47, pp. 735-748.
- Carrasco-Núñez, G., 1993, Structure-eruptive history and some major hazardous events at Citlaltepétl volcano (Pico de Orizaba), México: Houghton, U.S.A., Michigan Technological University, Tesis doctoral, 182 pp.
- \_\_\_\_\_-Núñez, G., 1997, Lava flow growth inferred from morphometric parameters—a case study Citlaltepétl volcano: *Geological Magazine*, 134, pp. 151-162.
- \_\_\_\_\_-Núñez, G., 1999, Holocene block-and-ash flows from summit dome activity of Citlaltepétl volcano, eastern México: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88, pp. 47-66.
- \_\_\_\_\_-Núñez, G., Ban, M., 1994, Geologic map and structure sections of the summit area of Citlaltepétl volcano, México with summary of the geology of the Citlaltepétl volcano summit area: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Cartas Geológicas y Mineras*, 9, 1 mapa, texto explicativo.
- \_\_\_\_\_-Núñez, G., Rose, W.I., 1995, Eruption of a major Holocene pyroclastic flow at Citlaltepétl volcano (Pico de Orizaba), México, 8.5-9.0 ka: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69, pp. 197-215.
- \_\_\_\_\_-Núñez, G., 2000, Structure and proximal stratigraphy of Citlaltepétl volcano (Pico de Orizaba), México, en: Delgado- Granados, H., Aguirre-Díaz, G., Stock, J.M., (eds.), *Cenozoic volcanism and tectonics of México: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper*, 334, pp. 247-262.
- De-la Cruz-Reyna, S., Carrasco-Núñez, G., 2002, Probabilistic hazard analysis of Citlaltepétl (Pico de Orizaba) Volcano, eastern Mexican Volcanic Belt: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113, pp. 307-318.
- Díaz-Castellón, R., 2003, Análisis de la estabilidad de edificios volcánicos del flanco oriental de la Sierra de Citlaltepétl-Cofre de Perote. D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Tesis de maestría, 135 pp.
- Espíndola J.M, Zamora-Camacho A., Godínez M.L., Schaaf P., Rodríguez S.R. 2010. The 1793 eruption of San Martín Tuxtla volcano, Veracruz, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 197, pp 188–208.
- Flores T., H. Camacho. (1922). “Terremoto Mexicano del 3 de enero de 1920”, *Boletín* 38, Instituto Geológico Mexicano. <http://bcct.unam.mx/bogeolpdf/geo38/>.
- Gómez-Tuena, A., Carrasco-Núñez, G., 1999, Fragmentation, transport and deposition of a low-grade ignimbrite: the Citlaltepétl ignimbrite, eastern México: *Bulletin of Volcanology*, 60(6), pp. 448-464.
- Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Riesgos Geológicos. Elaboración de Mapas de Peligros Volcánicos. 2006. Martínez A., Gómez A., De la Cruz S. CENAPRED. Secretaria de Gobernación.

- Hidayat, D., Voight, B., Langston, C., Ratdomopurbo, A., y Ebeling, C. 2000. Broadband seismic experiment at Merapi volcano, Java, Indonesia: very-long-period pulses embedded in multiphase earthquakes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 100, pp. 215-231.
- Hoskuldsson, A., 1992, Le complexe volcanique Pico de Orizaba- Sierra Negra-Cerro Las Cumbres (sud-est mexicain): structure, dynamismes eruptifs et evaluations del areas: Clermont-Ferrand, Francia, Université Blaise Pascal, Tesis doctoral, 210 pp.
- Hoskuldsson, A., Robin, C., Cantagrel, J.M., 1990, Repetitive debris avalanche events at Volcano Pico de Orizaba, México, and their implications for future hazard zones, en: IAVCEI International Volcanological Congress, Mainz, Germany, Resumen, 47.
- \_\_\_\_\_, A., Robin, C., 1993, Late Pleistocene to Holocene eruptive activity of Pico de Orizaba, eastern México: *Bulletin of Volcanology*, 55, pp. 571-587.
- Ibáñez, J. M., Carmona E., 2000. Sismicidad volcánica. Edición de Casa de los volcanes.
- \_\_\_\_\_, J. M., Morales J., Alguacil, G., Almendros, J., Ortíz R., Del Pezzo, E. 1997. Intermediate-focus earthquakes under South Shetlands Islands (Antarctica). *Geophys. Res. Lett.*, 24: pp. 531-534.
- Iverson, R.M., Schilling, S.P., Vallance, J.W., 1998, Objective delination of lahar inundation hazard zones: *Geological Society of America Bulletin*, 110, pp. 972-984.
- Jiménez, Z and L Ponce (1977-78), "Focal mechanism of six large earthquakes in northern Oaxaca, México, for the period 1928-1973", *Geof. Int.* Vol. 17, pp. 379-386.
- Kostoglodov, V., Pacheco J.F. 1999. Cien años de sismicidad. Instituto de Geofísica. UNAM. Póster.
- Kover, T., 1995, Application of a digital terrain model for the modelling of volcanic flows: a tool for volcanic hazard determination: Buffalo, State University of New York at Buffalo, Tesis de maestria, 62 pp.
- Kudo, A.M., Jackson, M.E., Husler, J.M., 1985, Phase chemistry of recent andesite, dacite, and rhyodacite of volcan Pico de Orizaba, Mexican Volcanic Belt: evidence for xenolithic contamination: *Geofísica Internacional*, 24, pp. 679-689.
- Lahr, J. C; Chouet, B.A; Stephens, C. D; Power, J. A. and Page, R. A. 1994. Earthquake classification, location and error analysis in volcanic environment: implications for the magmatic system of the 1989-1990 eruptions at Redoubt Volcano, Alaska. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 62, no. 1-4, pp 137-152.
- Lee, W. K. H. y J. Lahr., 1975 A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U. S. G. S. Open file Report, pp. 75-311.
- Lienert, B. R. E., E. Berg, and L. N. Frazer, 1986. HYPOCENTER, An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively damped least squares, *Bull. Seis. Soc. Am.* 76, pp. 771-783.
- Macías J. L. 2005. Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Temas Selectos de la Geología Mexicana Tomo LVII, núm. 3, 2005*, pp. 379-424.
- Malone S.D., Endo E. T., Weaver C. S., Ramey J. W. 1981. Seismic monitoring for eruption prediction. En: *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens*, Editado por Washington, P. W. Lipman y D. R. Mullineaux. USGS, Prof.Pap. 1250, pp. 803- 813.
- \_\_\_\_\_, S.D., Boyko, C., y Weaver, C.S. (1983) Seismic precursors to the Mount St. Helens eruptions in 1981 and 1982. *Science*. 221, pp.1376-1378.

- Mooser, F., Meyer-Abich, H., McBirney, A. R., 1958, Catalogue of the active volcanoes of the world including solfara fields. Part VI Central America: Napoli International Volcanology Association, pp. 1-36.
- Negendank, J.F.W., Emmerman, R., Krawczyk, R., Mooser, F., Tobschall, H., Werle, D., 1985, Geological and geochemical investigations on the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: *Geofísica Internacional*, 24, pp. 477-575.
- Newhall, C.G., Self, S., 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimation of explosivity magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.* 87C2, 1231-1238.
- Okada H., Watanabe H., Yamashita H. y Yokohama I. 1981. Seismological significance of the 1977-1978 eruptions and the magma intrusion process of Usu Volcano, Hokkaido. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 9, pp. 311-334.
- Robin, C., Cantagrel, J.M., 1982, Le Pico de Orizaba (Mexique): structure et evolution d'un gran andésitique complexe: *Bulletin of Volcanology*, 45, pp. 299-315.
- Rossotti, A., Carrasco-Núñez, G., 2004, Stratigraphy of the 8.5–9.0 ka B.P. Citlaltépetl pumice fallout sequence: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(3), pp. 353-370.
- Sheridan, M.F., Carrasco-Núñez, G., Hubbard, B.E., Siebe, C., Rodríguez-Elizarrarás, S., 2002, Mapa de peligros del Volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba), escala 1:25 000: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa.
- \_\_\_\_\_, M.F., Hubbard, B., Carrasco-Núñez, G., Siebe, C., 2004, Pyroclastic flow hazard at Volcán Citlaltépetl: *Natural Hazards*, 33, pp. 209-221.
- Siebe, H.C., Abrams, M., Sheridan, M., 1993, Major Holocene block-and ash fan at the western slope of ice-capped Pico de Orizaba volcano, México: implications for future hazards: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59, pp. 1-33.
- Singer, B.S., Kudo, A.M., 1986, Origin of andesites and dacites from Pico de Orizaba, Mexican Volcanic Belt: Sr isotope and phase chemistry: *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 18(2), 186 pp.
- Singh, S. K., and M. Wyss (1976). Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973, *Geofis. Int.* 16, pp. 165–184.
- \_\_\_\_\_, S. K., G Suárez and T Domínguez. 1985. "The great Oaxaca earthquake of 15 January 1931: Lithosphere normal faulting in the subducted Cocos plate", *Nature*, Vol. 317, pp. 56-58.
- Suárez, G. (1991). "El sismo de Xalapa del 3 de enero de 1920", *Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS*, # 42, México D.F
- Suter, M, M Carrillo-Martínez and O Quintero-Legorreta (1996), "Macroseismic study of shallow earthquakes in the central and eastern parts of the Trans-Mexican Volcanic Belt, México", *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol. 86, pp.1952-1963.
- Tilling I. R. (1989). Los peligros volcánicos. Apuntes para un curso breve. World Organization of Volcano Observatory. WOVO.
- Verma, S.P., 2006. Extension related origin of magmas from a garnet-bearing source in Los Tuxtlas volcanic field, Mexico. *Int. J. Earth Sci.* 95, pp. 871–901.
- Waitz, P., 1910-1911, Observaciones geológicas acerca del Pico de Orizaba: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 7, pp. 67-76.

Yáñez-García C., García-Durán, S., 1982, Exploración de la región geotérmica Los Humeros-Las Derrumbadas, estados de Puebla y Veracruz: México, Comisión Federal de Electricidad, Reporte Técnico, 96 pp.

Zimelman, D., Watters, R., Firth, I., Breit, G., Carrasco-Núñez, G., 2004, Stratovolcano stability assessment methods and results from Citlaltépetl, México: Bulletin of Volcanology, 66, pp. 66-79.

## PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA REGIÓN SAN ANDRÉS TUXTLA, VERACRUZ

Katrin Sieron

**Resumen**

Anualmente, varias comunidades de los municipios San Andrés Tuxtla y Santiago Tuxtla se encuentran afectados por procesos de remoción en masa de escala pequeña a mediana, especialmente durante la temporada de lluvias o en algunos casos semanas después de la temporada.

Las condiciones climáticas de Los Tuxtlas, las características del suelo, la geología local con sedimentos fácilmente erosionados, fuertes cambios topográficos y por último una creciente intervención humana causan un aumento anual de incidentes de fenómenos de remoción en masa en la región.

Las zonas más afectadas se encuentran en la zona del contacto entre sedimentos Terciarios de la Cuenca de Veracruz al sur y el Macizo Volcánico al norte. La zona de contacto se caracteriza por escarpes con pendientes pronunciadas a lo largo de sistemas de fallas.

Lo anterior genera la necesidad de estudios más a detalle con la finalidad de estar en posibilidad de evitar más daños a estructuras y bienes materiales y humanos en el futuro, por ejemplo a través de planeación urbana.

Para determinar la susceptibilidad de una ladera de experimentar un fenómeno de remoción en masa, como son los deslizamientos, se usó el método Mora-Vahrson (1994), que ocupa 5 variables, de las cuales 3 son factores intrínsecos o condicionantes (Litología **Si**, Humedad del Suelo **Sh** y Relieve relativo **Sr**) y dos son factores de disparo o desencadenantes (Actividad sísmica **Ts** y Precipitación **Tp**).

Los mapas de susceptibilidad por procesos de remoción en masa se preparan en un Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicando la fórmula  $H = (Si * Sh * Sr) * (Ts + Tp)$ , con la cual se calcula la susceptibilidad H.

Los mapas resultantes indican las áreas con mayor o menor susceptibilidad ante el fenómeno durante varios escenarios.

Los resultados se compararon con las observaciones en campo para verificar la eficacia del método.

**Abstract**

Every year, several communities of San Andrés Tuxtla and Santiago Tuxtla municipalities are affected by small to medium scale mass movement processes, first and foremost slides and falls during the rainy season or in some cases weeks after the season ending.

The climate conditions in Los Tuxtlas, together with soil characteristics, local geology (easily erodible basin sediments), abrupt topographical changes and a growing human intervention cause an annual increase of mass movement phenomena incidents in the region.

The most affected areas are located within the contact zone of Tertiary sediments of the Veracruz basin to the south and the volcanic Los Tuxtlas massif to the north. The contact zone between the two geologic complexes is characterized by pronounced scarps along fault systems.

To be able to determine the slope susceptibility for experiencing landslides, the Mora-Vahrson method was used, employing 5 values of which 3 are intrinsic (lithology  $S_i$ , soil humidity  $S_h$  and relative relief  $S_r$ ) and two are triggers (seismic activity  $T_s$  and Precipitation  $T_p$ ).

The landslide hazard maps were elaborated in a Geographic Information System (GIS) applying the formula  $H = (S_i * S_h * S_r) * (T_s + T_p)$  to determine susceptibility  $H$ .

The resulting maps indicate the areas with more or less susceptibility for experiencing landslide phenomena during different scenarios.

The results were compared with field observations to be able to verify the efficiency of the method used.

## Introducción

San Andrés Tuxtla es la cabecera de un municipio del mismo nombre en el estado de Veracruz. Se localiza en la zona de Los Tuxtlas, la cual se encuentra al sur del estado de Veracruz en la costa del Golfo de México (Figura 1). Aparte de San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla y Catemaco son otros centros poblacionales importantes. La región de Los Tuxtlas es de origen volcánico con los tres volcanes San Martín Tuxtla, Santa Marta y San Martín Pajapan y cientos de edificios volcánicos monogenéticos. El macizo volcánico se eleva sobre la Cuenca de Veracruz.

Procesos de remoción en masa han afectado de manera creciente localidades en los municipios San Andrés Tuxtla y Santiago Tuxtla, lo que crea la necesidad de entender mejor el problema para evitar daños materiales y humanos en el futuro. Además, su aplicación permitirá establecer pautas de planeación.

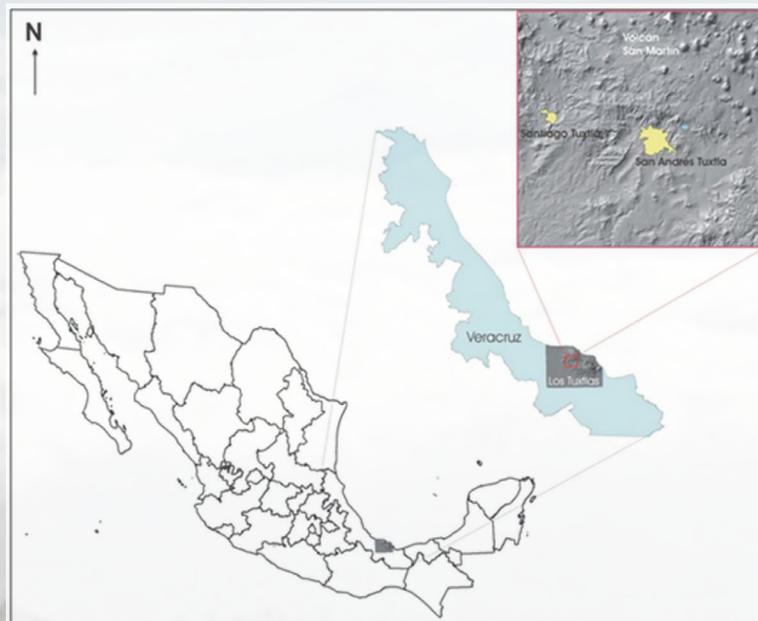


Figura 1. Localización de Los Tuxtlas y del área de estudio.

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de movilización y transporte de material (roca, suelo, etc.) de manera lenta o rápida, provocados por una serie de factores y controlados principalmente por la gravedad (Cruden, 1991).

Las remociones en masa han sido clasificadas de diferentes maneras por una serie de autores (e.g. Sharpe, (1939); Nemcok et al. (1972); Varnes (1978); Cruden y Varnes (1996); los últimos presentaron una clasificación de que los fenómenos de remoción en masa se dividen en las siguientes categorías:

- Desprendimientos (o Caídas)
- Deslizamientos (rotacionales y traslacionales)
- Flujos
- Volcamientos (o Topplings)
- Extensiones laterales

En la Tabla I se presentan los tipos de movimientos y en la Figura 2 se muestra una imagen de los mismos.

Para clasificar un caso específico de un fenómeno de remoción en masa, se toman en consideración distintos factores que solos o combinados son causantes del proceso:

- Factores litológicos (como la superposición de rocas/material no consolidado sobre rocas consolidadas)
- Factores estructurales (meteorización física, química, biológica del estrato superficial)
- Factores topográficos (como las laderas con pendientes abruptas)
- Factores antrópicos (denudación o deforestación del terreno)
- Factores tectónicos (como la ocurrencia de sismos)
- Factores climáticos (precipitaciones fuertes o continuas)

Los factores se pueden dividir en dos grandes grupos: los factores condicionantes y los factores desencadenantes.

Los factores desencadenantes se pueden dividir entre los naturales, como son los sismos, fuertes precipitaciones, socavamiento y erosión fluvial o erupciones volcánicas y los inducidos o antrópicos, como el aumento del peso de talud (por acumulación de construcciones por ejemplo), excavación con retirada de materiales del pie del talud o ladera, creación de taludes artificiales o explosiones realizados por mencionar algunos.

Tabla I. Tipos de movimientos en masa; modificado después de Varnes (1978).

Tipo de movimiento	Tipo de material			
		Roca	Derrubios Grano grueso	Suelo Grano fino
Caídas/Desprendimientos (Falls)		Caída o desprendimiento de roca	Caída o desprendimiento de derrubios	Caída o desprendimiento de suelos
Desplomes/Vuelcos (Topples)		Vuelco/Desplome de roca	Vuelco/desplome de derrubios	Vuelco/desplome de suelo
Deslizamientos (Slides)	rotacionales traslacionales	Deslizamiento de roca	Deslizamientos de derrubios	Deslizamiento de suelo
Desplazamientos laterales (Lateral spreads)		Desplazamientos laterales en rocas	Desplazamientos laterales en derrubios	Desplazamientos laterales en suelos
Flujos (Flows)		Flujo de roca	Flujo de detríto	Flujo de tierra
Combinados (Complex)		Combinación de dos o más tipos de movimientos		

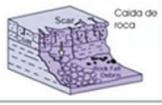
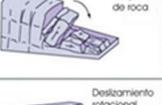
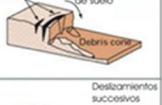
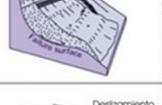
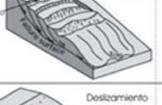
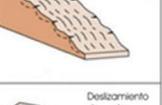
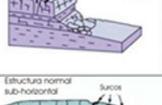
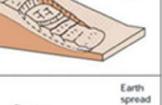
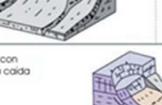
Material	Roca	Derrubios	Suelo
Tipo de movimiento			
Caidas	 <p>Caida de roca</p>	 <p>Caida de derrubios</p>	 <p>Caida de suelo</p>
Desplome/Vuelco	 <p>Desplome de roca</p>	 <p>Vuelco/desplome de derrubios</p>	 <p>Vuelco/desplome de suelo</p>
Deslizamientos	 <p>Deslizamiento rotacional</p>	 <p>Deslizamiento rotacional múltiple</p>	 <p>Deslizamientos sucesivos rotacionales</p>
	 <p>Deslizamiento traslacional</p>	 <p>Deslizamiento de derrubios</p>	 <p>Deslizamiento de suelo</p>
Desplazamientos laterales	 <p>Estuctura normal sub-horizantal</p> <p>Acuña lutita</p> <p>Asajamiento de capas</p> <p>Estado competente</p> <p>Arqueamiento en el valle (asociado por erosión)</p>		 <p>Earth spread</p>
Fujos	 <p>Fujos de Soliflucción (Fujos de detrito periglacial)</p>	 <p>Flujo de detrito</p>	 <p>Flujo de tierra</p>
Fujos	 <p>Flujo de tierra con caídas de una caída de roca</p>		 <p>P. B. Combinados: deslizamiento no-circular parte rotacional parte traslacional gradando hacia flujo de tierra en el pie.</p>

Figura 2. Imágenes de los tipos de remoción en masapresentados en la Tabla I (fuente: Servicio Geológico Británico, BGS por sus siglas en inglés).

## Descripción del área de estudio

### Características morfológicas/topográficas

La zona de Los Tuxtlas se caracteriza por una morfología compleja con pendientes variables (Figura 3A). En el área al norte y oeste de San Andrés Tuxtla existe un contacto entre dos unidades geológicas (sedimentos Terciarios de la Cuenca de Veracruz y lavas del Macizo Volcánico de Los Tuxtlas) que está marcado topográficamente por un escarpe pronunciado con pendientes hasta 74° (Figura 3B). Este escarpe está asociado a un sistema de fallas (ej. Andreani et al., 2008).

Los sedimentos Terciarios (ver características geológicas) que se encuentran en estas zonas de altas pendientes, como es el caso al norte y oeste de San Andrés Tuxtla, alrededor de Santiago, así como al oeste del lago Catemaco, son más propensos a experimentar fenómenos de remoción de masas como deslizamientos y derrumbes.

### Características geológicas

En la zona de estudio se encuentran dos provincias geológicas: el Macizo Volcánico de Los Tuxtlas, y la Cuenca de Veracruz. Mientras el Macizo Volcánico se compone de rocas volcánicas como lavas de composiciones predominantemente basálticas y depósitos piroclásticos de diferente naturaleza, la Cuenca de Veracruz se compone principalmente de sedimentos Terciarios (como areniscas, lutitas, etc.). El contacto entre ambas unidades se expresa a través escarpes y un sistema de fallas.

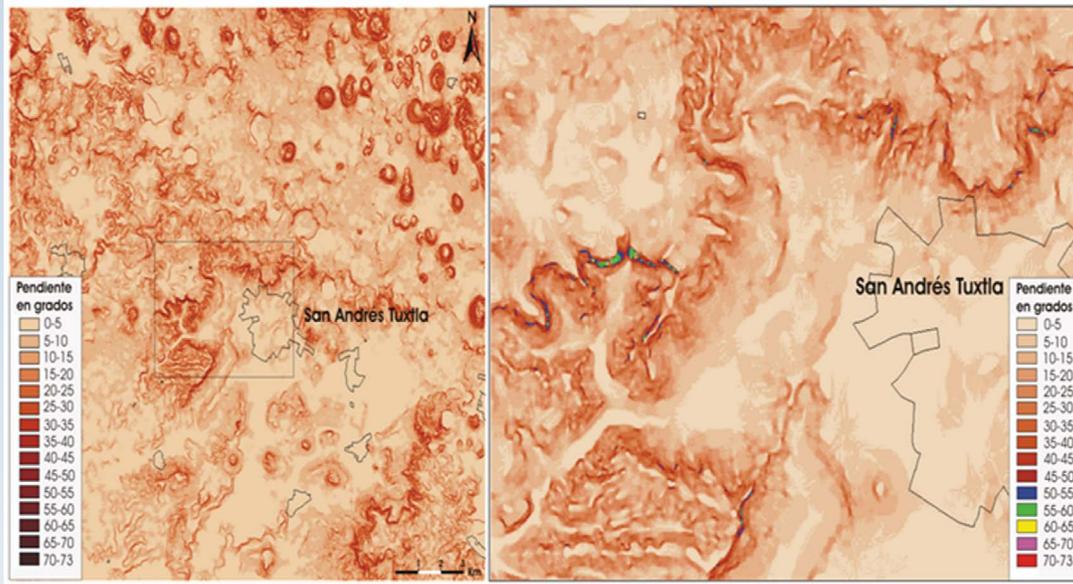


Figura 3. (A) Pendientes de la zona de estudio. Los colores más oscuros indican pendientes más pronunciadas. (B) acercamiento al área oeste de San Andrés; se resaltaron pendientes  $>50^\circ$  usando puntos de colores.

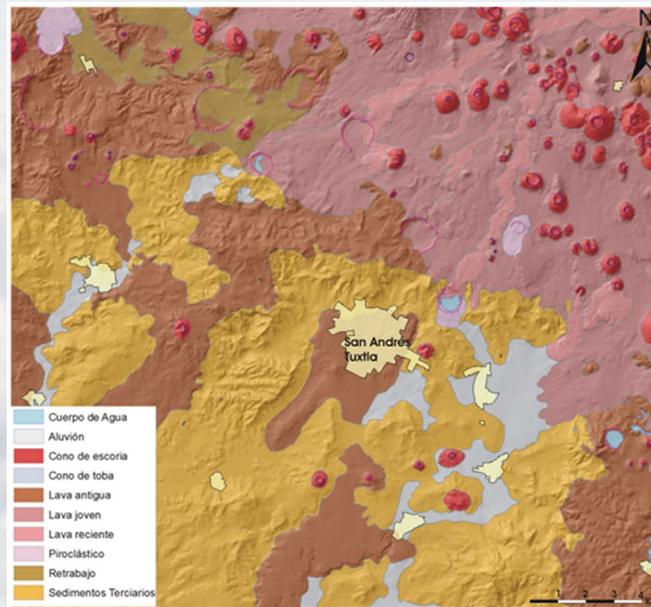


Figura 4. Mapa geológico de la zona de estudio. (Color amarillo: sedimentos de la Cuenca de Veracruz, colores café a morado: secuencias volcánicas de diferentes edades; color rojo: conos de escoria, líneas rosa: cráteres de explosión (maars); gris: aluvión).

### Características climáticas

El clima en la región de Los Tuxtlas varía entre tropical y húmedo subtropical, debido al rango altitudinal. Datos coleccionados en la Estación Tropical Biológica de “Los Tuxtlas” muestran una precipitación anual de más de 4500 mm (Guevara Sada et al., 2000). Aunque las precipitaciones ocurren a lo largo del año, la mayoría de ellas se esperan en los meses de Junio a Febrero.

Las condiciones climáticas favorecen una intensa meteorización, erosión y alteración de las rocas y sedimentos de la región, lo que a su vez contribuye a los factores condicionantes para la producción de un movimiento en masa (ej. Terzaghi, 1950; Varnes, 1978).

### **Metodología para la identificación de zonas susceptibles para presentar remoción en masa en la región de San Andrés Tuxtla**

Entre los procesos de movimiento en masa, descritos en la Tabla I, en la zona de estudio se observaron:

- Diferentes tipos de flujos (flujos de detrito, suelo, lahares)
- Desprendimiento/Caída/Vuelco de roca/suelo

En los alrededores de San Andrés Tuxtla se pueden observar flujos (flujo de detrito, flujo de suelo) en los flancos de conos de escoria (Figuras 5A y 5B), deslizamientos (Figura 5C), flujo lento o creep (Figura 5D), desprendimientos y vuelcos (Figura 5E), así como lahares (flujos de lodo bajando por los flancos de un volcán) (Figura 5F).

Para determinar las áreas susceptibles a presentar el fenómeno de las remociones en masa, se aplicó una metodología que considera factores litológicos, topográficos, tectónicos y climáticos (Mora y Vahrson, 1994). Usando como herramienta los sistemas de información geográfica (SIG), se elaboran 3 mapas de factores condicionantes (geología=factor Si, humedad del suelo=factor Sh y pendiente=factor Sr) y 2 de factores desencadenantes (precipitaciones fuertes=factor Tpy sismos=factor Ts).

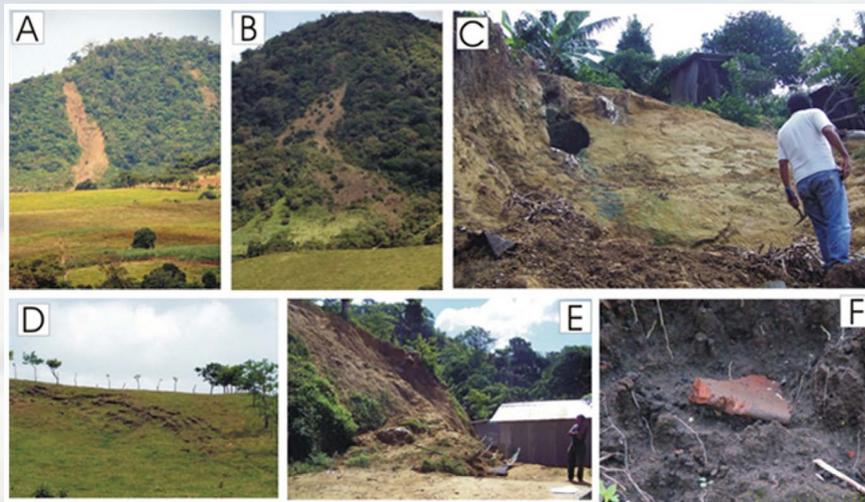


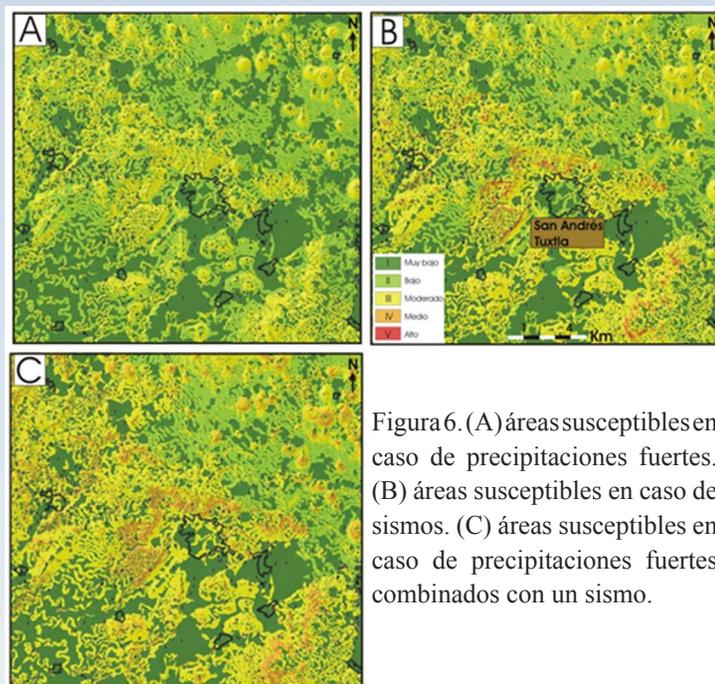
Figura 5. Variedad de fenómenos de remoción en masa en Los Tuxtlas, cerca de San Andrés (Fotos: K. Sieron).

Estos 5 mapas se combinan, usando una fórmula en el “raster calculator” del SIG (susceptibilidad  $H = (Si*Sh*Sr)*(Ts+Tp)$ ), para así obtener mapas finales que se pueden interpretar para asignar zonas de baja a alta susceptibilidad por remoción en masa.

### **Resultados**

Se producen tres mapas usando las tres combinaciones de factores desencadenantes (Sismo, Lluvia, y Sismo y Lluvia) (Figuras 6A – 6C).

Las zonas que presentan la mayor susceptibilidad (en este caso susceptibilidad media) son por ejemplo: conos de escoria con pendientes elevadas y las zonas al norte y occidente de la cabecera municipal San Andrés Tuxtla donde existen pendientes altas y sedimentos de la cuenca de Veracruz.



En varias comunidades cerca de San Andrés Tuxtla que se sitúan justo sobre las zonas de mayor susceptibilidad se observan anualmente deslizamientos (igual que otros tipos de movimientos en masa) (Figura 7).



Figura 7. Ejemplos de viviendas que se encuentran en zonas con una susceptibilidad mediaa experimentar PRM en las localidades al norte de San Andrés Tuxtla (Texcaltitán y Tonalapan). Fotos tomadas en el año 2010 por K. Sieron.

## Discusión

La susceptibilidad de una región ante el fenómeno de remoción en masa depende del lugar donde se encuentre, del tipo de actividad humana en la región, el uso del suelo y la frecuencia de la ocurrencia

del fenómeno. Los daños causados por la remoción en masa se pueden prevenir aplicando metodologías como la presentada en este trabajo para producir mapas de susceptibilidad y peligro que indican las zonas más propensas. Con la información de estos mapas se puede hacer una mejor planeación urbana, así como realizar recomendaciones a las autoridades de Gobierno y de Protección Civil para tomar medidas de prevención (reubicación hacia zonas más seguras, aplicación de medidas para la estabilización de laderas peligrosas, reforestación, redireccionamiento de aguas superficiales, etc.) y realizar la aplicación de medidas durante la temporada de lluvias (evacuaciones temporales de viviendas, etc.).

## Conclusiones

El método aplicado para determinar las zonas propensas de experimentar procesos de remoción en masa en este trabajo – método Mora-Vahrson – usa parámetros relativamente fáciles de obtener y produce mapas de susceptibilidad integrados a un SIG. Los resultados obtenidos a través de este método ofrecen una visión general de áreas susceptibles ante el fenómeno. Las observaciones realizadas en campo indican coincidencias entre las zonas más susceptibles (determinadas con el método) y rastros de procesos de remoción pasados. Para un estudio más a detalle de una ladera determinada este método no es el más adecuado.

## Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias al apoyo de los fondos FOPREDEN y del Gobierno del estado de Veracruz a través de la Secretaría de Protección Civil del estado dentro del marco del proyecto “Estudio Geológico del volcán San Martín Tuxtla, Veracruz. Equipamiento, Instrumentación y Monitoreo con fines de prevención de desastres”.

## Referencias

- Andreani L., Rangin C., Martínez-Reyes J., Le Roy C., Aranda-García M., Le Pichon X., Peterson-Rodriguez R., 2008, The Neogene Veracruz Fault: evidences for left-lateral slip along the Southern Mexico Block. *Bulletin de la Société Géologique de France*, T. 179(2), pp. 195-208.
- CRUDEN, D.M. 1991. A simple definition of a landslide, *IAEG Bull.* 43, pp. 27-29.
- \_\_\_\_\_, D.M., Varnes, D.J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (eds) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transp Res Board, Spec Rep 247, pp. 36–75.
- Guevara Sada, S., Laborde Dovalí, J., Sánchez-Ríos, G. 2000. *La Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas – Documentos de trabajo*. 29, pp. 1-50.
- Nemčok, A., Pašek, J. and Rybář, J. 1972. Classification of Landslides and Other Mass Movements. *Rock Mechanics* 4, pp. 71-78.
- Mora, S., Vahrson, W.G. 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bull. Asoc. Engin. Geol.*, 31, 1, pp. 49-58.
- Servicio Geológico Británico, BGS, [www.bgs.ac.uk](http://www.bgs.ac.uk)
- Sharpe, C.F.S. 1939. *Landslides and Related Phenomena*. Cooper Square Pub, Inc., New York, 137 pp.
- Terzaghi, K. (1950). *Mechanisms of Landslides*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Berkeley, pp. 83-123.
- Varnes, D.J. 1978. Slope Movement types and Processes. In: *Landslides, Analysis, and Control* (Shuster, R.L. and R.J. Kriszcek, Eds.) National Academy of Science, National Research Council Transportation Research Board, Washington D.C. pp. 11-33.

### LA GESTIÓN PARA EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS DESDE EL ENFOQUE DE SISTEMAS COMPLEJOS

María del Socorro Menchaca Dávila  
Javier Bello Pineda

#### **Resumen**

La metodología de Gestión para el Manejo Integral de Cuencas (GEMIC), tiene como propósito investigar las cuencas bajo el enfoque de sistemas complejos, ubicado en el contexto del desarrollo sustentable. Esta herramienta metodológica busca desarrollar procesos de construcción de conocimientos interdisciplinarios en los ámbitos de lo ambiental, social y económico, para proponer políticas y estrategias construidas con base en la producción de conocimientos científicos.

#### **Abstract**

Management Methodology for Integrated Watershed (GEMIC), aims to investigate the basins under the complex systems approach, set in the context of sustainable development. This methodological tool seeks to develop knowledge building processes in interdisciplinary areas of environmental, social and economic, to propose policies and strategies are built on the production of scientific knowledge.

#### **Presentación**

La GEMIC, es un instrumento metodológico que se desarrolló en el contexto del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), modelo científico que es una iniciativa universitaria impulsada por profesores/investigadores pertenecientes a distintas entidades académicas y regiones de la Universidad Veracruzana. El OABCC tiene como propósito desarrollar conocimientos en el contexto del manejo integral de cuencas y su gestión, para que de manera oportuna se formulen políticas públicas y estrategias eficientes que consideren los impactos humanos en la salud ambiental de las cuencas actual y futura.

La metodología se dirige a proponer políticas públicas y estrategias dirigidas a resolver problemáticas relacionadas con el ciclo natural y antropogénico del agua en cuencas, así como determinar tendencias y escenarios desde la perspectiva científica y lo hace, abordándole desde el enfoque de sistemas complejos. El contexto general de la estrategia de GEMIC tiene como eje el llamado desarrollo sustentable que describe un proceso socio-económico ecológicamente perdurable y socialmente justo.

El sentido general que persigue el desarrollo sustentable, está íntimamente relacionado con los siguientes aspectos: la satisfacción de las necesidades básicas para todos los seres humanos en el presente y el futuro; la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas; la disminución del consumo de energía y desarrollo de tecnologías de fuentes renovables, el crecimiento económico ecológicamente saludable, entre otros.

Bajo este enfoque se define como Cuenca al espacio limitado que incluye desde los aspectos que abarcan las formas geológicas de la tierra que captan, concentran y distribuyen los distintos flujos hídricos, que provienen de las precipitaciones de la región, hasta los aspectos relacionados con los ecosistemas, los

seres humanos que habitan espacios y territorios, así como los relativos a la economía en cuanto a los sistemas y modos de producción de bienes y servicios.

En la metodología de GEMIC, se establecen una serie de grandes etapas, las que se relacionan entre sí en un proceso secuencial de desarrollo (ver figura 1). Sin embargo, se señala que el atributo eje de la metodología es la flexibilidad, esto significa que, al interior de cada una de las etapas o fases, no se obedece esquemáticamente el orden y la seriación de las acciones que se establecen, es decir, el desarrollo metodológico no es lineal, por el contrario, el proceso se adapta a los requerimientos que marca el curso de la investigación sobre el sistema complejo de cuenca(s). Lo anterior, permite desarrollar procesos de retroalimentación que permitan cambios y ajustes para lograr un trabajo científico de la más alta calidad. A continuación se presentan las etapas del desarrollo metodológico, mismos que se explicitan en los apartados que integran la GEMIC.

### **Construcción de la visión sistemática de cuencas**

Esta primera etapa implica la construcción de la visión de un sistema complejo, misma que puede abarcar una cuenca o varias, lo que se establece como objeto de estudio y/o de intervención. Cabe señalar que esta labor es por sí misma de naturaleza subjetiva, debido a que no es posible contar con la multiplicidad de información para tener una visión total del objeto de estudio y/o de intervención.

El abordaje sistémico es el punto clave y de partida para homogeneizar la visión del sistema, lo que significa reconocer que la gestión para el manejo integral de una cuenca, implica incidir en problemáticas complejas (o situaciones complejas), las que están determinadas por la confluencia de múltiples factores que interactúan y pueden ser interdependientes, de tal manera que no es posible aislarlos, describirlos o explicarlos “sumando” los estudios parciales que realicen distintos especialistas de manera independiente.

El fundamento de lo expuesto es que en los fenómenos que ocurren en las cuencas están involucrados distintos aspectos del medio físico – biológico, la organización social, la economía, la producción, la tecnología, los factores antropogénicos y su relación con los servicios ambientales, etc., lo que implica a su vez la confluencia de múltiples procesos (en los que pueden intervenir diversos campos de conocimiento), cuyas interrelaciones constituyen la estructura del sistema que funciona como totalidad organizada, y es lo que se define como un sistema complejo.

Cabe señalar que este enfoque de análisis, en que se aborda la GEMIC desde la perspectiva de los sistemas complejos, deriva del hecho que no es posible contar con la certeza sobre la magnitud y cualidad de los fenómenos, sin embargo, se tiene que actuar con el sistema que es el objeto de estudio en el que se decide investigar, trabajar y/o intervenir.

Lo anterior, es la base que sustenta la definición, determinación y/o delimitación del objeto de estudio que comprende los siguientes aspectos:

- La definición de las preguntas iniciales
- La determinación del contexto del objeto de estudio
- El establecimiento del marco conceptual

#### **La definición de las preguntas iniciales**

Estas servirán para definir las categorías que integran el sistema en el caso de las cuencas, mismas que son tres: ambiental, social, y económico y sus elementos, entendidos como las disciplinas que abarcan éstas; y paralelamente, establecer un acercamiento a las interrelaciones entre disciplinas y/o campos de conocimiento del sistema complejo/objeto de estudio que son las cuencas.

Lo anterior, es una guía para la comprensión de los procesos de investigación/intervención ya que, por una parte, se establece el esquema explicativo inicial, sobre el funcionamiento de un sistema caracterizado

por fenómenos que están determinados por procesos en donde entran en interacción las categorías del sistema, y por la otra, se define los campos de conocimiento y/o disciplinas que intervienen en cada una de las categorías del sistema de cuenca(s). En este caso, las preguntas iniciales de la GEMIC son las siguientes:

¿Cuál es el comportamiento del ciclo natural y antropogénico del agua en las cuencas de estudio y/o intervención? y ¿cuáles son las estrategias de gestión para el manejo integral de cuencas, desde la perspectiva del llamado desarrollo sustentable?

Cabe señalar que, el establecimiento del enfoque interdisciplinario es la base para desarrollar todas las fases de investigación y también que el desarrollo de este enfoque inicia desde la formulación de la visión del objeto de estudio y la formulación de las preguntas iniciales que guiarán el proceso que no es lineal, ya que pasa por distintas fases, cada una con distintas formas de organización grupal o procedimientos específicos que deberán establecerse entre todos los miembros del grupo de trabajo.

### **La determinación del contexto del objeto de estudio**

Esto implica hacer necesariamente un “recorte” de la realidad, sin que por ello se afecte, fragmente y/o segmente el contexto físico-biológico para el análisis y/o el estudio de una cuenca. Dicha determinación es una abstracción que es útil para especificar el espacio geográfico el que se establece para distintos propósitos: delimitarlo, caracterizarlo, comprender su magnitud en términos generales, esto de acuerdo con el tipo de cuencas que se quiere investigar y/o intervenir, entre otros aspectos.

Un aspecto fundamental para investigar e intervenir en un sistema complejo es establecer sus dimensiones. De acuerdo con Fenzl (2010, p. 9) “...la definición de un sistema complejo relaciona el espacio interno y el espacio externo del sistema, mediante la inclusión de una dimensión intermedia *mesoscópica* (del griego *meso-entre*).” El autor distingue tres dimensiones básicas de espacio tiempo en sistemas complejos que actúan en sinergia:

La microscópica, que describe el espacio interno a nivel de las partes individuales (los elementos del sistema), mismos que se relacionan en forma no lineal.

La mesoscópica, que es la frontera estructural del sistema que separa el espacio interior (espacio de las interacciones entre los elementos) y el espacio exterior de la estructura del sistema.

La macroscópica, formada por el espacio más allá de la frontera estructural, llamado también campo de interacción. Esta parte externa a la frontera estructural es la fuente de energía y materia para la manutención del metabolismo del sistema llamado cuenca.

De manera práctica, la determinación de la amplitud del objeto de estudio, deriva en la elaboración del mapa de la cuenca (s) en donde se ha decidido investigar e intervenir, mediante la representación cartográfica, los límites territoriales y las localidades comprendidas dentro del área geográfica.

### **El establecimiento del marco conceptual**

La exigencia que representa la investigación o estudio relacionado con el ámbito de gestión para el manejo integral de cuencas, en donde está en juego el funcionamiento de un sistema complejo, puede desarrollarse mediante un equipo de trabajo que construya marcos epistémicos, conceptuales y metodológicos que sean definidos de manera conjunta, que su alcance y profundidad seacompartida y comprendida entre todos los miembros del grupo.

El marco conceptual implica al bagaje teórico constituido desde la perspectiva de los distintos campos de conocimiento/disciplinas y/o los investigadores, y el como éstos lo identifican, seleccionan y organizan. Debido a que es diverso y complicado el uso de conceptos, términos, definiciones y referentes en la gestión y el manejo integral de cuencas es importante establecer procesos que permitan su consenso.

Respecto al marco conceptual, en la GEMIC, por ejemplo, se definió el concepto de cuenca, con la participación del grupo multidisciplinario del Observatorio del Agua para el estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), mismo que se establece al inicio del capítulo.

A partir de dicha definición, se desprenden una serie de conceptos centrales que deben analizarse a mayor detalle como son: el tipo de cuenca, estado y tendencias en cuanto a factores básicos como pueden ser la disponibilidad del agua; la calidad de agua; los aspectos sobre la sociedad, economía e instituciones relacionados con la gestión de cuencas y manejo integral; resiliencia, estrategias y parámetros de sustentabilidad, entre otros, que son definidos y compartidos por el equipo de trabajo.

Construir y abordar de manera conjunta, entre todos los campos de conocimiento o disciplinas, los aspectos relativos a la determinación de la visión sistémica de una cuenca, implica la comprensión de la complejidad subyacente en ésta, y también contar con las herramientas necesarias para su gestión y el manejo integral.

### **Sistema de Información del Observatorio del Agua, Bosques, Cuencas y Costas.**

El desarrollo de la GEMIC se apoya en el Sistema de Información del Observatorio del Agua, Bosques, Cuencas y Costas (SIOABCC), mismo que está constituido por una serie apartados integrados en bases de datos o información teórica – conceptual y metodológica, los que son útiles y/o necesarios para diagnosticar, monitorear y detectar problemáticas complejas, en el marco de la gestión para el manejo integral de cuencas. Estos apartados, en términos generales, se relacionan con las categorías del sistema-cuenca(s) de lo social, económico y ambiental y abarcan el ciclo hidrológico natural y antropogénico, cuestiones que permiten identificar las condiciones en que se encuentra la cuenca y su “salud”.

Las cuatro fases de dicho ciclo son las siguientes:

- Disponibilidad del recurso relacionada con las fuentes de abastecimiento en cuanto a cantidad y calidad;
- Distribución del sistema hidráulico y/o redes de distribución;
- Uso del recurso que integra la oferta y demanda de los usuarios del agua, uso racional y sobreexplotación;
- Gestión relacionada con el desalojo, tratamiento de aguas servidas y reciclaje.

Cabe señalar que el SIOABCC, tiene el propósito de contar con la información necesaria para desarrollar procesos de investigación y transferencia de conocimiento, establecer escenarios y tendencias, así como analizar las políticas públicas desarrolladas por los gobiernos federal, estatal y municipal en materia del agua. Los apartados son los siguientes:

- Información y parámetros de sustentabilidad de acuerdo con las metodologías de manejo integral de cuencas.
- Base de datos sobre políticas públicas de los gobiernos federales, estatales y municipales.
- Marco geoespacial integrado por distintas agencias de información.
- Base de datos sobre leyes, reglamentos y normas oficiales en los distintos ámbitos de gobierno.
- Información teórico-conceptual y metodológica sobre temas relativos a la gestión del manejo integral de cuencas.

A continuación se describen los distintos apartados, mismos que deben actualizarse de manera permanente.

## **Información y parámetros de sustentabilidad de acuerdo con las metodologías de manejo integral de cuenca(s)**

Este primer apartado consiste en una base de datos donde se concentra la información de variables, indicadores y parámetros de sustentabilidad de acuerdo a los requerimientos del manejo integral de cuencas y su gestión.

La información está integrada considerando tres categorías generales: ambiental, social y económica, de las cuales se desglosan subcategorías, compuestas por diferentes variables, información que ayudará a identificar los parámetros para detectar el estado y salud de una cuenca.

### **A. Categoría Ambiental**

Subcategorías:

- Geología  
Variables: *cartografía geológica, recursos naturales y zonificación de peligros geológicos.*
- Geomorfología  
Variables: geomorfología: *unidades edafológicas, relieve y fases fisicoquímicas del suelo.*
- Calidad del suelo  
Variables: calidad del suelo: *bioindicadores, fisicoquímicos, microbiológicos y contaminantes.*
- Hidrología  
Variables: *climatología, balance total de agua y calidad, calidad de agua y bioindicadores.*
- Ecosistemas  
Variables: *Cobertura vegetal y fauna.*

### **B. Categoría Social**

Subcategorías:

- Dinámica y territorialidad de la población  
Variables: *tamaño de la población por municipio y localidad, distribución de la población, composición, ritmo de crecimiento, mortalidad, escolaridad por distintos rangos de edad, ocupación territorial, migración, niveles mínimos de bienestar social, marginación y pobreza.*
- Ordenamiento territorial  
Variables: *uso de suelo, servicios públicos e infraestructura municipal, vivienda, densidad de población y jerarquía urbana, rural y mixta.*
- Gobernanza y marco institucional  
Variables: *estructura gubernamental, problemas que enfrentan las distintas formas de gobierno, tipo de gobierno, evaluación de los sistemas gubernamentales, leyes que rigen en materia del agua así como enfoques innovadores.*

### **C. Categoría Económica**

Subcategorías:

- Actividades económicas productivas  
Variables: *actividades del sector primario, secundario y terciario principalmente enfocadas a la proporción de agua utilizada en cada uno de estos sectores, y modos de producción de bienes y servicios.*

- Problemas de uso del suelo

VARIABLES: problemas de uso de suelo: *agricultura, ganadería, silvicultura, minería y ambiente urbano, plantas generadoras de energía, zonas de protección y escurrimientos, humedales, y evaluación de riesgos por cambio de uso de suelo.*

Cabe señalar que las subcategorías y variables permiten conocer el estado de salud de una cuenca, el comportamiento del ciclo natural y antrópico del agua, así como los factores que inciden en el manejo integral del sistema - cuenca(s); además, que de ser necesario y para el logro de los propósitos de la GEMIC, se pueden integrar nuevas subcategorías y variables a las categorías de lo ambiental, social y económico.

### **Base de datos sobre políticas públicas de los gobiernos federales, estatales y municipales**

Consiste en una base de datos donde se concentran las políticas públicas existentes en los tres ámbitos de gobiernos, federal, estatal y municipal, relacionados con la temática del agua; así como el desarrollo de mecanismos que permitan su análisis, seguimiento y evaluación. Lo anterior implica entre otras acciones, el desarrollo de estudios que den cuenta, por ejemplo, de la percepción local sobre las principales problemáticas relacionadas con disponibilidad, calidad, usos y cultura de cuidado del agua, valor del recurso, pago por servicios ambientales, etc., en relación a las políticas, estrategias y/o acciones gubernamentales que se desarrollan, entre otros aspectos ubicados en el contexto de la problemática del recurso hídrico.

### **Marco geoespacial integrado por distintas agencias de información**

Consiste en la representación cartográfica de las distintas variables e indicadores relacionados con las categorías, subcategorías y variables relativos a la GEMIC. Básicamente incluye mapas, cartas, atlas, imágenes obtenidas con percepción remota, modelos digitales de elevación y cualquier otra información cuyo componente espacial permita su representación cartográfica. Esta puede ser provista por agencias gubernamentales de los diferentes niveles, como por centros académicos, sociedad civil y particulares, tanto a nivel nacional como internacional. Es importante hacer énfasis que este tipo de información debe estar acompañada de otra adicional o metadatos, que permitan hacer seguimiento a la fuente original de los mismos y en su caso evaluar si cumple con los estándares mínimos de calidad, para integrarla a procesos de análisis, gestión y toma de decisiones.

Algunas de las agencias gubernamentales mexicanas que proveen información cartográfica de alta calidad de manera regular y actualizada son el INEGI, CONABIO, INE, SEMARNAT, CONAFOR, CONAGUA, entre otras. Algunas instituciones académicas como la UNAM, UAM, IPN y varias universidades estatales producen este tipo de información como producto de sus investigaciones. Tanto ONGs nacionales e internacionales cuentan con información cartográfica de tipo ambiental y socioeconómica muy valiosa, tales como WWF, Conservación Internacional, The Nature Conservancy y PRONATURA; además, algunas agencias internacionales cuentan también con acervos importantes tales como la NASA, NOAA, ONU, y que permiten obtener incluso series históricas de datos de varias décadas.

### **Base de datos sobre leyes, reglamentos y normas oficiales en los distintos ámbitos de gobierno**

Se basa en la elaboración permanente de una matriz de información sobre leyes, reglamentos y normas oficiales de los gobiernos federal, estatal y municipal, con base en la temática y problemática del agua, relacionados con los siguientes ámbitos: disponibilidad del recurso en cantidad y calidad; operación y funcionamiento del sistema hidráulico y/o redes de distribución; regulación de la oferta y demanda del recurso hídrico, uso racional y conjuntivo de aguas superficiales y subterráneas; dotación de drenaje,

tratamiento de aguas servidas y reciclaje; pago por el servicio de agua doméstico, comercial e industrial; así como los relativos a la protección de los ecosistemas y sus bienes y servicios, entre otros.

### **Información teórico-conceptual y metodológica sobre temas relativos a la gestión y manejo integrado de cuencas**

Consiste en una base de datos donde se concentra información sobre metodologías de uso, gestión y manejo integral del agua y/o cuencas; sus aproximaciones teórico-conceptuales, así como artículos, libros y folletos relacionados con la extensa temática y problemas del agua, entre otros temas.

### **Definición del diagnóstico y la problemática bajo un enfoque integral de cuencas**

#### **Factores para la determinación del diagnóstico y la problemática**

Las llamadas metodologías de cuencas abarcan una serie de factores básicos de análisis para su manejo integral. Desde el debate que surge de la reunión de Río (1992), un amplio número de autores analizaron y establecieron un consenso sobre los factores que dan cuenta sobre la salud de una cuenca, aunque éstas se ubiquen en distintas partes del mundo, (ver a Heathcote 1998), y además, son necesarios para la gestión y manejo de cuencas.

A partir de lo anterior, se han construido tres factores básicos, mismos que están relacionadas con las categorías de lo ambiental, social, económico y abarcan las fases del ciclo natural y antrópico del agua, los que facilitan determinar tanto el diagnóstico como la problemática de una cuenca. Se considera además, que a partir de éstos se puede organizar e integrar la información de los distintos apartados que integran el SIOABCC. A continuación, se señalan los factores para el análisis en el contexto del manejo integral de cuencas y su gestión:

**Disponibilidad del agua:** disponibilidad de agua dulce; hábitat acuático y humedales; biodiversidad y conectividad de ecosistemas; extracción en mantos acuíferos y aguas superficiales; desastres naturales y atlas de riesgos (inundaciones y sequías); cambio climático; pago de agua; concesión de cuerpos de agua y otros.

**Calidad de agua:** calidad del agua en ríos, manantiales, mantos freáticos, lagos, lagunas, océanos, costas, entre otros; preservación y/o conservación de ecosistemas conexos al agua; leyes y reformas legislativas en materia del agua de los gobiernos federal, estatal y municipal; fuentes de contaminación; riesgos a la salud y otros.

#### **Instituciones para el manejo del agua, sociedad y economía:**

Redes de coordinación gubernamental del agua y sus funciones; perfil regional de usuarios del agua; Instituciones gubernamentales relacionadas con el agua; políticas, planeación, programas y proyectos; financiamiento y costos; infraestructura, redes de distribución, saneamiento y tratamiento; ordenamiento territorial; dinámica de la población; usos de los recursos naturales; medios de producción; cambio de uso del suelo; derechos del agua y permisos; niveles mínimos de bienestar y otros.

#### **Proceso de diagnóstico y determinación de la problemática:**

Esta fase se basa en el análisis y la evaluación del espacio geográfico que abarca la cuenca, de acuerdo con los factores de análisis para el manejo integral de cuencas y su gestión establecidos en el punto anterior. Esta fase puede tener como guía una serie de preguntas que son más específicas que las planteadas en la construcción de la visión sistémica de la cuenca, mismas que pueden ser: ¿cuál es la disponibilidad del agua en cantidad y calidad?, ¿cuáles son ecosistemas conexos al agua?, ¿en qué estado están?, ¿cuáles son las condiciones sociales y económicas de la cuenca?, ¿cuáles son los medios de producción y la afectación a los bienes y servicios ambientales?, ¿cuáles son las políticas públicas y el marco regulatorio

en el ejercicio de la gestión y manejo de cuencas y su eficiencia? entre otras. Especial interés tiene evaluar la antropización de los ecosistemas, es decir, determinar los impactos que los distintos usuarios del agua o actividades humanas tienen en el medio natural de la cuenca.

Para establecer el diagnóstico y la problemática de una cuenca, es indispensable identificar y recopilar las fuentes de información, incluyendo los estudios que se hayan hecho sobre aspectos diversos del comportamiento del ciclo natural y antropogénico del agua; la formulación y desarrollo de los estudios básicos disciplinarios y/o especializados; el desarrollo del trabajo de campo; la sistematización de la información; y la presentación de los resultados preliminares de acuerdo con todas las disciplinas participantes, así como el desarrollo de todas aquellas actividades que así se requieran para tal propósito, (ver a García 1994, 2006 y Fenzl 2010).

Considerando la magnitud que implica realizar un diagnóstico integral, éste necesariamente deberá surgir de estudios precedentes. Lo anterior, significa que además de desarrollar las fases tradicionales para la realización de diagnósticos, también se deberán considerar los siguientes aspectos:

- A. Dirigirse a reconstruir la historia del sistema/cuenca, es decir, los estudios deberán enfocarse a la identificación de procesos y mecanismos que representan una concatenación de eventos que han sucedido en términos de tiempo y espacio. Lo anterior, se establece de acuerdo a los factores para el análisis del manejo integral de cuencas y su gestión, es decir, disponibilidad y calidad del agua, los aspectos relativos a las instituciones para el manejo del agua, sociedad y economía, así como cada uno de los elementos que los integran.
- B. Orientarse a la detección de los procesos de deterioro que han significado un progresivo deterioro en el sistema/cuenca en cuanto a los componentes ambiental, social y económico y en los factores establecidos en el punto anterior; así como determinar específicamente cuáles son las causas que los producen o tienden a producirlo.
- C. Identificar con claridad el factor antropogénico, lo que significa analizar la secuencia de sucesos que pueden determinar problemáticas complejas, en donde se interrelacionan múltiples eventos.
- D. Considerar también propuestas alternativas que pudieran implementarse, que son de carácter prospectivo. Esto se dirige al análisis de la evolución del sistema y tiene como base la predictibilidad en función de un nuevo sistema que puede surgir al implementar modificaciones y prever nuevos procesos que se desarrollarán cuando se introduzcan nuevas estrategias y acciones, ya que de acuerdo con la teoría de los sistemas, cualquier modificación en una categoría o sector del sistema induce cambios en la estructura, en distintos niveles, grados, escalas temporales, etc.
- E. Cabe señalar que esta fase de investigación para establecer el diagnóstico de la cuenca/sistema, que está dirigida a determinar estrategias de gestión de manejo integral, no es lineal. Es probable que sea necesario volver repetidamente al proceso que implica estudiar situaciones y/o problemas, variables e indicadores o incluir otras variables que no han sido consideradas con antelación.

### **Determinación de la problemática de la cuenca**

Con base en el diagnóstico y con la participación de todos los integrantes del equipo de investigación, se establece el proceso de reconocimiento general de la problemática de la cuenca, desarrollando las siguientes actividades:

- a. Con el apoyo y fundamento de estudios que se hayan realizado y la información que se ha recopilado sobre los diversos factores para el manejo integral de cuencas y su gestión, mismos que son la disponibilidad y calidad del agua, así como las instituciones para el manejo del agua, sociedad y economía, establecidos con antelación, se desarrolla un proceso de análisis que permita reconstruir la historia de los eventos, situaciones y fenómenos que han ocurrido en el sistema/cuenca(s).

- b. A partir de lo anterior, se establece la primera aproximación sobre el funcionamiento de la cuenca relacionado con los factores de análisis para el manejo integral de cuencas y su gestión; así como las condiciones que intervienen en las dimensiones microscópica, mesoscópica y macroscópica del sistema complejo establecidas anteriormente, entre otros aspectos.
- c. De acuerdo con la primera determinación del funcionamiento del sistema, se plantea la hipótesis de trabajo acerca del comportamiento del sistema. Esto servirá para reformular o especificar las preguntas eje en términos de las funciones de las categorías –Ambiental, Social y Económico– (ASE), y su relación con los factores para el análisis del manejo integral de cuencas y su gestión; y/o plantear nuevas preguntas que guíen la comprensión del funcionamiento total del sistema.
- d. Con base en lo anterior, se podrá identificar la problemática a investigar en cada categoría ASE y los factores establecidos con antelación, para validar o replantear las hipótesis sobre las funciones en el sistema. Esto puede servir para identificar nuevos estudios en temas especializados que requieran mayor profundidad.
- e. Posteriormente, se realizan los estudios necesarios disciplinarios y/o especializados sobre problemas referidos en el punto anterior, los que se ubican en el contexto de las interrelaciones entre las categorías ASE.
- f. A partir del desarrollo de los puntos anteriores, se puede establecer una primera integración de los resultados producto del diagnóstico para determinar la problemática general del sistema/cuenca, es decir, la que deriva de la interrelación e interdependencia de las categorías ASE. Esto permitirá redefinir el sistema/cuenca y reformular las preguntas específicas planteadas y/o plantear otras.
- g. Después de lo establecido anteriormente, se vuelve a identificar la problemática a investigar y a redefinir cada categoría ASE, para validar o replantear las hipótesis sobre sus funciones en el sistema. Esto permite determinar nuevos estudios en temas especializados para obtener una mayor profundidad en los fenómenos establecidos por las interrelaciones entre las categorías ASE.

Las fases anteriores se pueden realizar sucesivamente hasta que se logre obtener una explicación clara y coherente a cerca de la problemática integral del sistema/cuenca(s), misma que debe responder a la serie de preguntas que en el proceso se han planteado para la determinación del diagnóstico y de la problemática.

Cabe señalar que la problemática se basa en un proceso de análisis integral (cuantitativo y cualitativo), lo que significa investigar y/o estudiar diversos aspectos como son la reconstrucción del sistema, la “lectura” de interrelación e interdependencia de sus categorías, es decir, lo ambiental, social y económico, estableciendo un estudio más profundo sobre los factores de análisis para el manejo integral de cuencas y su gestión, entre otras acciones. El propósito de lo anterior, se dirige a establecer una red de hechos y/o circunstancias que permitan determinar los elementos clave en donde subyacen los problemas.

A partir de la determinación del estado del sistema/cuenca(s), y de la problemática que subyace en el mismo, que es la situación inicial a la que el grupo de investigadores se enfrenta, el siguiente paso es establecer una propuesta de cambio y/o de intervención que resuelva la problemática, es decir, determinar un proceso diacrónico para formular posibles transformaciones.

### **Estrategias de intervención para la gemica**

En el contexto de la gestión para el manejo integral de cuencas bajo la perspectiva del llamado desarrollo sustentable, la elaboración de estrategias debe considerar un nuevo estado del sistema/cuenca(s), lo que implica por ende su evolución, y también deben incluir una redefinición de la visión del sistema complejo establecida al inicio del proceso metodológico. Esto implica diseñar el estado ideal del sistema, es decir,

el funcionamiento deseable de la cuenca; y a partir de esta nueva visión se pueden establecer el tipo de transformaciones que deberán ponerse en marcha para su implementación.

Para lo anterior, es necesario desarrollar diversos procedimientos de análisis sobre qué factores se tienen que modificar y cómo pueden cambiar los procesos que en el aquí y ahora determinan el funcionamiento del sistema, estableciendo además la relevancia de los cambios, su pertinencia y viabilidad.

En este momento, es cuando se definen las políticas, estrategias de intervención y acciones de cambio; alternativas, que conducirán a un nuevo estado del sistema, es decir, a su evolución lo que significa mejorar la problemática encontrada en el estudio de diagnóstico desarrollado. A continuación, se describen tres momentos generales del proceso de desarrollo estratégico para la gestión del manejo integral de cuencas.

### **Desarrollo del proceso estratégico de intervención**

Para esta actividad se establecen las siguientes etapas:

1. A partir del resultado del diagnóstico y la problemática que se definieron de manera integral, se establecen los objetivos prioritarios de gestión para el manejo integral de cuencas, explicitando su alcance y las modificaciones relacionadas con la intervención en el sistema; así como el desarrollo del proyecto financiero y la especificación de los recursos que se requieren para el desarrollo de las estrategias.

2. Un aspecto importante es el análisis de las políticas públicas que se están desarrollando en los tres niveles de gobierno, para ubicar el contexto en el que se propone desarrollar las estrategias.

3. Es fundamental establecer un análisis bajo el enfoque sistémico de cada propuesta estratégica en cuanto a los siguientes aspectos:

- a. Cómo afectarán los cambios propuestos en una categoría a las demás, por ejemplo, cómo impactan las estrategias de lo ambiental en el social y económico o viceversa, es decir, analizar las posibles repercusiones en cuanto a la intervención (desarrollo de las estrategias) en cualquier categoría ASE, sobre las demás.
- b. Cuáles serían las nuevas interacciones entre las categorías del sistema (ASE), mediante la intervención/desarrollo de las estrategias, mismas que pueden modificar el sistema/cuenca.
- c. A partir de la anterior, se podrán “modelar” las características que adoptaría el funcionamiento del nuevo sistema/cuenca, con base en la intervención propuesta en cada una de las categorías del sistema complejo/cuenca(s).

### **Ámbitos de acción estratégica para el manejo integral de cuencas**

En el entendido que una cuenca puede abordarse como un sistema complejo que está integrado por tres categorías (ASE), las que están en una constante interrelación e interdependencia, y que en éstas, se efectúa un intercambio de flujos constantes de energía y materia (metabolismo), entonces los ámbitos de atención son multifactoriales ya que se relacionan, en términos generales, con el funcionamiento de los ecosistemas conexos al agua, la oferta y demanda de los distintos usuarios del agua, los modos de producción de bienes y servicios, el impacto del factor antrópico, la resiliencia de los ecosistemas, entre otros aspectos.

Como se ha expuesto, el diagnóstico y la detección de la problemática del funcionamiento del sistema/cuenca(s) establecidos, sirven para diseñar el modelo estratégico y de intervención de la GEMIC, y las categorías ASE y los factores de análisis de manejo integral y gestión son la estructura de dicho modelo. Con base en lo anterior, se identifica un modelo estratégico de intervención de GEMIC. (Ver figura 1).



Figura 1

Se señala que el propósito central de las estrategias es detener y en lo posible revertir los procesos de deterioro de los ecosistemas y sus bienes y servicios, interviniendo en las causas, para que todos los usuarios del agua y los ecosistemas mismos cuenten con el recurso hídrico en cantidad y calidad suficientes en el presente y el futuro. El desarrollo del modelo estratégico de intervención para la GEMIC y los proyectos que lo integran, se dirigen a atender los siguientes ámbitos, mismos que se muestran en la Tabla 1.

<b>Tabla 1 Modelo estratégico de intervención: proyectos generales</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrología e hidrografía</li> <li>• Circulación subterránea</li> <li>• Flujo de nevados</li> <li>• Regulación de embalses</li> <li>• Erosión, transporte y sedimentación</li> <li>• Inundaciones y sequías</li> <li>• Contaminación de fuentes de agua</li> <li>• Biodiversidad y preservación de los ecosistemas conexos al recurso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad de los ecosistemas naturales</li> <li>• Riego y usos productivos</li> <li>• Desarrollo comunitario humano sustentable</li> <li>• Costas y humedales</li> <li>• Buen gobierno</li> <li>• Otros</li> </ul>

### Enfoque para la implementación de las estrategias

El modelo estratégico de intervención de la GEMIC, puede establecerse de acuerdo con el enfoque de gobernanza que implica que la sociedad, las instituciones de educación superior y el gobierno, establezcan y desarrollen esquemas de participación en donde las políticas públicas se sustenten en las necesidades y en los problemas urgentes y/o prioritarios de manera oportuna; que la sociedad supervise conjuntamente con los científicos los resultados de su implementación, y que éstos últimos desarrollen y/o generen conocimientos que propongan soluciones. Lo anterior implica procesos de comunicación, desarrollo de proyectos comunitarios y gubernamentales, monitoreo de las acciones, entre otros múltiples aspectos. Las principales acciones al respecto son:

- Proponer a los responsables y/o a los tomadores de decisiones en el ámbito gubernamental, de acuerdo con las distintas estrategias que propicien la solución de los problemas detectados en el ciclo natural y antropogénico. Esto se puede desarrollar con base en la información que sustenta las tendencias y escenarios futuros establecidos por los diagnósticos y problemáticas identificados. Lo anterior, puede propiciar una cultura de previsión, tarea fundamental para las instituciones de educación superior.
- Difundir a la sociedad en general y al gobierno, la información y/o los aspectos relativos al comportamiento de los fenómenos relacionados con los problemas más urgentes en materia del agua, sus tendencias y escenarios probables ya sean mediatos y/o futuros. La sociedad tiene derecho a contar con información veraz y oportuna, sobre todo cuando se trata un asunto de seguridad nacional en México.
- Construir redes de gobernanza que influyan en la toma de decisiones, es decir, con la participación de los responsables gubernamentales se propicia el desarrollo de distintos mecanismos que permitan la instauración de redes de colaboración ciudadana a nivel local. La identificación de líderes sociales y/o ciudadanos con un compromiso auténtico para trabajar y colaborar por un bien social común, es una labor de suma relevancia, ya que el paisaje político y la forma de gobernar tienen que evolucionar hacia otros modos de articular el interés colectivo. Si bien, las instituciones de educación superior realizan múltiples proyectos en el contexto de los problemas ambientales, es necesario organizar redes con los actores sociales que aseguren su participación en los procesos decisorios en los ámbitos locales e influir en el diseño y desarrollo de las políticas públicas de los gobiernos.

## **Evaluación de indicadores y determinación de parámetros de sustentabilidad para la GEMIC**

Se considera fundamental establecer una cultura de medición y evaluación de los cambios producto del desarrollo de políticas, estrategias y acciones en los distintos ámbitos del modelo estratégico de intervención de la GEMIC, lo debe reflejarse, necesariamente, en la evaluación cuantitativa y/o cualitativa de indicadores que den cuenta de la evolución del sistema/cuenca.

Lo anterior, implica constatar si el ciclo natural y antropogénico del agua ha cambiado y en qué fases de éste se han realizado, por ejemplo, si se cuenta con una mayor disponibilidad del agua en cantidad y calidad; si los procesos de deterioro en el sistema/cuenca(s) se están revertiendo, esto puede reflejarse en una mayor conectividad en los ecosistemas conexos al recurso hídrico y también en la identificación de los nuevos procesos que la han permitido; cómo ha variado el factor antropogénico y qué actividades de los usuarios del agua están relacionadas con dicha modificación, entre otros aspectos.

Se plantea que uno de los desafíos más relevantes es implementar procesos de medición y evaluación que identifiquen cambios en términos sociales, ambientales y económicos, y establecer los elementos relacionados con la racionalidad ambiental, cuyo contexto como hemos mencionado, es el desarrollo sustentable. Lo anterior, tiene como base la definición de indicadores, parámetros, índices, rangos, etc., relacionados con la sustentabilidad de los procesos cuestión que es básica para constatar su evolución del sistema/cuenca(s).

### **Medir para evaluar el proceso: hacia la racionalidad ambiental**

La racionalidad ambiental en una cuenca es un factor fundamental para el diseño de las estrategias de la GEMIC. Dicha racionalidad es un proceso político y social que se debe construir, y está basado en la reorientación de las tendencias de sobreexplotación de los recursos naturales del sistema, lo que significa

construir un nuevo esquema de desarrollo alternativo que proponga que el factor antropogénico tenga menor impacto sobre la capacidad de recuperación, regeneración y/o conservación del estado óptimo de los ecosistemas de la cuenca.

Con base en lo anterior, se establece la necesidad de medir de manera cuantitativa y cualitativa los resultados de la intervención estratégica y definir parámetros relacionados con la sustentabilidad del sistema/cuenca(s). Se incluye el concepto de resiliencia que se define como el grado en que un sistema/cuenca se recupera ante la acción de un estímulo, es decir, su capacidad de regresar al estado previo anterior a la alteración Maass (2007).

Lo anterior, puede ser un punto de referencia para medir y evaluar si el sistema tiende a un proceso de “autorregulación” en cuanto a las interacciones de los componentes ambiental, social y económico, esto se refiere, principalmente al establecimiento de aquellas acciones que permiten que el factor antrópico no sea mayor al factor de recuperación de los ecosistemas generadores de los recursos naturales de la cuenca(s).

Cabe señalar que, evaluar indicadores, parámetros y rangos en la GEMIC implica necesariamente medir los procesos relacionados con la resiliencia de los ecosistemas, a través del tiempo, para constatar que las estrategias de intervención en el sistema/cuenca(s), permiten la racionalidad ambiental, es decir, el uso sustentable y sostenido de los recursos naturales.

### **La medición para la evaluación del modelo de intervención del GEMIC**

Este proceso se considera como una segunda etapa de diagnóstico del sistema/cuenca(s), lo que también se realiza de manera integral, y nos permite medir y evaluar la evolución del sistema, es decir, medir cómo ha variado nuestra problemática en los tres factores para el manejo integral de cuencas y su gestión que son disponibilidad, calidad e instituciones para el manejo del agua, sociedad y economía. Lo anterior, se dirige a determinar si han variado las condiciones básicas que determinan la “salud de la cuenca” y, si la gestión ha modificado aspectos relativos a las demandas de los distintos usuarios del agua, lo que alude a los niveles mínimos de bienestar social de los habitantes de la región. Y también se dirige a plantear tendencias y escenarios bajo enfoques prospectivos, que sirvan a los tomadores de decisiones de los distintos niveles de gobierno y sociedad en general.

A partir de la anterior, se establecen una serie de etapas que pueden servir para desarrollar la medición, determinación de parámetros y evaluación de la intervención en el sistema/cuenca(s), mismos que se describen a continuación:

- A. El modelo estratégico de intervención de la GEMIC, se analiza y recapitula de manera conjunta entre los miembros del grupo de investigadores, para analizar el funcionamiento del sistema/cuenca, después de su implementación.
- B. A partir de lo anterior, se acuerda el proceso general para definir los parámetros que miden la sustentabilidad, relacionados con las variables e indicadores de la disponibilidad y calidad del agua, así como los relativos a las instituciones para el manejo del agua, sociedad y economía. Cabe señalar que, éstos son los referentes fundamentales para evaluar la eficiencia del desarrollo del modelo estratégico de intervención del GEMIC, y los distintos proyectos que se desarrollan en los ámbitos de: hidrología e hidrografía; circulación subterránea; flujo de nevados; regulación de embalses; erosión, transporte y sedimentación; inundaciones y sequías; contaminación de fuentes de agua; biodiversidad y preservación de los ecosistemas conexos al recurso; conectividad de los ecosistemas naturales; riego y usos productivos; costas y humedales; desarrollo comunitario humano sustentable; buen gobierno; entre otros.

- C. Dicho proceso deberá incluir la selección, definición y/o planteamiento del conjunto de indicadores que permitirán evaluar la intervención en el sistema, así como la definición de los parámetros, índices o rangos en el contexto de la sustentabilidad. La comprensión y definición operacional de dichos conceptos como son indicadores, parámetros, índices, rangos, etc., y sus diferencias es una labor central en la GEMIC, por ello, deberán participar todos los investigadores del grupo de trabajo.
- D. Debido a que es fundamental la evaluación de la implementación del modelo estratégico de intervención y su gestión, se debe desarrollar un proceso de medición sistemática con una metodología consistente, que permita tener una alta confiabilidad durante un lapso de tiempo determinado; así como obtener series temporales de datos, que permitan el desarrollo de una segunda fase de intervención estratégica en el sistema/cuenca(s).
- E. Se puntualiza que los indicadores deben de ser definidos de acuerdo con la táctica de intervención, es decir, de acuerdo a los propósitos y objetivos de la GEMIC y los resultados producto del desarrollo del modelo estratégico de intervención, y su impacto en las tres factores de análisis para el manejo integral de cuencas y su gestión, que fueron diagnosticadas, a partir de lo cual surge la problemática de manera integral. Esta fase se considera como de “control” o “piloto” del proceso de intervención del sistema/cuenca(s). Esto puede ayudar a conocer si realmente se tienen cambios, y si el sistema cuenta con la capacidad de evolucionar.
- F. Una parte central es la definición de parámetros de sustentabilidad del sistema/cuenca(s). Esto significa medir el metabolismo del gasto de energía del sistema, determinando parámetros o índices de resiliencia. Al respecto se puede determinar si las actividades económicas que se desarrollan en la cuenca dependen en alto grado de los recursos naturales, ya que se pondera de manera significativa la racionalidad económica, la que por ende, no agrega un beneficio social directo a la población; además, no se realizan acciones dirigidas a conservar los ecosistemas conexos al agua. Podemos medir y evaluar que no existe un proceso real de reconstrucción y/o evolución positiva del sistema/cuenca(s), por lo que podremos señalar que éste no es sustentable. A partir de lo anterior, se pueden establecer tendencias y escenarios futuros, y proponer nuevas políticas y estrategias de intervención y gestión.
- G. Lo anterior alude al desarrollo de estudios y/o investigaciones que se dirijan a medir las actividades que los usuarios del agua efectúan en el sistema/cuenca(s), para desarrollar índices del factor antrópico o de resiliencia, después del proceso de intervención. Esto es básico para contar con información pertinente que apoye el seguimiento del estado de la “salud” de dicho sistema y sus permanentes cambios o transformaciones.

En síntesis, se hace fundamental determinar si se han establecido estrategias que permitan un desarrollo sustentable en el contexto del manejo integral de cuencas. Para ello, se deberán medir indicadores y establecer parámetros e índices para constatar si el proceso de desarrollo es realmente sustentable, es decir, si el proceso promueve el bienestar de las personas que agregan valor económico a los recursos naturales, y si realmente los están protegiendo y/o conservando, y por ende, se está disminuyendo el efecto del factor entrópico, en los bienes y servicios de los ecosistemas, cuestiones que son el eje de este apartado.

El quehacer académico que se realiza en el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, ABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), requiere de la voluntad política para convocar a la comunidad universitaria a la participación y el establecimiento de los cambios requeridos y asegurar la función social de la Universidad Veracruzana de cara al naciente siglo. La metodología de la GEMIC está dirigida a apoyar la creación y la transferencia de un desarrollo social y económico más justo y humano, que

permita la equidad social y preserve el hábitat y la riqueza que representan los bienes naturales del estado de Veracruz y del país.

### **Agradecimientos**

A los académicos integrantes del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuenca y Costas) por su permanente colaboración, a la Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero por sus aportaciones y al Dr. Norbert Fenzl del Núcleo de Altos Estudios Amazónicos de la Universidad Federal de Pará, Brasil, por sus valiosos comentarios y observaciones en el proceso de construcción de la GEMIC.

### **Referencias**

- Fenzl N., (2010). A Sustentabilidade de Sistemas Complexos, Conceitos básicos para uma ciencia do desenvolvimento sustentável, Aspectos Teóricos e Práticos. Belém: Universidad Federal du Pará / Núcleo de Altos Estudos Amazônicos.
- García, R., 2000. El Conocimiento en Construcción. De las Formulaciones de Jean Piaget a la Teoría de los Sistemas Complejos, Gedisa, España.
- \_\_\_\_\_, R., 1994. Interdisciplinarietà y Sistemas Complejos. En: Ciencias Sociales y Formación Ambiental (E. Leff, Ed.) Gedisa, Barcelona, pp. 85-124.
- Heathcote., I, 1998. Integrated Watershed Management: Principles and Practice, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Maass M., 2003. Principios Generales sobre Manejo de Ecosistemas. En: Conservación de Ecosistemas Templados de montaña en México (Oscar Sánchez, Ernesto Vega, Eduardo Peters y Octavio Monroy-Vilchis, Eds.) Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México, pp. 117-136.

GEOGRAFÍA DEL PAISAJE: UN ENFOQUE HOLÍTICO  
PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES

Ana Cecilia Travieso Bello

**Resumen**

El enfoque sistémico, jerárquico e histórico evolutivo de la geografía del paisaje permite integrar los factores físicos, ecológicos, económicos, socioculturales y políticos asociados a los riesgos de desastres, así como analizar la dinámica y evolución de las unidades de paisaje en el espacio y el tiempo. Se propone que estas unidades sean la base para la elaboración de instrumentos de planificación del desarrollo y que incorporen la gestión integral del riesgo, a través de estrategias de prevención, mitigación y adaptación. Estas estrategias deben estar orientadas a generar capacidades en la población para enfrentar eventos extremos, minimizar las pérdidas y daños asociados a estos fenómenos y al mismo tiempo, maximizar las ganancias en términos productivos y de bienestar.

**Abstract**

The systems approach, hierarchical evolutionary and historical geography of the landscape can integrate the physical, ecological, economic, cultural and political risks associated with disasters, and to analyze the dynamics and evolution of the landscape units in space and time. It is proposed that these units are the basis for the development of tools for development planning and incorporating integrated risk management, through prevention strategies, mitigation and adaptation. These strategies should be aimed at building the capacity of the population to cope with extreme events, minimize losses and damages associated with these phenomena and at the same time, maximize profits in terms of production and welfare.

**Introducción**

El riesgo de desastre es la probabilidad de daños y pérdidas futuras, asociadas con la ocurrencia de un evento físico dañino, denominado peligro o amenaza. Se expresa y concreta con la exposición de la población humana, la producción e infraestructura al posible impacto de los diversos tipos de eventos físicos y su vulnerabilidad, es decir, las condiciones que predisponen a la sociedad y sus medios de vida a sufrir daños y pérdidas. Por tanto, el nivel de riesgo estará determinado por la intensidad y duración de los eventos físicos, el grado de exposición y la vulnerabilidad (Narváez *et al.*, 2009).

Las amenazas que potencialmente enfrenta la sociedad son muy amplias y variadas, éstas se clasifican en naturales, socio-naturales y antropogénicas. Las naturales están asociadas con la dinámica geológica, geomorfológica, atmosférica y oceanográfica (sismos, volcanes, huracanes y tsunamis); las socio-naturales son producidas por la intersección o relación del mundo natural con las prácticas sociales (deforestación, cambios de uso el suelo, prácticas de manejo inadecuadas, entre otros), como son muchos casos de inundaciones, deslizamientos y sequías, mientras que las antropogénicas son producto de la actividad humana, entre las cuales destacan las explosiones, conflagraciones, derrames de materiales tóxicos, contaminación de aire, tierra y agua por productos industriales (Lavell, 1996).

El desastre es la materialización o manifestación del riesgo, donde los niveles de daños y pérdidas superan la capacidad de la sociedad para enfrentar, absorber y recuperarse del impacto (Gómez, 2010), interrumpiendo significativamente el funcionamiento normal de la sociedad y afectando su cotidianidad.

La incidencia y el impacto de los desastres a nivel mundial han registrado un aumento vertiginoso en las últimas décadas del siglo XX, observándose un incremento de hasta seis veces en las pérdidas asociadas a desastres de todo tipo durante los últimos cuarenta años y 500% en las pérdidas asociadas a fenómenos hidrometeorológicos en los últimos siete años (Lavell *et al.*, 2003). En el caso de México, los reportes de desastres durante el período 1970-2009 mostraron un aumento a partir de 1990, donde más del 60% están asociados a fenómenos hidrometeorológicos, particularmente inundaciones y sequías, los cuales afectan a todas las entidades federativas. La destrucción de las viviendas se debe principalmente a las lluvias e inundaciones (66%), los sismos (20%) y las tempestades, mientras que las pérdidas de vidas humanas en su mayoría ocurren por sismos y epidemias (37%), seguidas por la contaminación y las inundaciones (Mansilla, 2012). Es importante destacar que las precipitaciones intensas y las inundaciones son fenómenos mucho más frecuentes que los sismos y las epidemias, por tanto, potencialmente pudieran causar mayor número de desastres, limitando la capacidad adaptativa de la población y la resiliencia. Esta última definida como la habilidad de los sistemas ecológicos y sociales para absorber disturbios, retener la misma estructura básica y las vías de funcionamiento, auto-organización y adaptación al estrés y a los cambios (Parry *et al.*, 2008).

Actualmente se reconoce la existencia de tres crisis estrechamente relacionadas, las cuales son la crisis económica, la energética y la del cambio climático, por lo que se espera un aumento en el número e intensidad de los desastres, sin embargo, cada territorio responderá de manera distinta a las tres crisis en función de la interacción de factores naturales, socioeconómicos y culturales, que modelan distintos grados de vulnerabilidad social (Travieso-Bello y Bocardo-Valle, 2012).

Muchos autores coinciden en que los desastres son temas no resueltos del desarrollo; en general, afirman que las condiciones sociales, políticas, económicas e institucionales, resultantes de un modelo de desarrollo impuesto en el planeta de forma unilateral y hegemónica, favorecen localmente la generación de condiciones propicias para la ocurrencia de desastres, sin embargo los tomadores de decisiones aún no incorporan estos juicios para modificar las prácticas en que dicho modelo de desarrollo se implementa en sus escenarios locales (Thomas, 2011).

Si se entiende la ocurrencia de fenómenos físicos peligrosos como momentos particulares dentro de la dinámica natural, éstos pueden ser analizados y por tanto, incluidos en la planificación del desarrollo, orientando la gestión del riesgo a minimizar las pérdidas y daños asociados a estos fenómenos y al mismo tiempo, a maximizar las ganancias en términos de producción y bienestar, mediante el uso racional y sostenible de los recursos (Narváez *et al.*, 2009).

La gestión del riesgo de desastre es un proceso social, cuyo fin último es la previsión, reducción y control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad y debe estar integrada al logro de metas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles (Narváez *et al.*, 2009). Para que esto ocurra, se deben articular un conjunto de políticas, actores, estrategias, instrumentos y acciones que busquen eliminar estructuralmente (prevenir), así como mitigar y reducir, coyunturalmente, los elementos y niveles de exposición de las comunidades frente a aquellos eventos potencialmente destructores, a la vez que incrementan su capacidad de respuesta, ajuste y recuperación, frente a los efectos adversos (Thomas, 2011).

La gestión del riesgo se puede clasificar en correctiva, prospectiva y adaptativa. La gestión correctiva interviene sobre el riesgo existente y trata de reducirlo; la gestión prospectiva actúa sobre un riesgo aún no existente, evitándolo o reduciéndolo, mientras que la gestión adaptativa lo hace sobre el riesgo no

reducido o aceptado, minimizando probables daños y pérdidas, mediante la aplicación de medidas que incrementan la resiliencia y la capacidad adaptativa (Gómez, 2010).

En este contexto, se analiza la geografía del paisaje como una transdisciplina que permite estudiar la dinámica y evolución espacio-temporal de los factores de riesgo de desastres (eventos físicos peligrosos, exposición y vulnerabilidad), e incluirlos en la planificación del desarrollo para lograr una gestión integral del riesgo de desastre más efectiva.

### **Aplicación de la geografía del paisaje en el análisis de riesgos de desastre**

El paisaje geográfico es una categoría científica general de carácter transdisciplinario, el cual se puede definir como un sistema espacio-temporal, complejo, abierto, que se origina y evoluciona en la interfase naturaleza-sociedad, con un constante intercambio de energía, materia e información. Su estructura, funcionamiento, dinámica y evolución espacio-temporal reflejan la interacción entre los componentes naturales, técnico-económicos y socioculturales (Mateo *et al.*, 1994), por tanto, es el escenario donde ocurren los desastres y por ende, donde el riesgo debe ser analizado y gestionado de forma integral.

La geografía del paisaje permite llevar a cabo un análisis sintético e integral de las características de un territorio, partiendo de la identificación de la estructura vertical y horizontal del paisaje. La estructura vertical incluye los componentes abióticos, bióticos y antrópicos del paisaje, mientras que la estructura horizontal es el arreglo y distribución espacial que resulta de la interacción entre sus componentes (Carbajal *et al.*, 2010).

La variabilidad de los paisajes físico-geográficos responde a la distribución espacial de los elementos indicadores del paisaje, (litología, relieve y clima), los cuales se complementan con los componentes diferenciadores, que son el suelo, la vegetación y los usos del suelo (Carbajal *et al.*, 2010). El enfoque paisajístico otorga igual peso específico a todos los componentes y los integra en una perspectiva espacial que facilita esclarecer las propiedades inherentes al geosistema como un todo (Priego *et al.*, 2004). En el caso del territorio de México la gran diversidad de paisajes físico-geográficos, está determinada principalmente por la variabilidad espacial de los componentes naturales, en especial los cambios del clima, así como la compleja evolución geólogo-geomorfológica (Bollo y Hernández, 2008), unido a los distintos tipos y grados de modificación, ocasionados por las actividades humanas.

Los paisajes son dinámicos por lo que de forma natural cambian a través del tiempo, sin embargo, en la actualidad la mayoría de los cambios son resultado de la intervención humana, es decir, de las actividades orientadas al aprovechamiento del suelo (explotaciones mineras o de canteras, aprovechamiento forestal), la construcción de edificios y estructuras (centrales eléctricas, zonas industriales, rutas y urbanizaciones), los cambios en el manejo de la tierra (incremento del uso agrícola, uso de sistemas de riego), las alteraciones en los procesos de producción y emisiones (plantas industriales textiles, alimenticias y químicas), los medios de transmisión de energía y suministro de agua, entre otros (Castelli y Zapallasso, 2007).

La estructura horizontal y vertical del paisaje, así como los elementos indicadores y diferenciadores son esenciales para el análisis de los riesgos, ya que las formas del relieve, la litología, el clima, la distribución de los cuerpos de agua, la red de drenaje, el tipo de suelo y de vegetación, son factores naturales que interactúan entre sí y modelan la dinámica geológica, geomorfológica y atmosférica en el territorio, por tanto, condicionan la ocurrencia de eventos físicos peligrosos. Además, las actividades humanas extraen recursos naturales para el consumo, la producción de bienes y servicios y la construcción de infraestructura, lo cual produce cambios en los usos del suelo y en las prácticas tradicionales de manejo y generan grandes cantidades de desechos difíciles de degradar, que alteran los ciclos biogeoquímicos. Esto modifica el arreglo espacial de los componentes naturales del paisaje y por tanto, su funcionamiento, perdiéndose principalmente los servicios ambientales que brindan los ecosistemas. Estos servicios fueron clasificados por MEA (2005) como de soporte, provisión, regulación y culturales; los que se relacionan

de forma más estrecha con los riesgos, son los servicios de regulación, ya que regulan los gases, el clima, el agua, previenen los disturbios y contribuyen al tratamiento de los desechos.

Por otra parte, el enfoque de la geografía del paisaje permite ubicar en el territorio la población humana, la infraestructura y las actividades productivas expuestas a los distintos tipos de eventos físicos potencialmente peligrosos, así como las condiciones de vulnerabilidad de la población. Para lograr la integración de esta información aquí se propone utilizar índices que reflejen el grado de exposición y vulnerabilidad, los cuales pueden representarse espacialmente para las entidades federativas, los municipios y las localidades. La integración de estos índices dependerá de la disponibilidad y calidad de la información para los distintos niveles de análisis.

La clasificación de los paisajes tiene una estructura taxonómica y jerárquica, lo cual permite conocer la integración ecológico-geográfica de un territorio. La diferenciación espacial se expresa en la existencia de unidades taxonómicas de distinto rango, distinguiéndose sectores, localidades, comarcas, subcomarcas y facies, éstas dos últimas son las unidades menores del paisaje y se representan cartográficamente a escala de detalle (Priego *et al.*, 2004).

El análisis de riesgos de desastre requiere articular distintas escalas o niveles de análisis, ya que muchos procesos físicos y biológicos se analizan a nivel de cuenca o región fisiográfica, mientras que los procesos económicos, socioculturales y políticos, debido al origen de los datos, se estudian a nivel de localidad, municipio y entidad federativa, lo cual tradicionalmente ha dificultado su representación espacial.

Por otra parte, la naturaleza compleja del riesgo y de los procesos que intervienen en su construcción encierra las motivaciones y decisiones de múltiples actores sociales, funcionando de acuerdo con intereses sectoriales diversos y con puntos de referencia e influencia territoriales variados. Lo local, lo regional, lo nacional y lo internacional representan esferas diferentes, con roles y funciones diversos, las cuales deben operar de forma relacionada y concatenada en la búsqueda de esquemas integrados y eficaces de reducción, previsión y control del riesgo asociado con múltiples amenazas (Lavell, 2002).

El enfoque paisajístico permite articular las múltiples escalas y actores sociales, integrando la información en las unidades de paisaje, las cuales permiten combinar límites naturales y administrativos, así como analizar la dinámica y evolución natural y antropogénica en el espacio y el tiempo, a través de un análisis sintético e integral de todos los componentes, otorgándoles el mismo peso específico y explicando las características e interacciones del geosistema como un todo, sensu Priego *et al.* (2004).

El paisaje es la fisonomía, la morfología o la expresión formal del espacio y de los territorios, reflejando la visión que la población tienen sobre su entorno, integra el lenguaje científico con el emocional, permitiendo el reforzamiento mutuo del saber geográfico y la identidad cultural (Mateo y da Silva, 2007), por lo que es apropiado para el análisis de la percepción social del riesgo, definida como las representaciones sociales en torno a las amenazas, la vulnerabilidad y sus causas, así como de la capacidad de autogestión, el papel de los sectores social y privado, la academia y los distintos niveles de gobierno (municipal, estatal, federal) en las posibles soluciones.

La percepción social del riesgo incluye las diversas formas en que las poblaciones y las organizaciones racionan, organizan, sistematizan, de forma objetiva y subjetiva, su conocimiento de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo, de tal manera que influyen en sus decisiones sobre localización, diversificación productiva, formas de autoprotección (estructurales, de comportamiento, de seguridad, etc.), entre otras. Los factores que pueden influir en las diversas percepciones son variados, destacan la clase, etnia, raza, género, edad, niveles educativos, creencias religiosas, experiencias previas y participación organizacional, entre otros (Thomas, 2011).

El análisis de las percepciones sociales permite explicar comportamientos e identificar factores que impiden procesos que van desde la decisión de autoprotegerse hasta la organización social (política) a favor de cambios en las políticas públicas (Thomas, 2011).

### **Gestión del riesgo y gestión del desarrollo desde la geografía del paisaje**

La relación entre la gestión del riesgo y la gestión del desarrollo se ha visto de dos formas dominantes, la primera considera que el riesgo debe “integrarse a” o “transversalizarse en” la gestión del desarrollo en sus distintas expresiones sectoriales o territoriales, por tanto, se sustenta en la idea de que el desarrollo mejora o se sustancia y afianza en la medida en que los temas de riesgo sean explícitos y estén presentes en el diseño de políticas, estrategias e instrumentos de desarrollo. La segunda forma de ver esta relación es la combinación y concatenación de los dos temas (riesgo y desarrollo), mediante enfoques más holísticos o deductivos, es decir, no sumativos. Esta visión establece que no hay un tema transversal, sino integral, ya que el riesgo se considera un aspecto esencial y constitutivo del desarrollo, por tanto, no puede existir un desarrollo verdadero sin la prevención y reducción del riesgo (Narváez *et al.*, 2009). Aunque en la actualidad la primera visión es la dominante, tanto el discurso como en la práctica, la segunda, es la que realmente contribuye a un desarrollo sustentable.

En este contexto, se propone que la clasificación de los paisajes físico-geográficos y la definición de unidades taxonómicas de distinto rango sean la base científica para la elaboración de los atlas de peligros y riesgos (a nivel nacional, estatal y municipal), los planes de contingencia y de acción climática, así como para la definición de las unidades de gestión ambiental de los programas de ordenamiento ecológico y ordenamiento urbano, los cuales deben incorporar el análisis de riesgos de manera integral. Además es de vital importancia que la información contenida, tanto en los atlas como los programas de ordenamiento, sea incorporada a los planes de desarrollo nacional, estatal y municipal, así como a los proyectos de inversión públicos y privados, de manera tal que no solo se contribuya a la gestión correctiva del riesgo, sino también a la prospectiva y reactiva, evitando la aparición y la consolidación de nuevos factores de riesgo en el territorio, así como aumentando la resiliencia y la capacidad adaptativa de la población, respectivamente.

### **Conclusiones**

El enfoque sistémico, jerárquico e histórico evolutivo de la geografía del paisaje permite integrar los factores físicos, ecológicos, económicos, socioculturales y políticos asociados a los riesgos de desastres, así como analizar la dinámica y evolución de las unidades de paisaje en el espacio y el tiempo. Estas unidades pueden ser la base para la elaboración de los atlas de peligros y riesgos, los planes de contingencia y de acción climática, así como programas de ordenamiento ecológico y urbano, los cuales deben incorporarse a los planes de desarrollo. Se debe considerar en este proceso, no solo la gestión correctiva del riesgo, sino también la prospectiva y la reactiva.

Por otra parte, el análisis de la percepción social del riesgo en el paisaje refleja la visión de la población sobre su entorno y su identidad cultural, esto unido a los procesos de concertación social e institucional, que incorporan los diferentes estratos socioeconómicos, los diversos sectores y niveles de gestión y actuación pública y territorial, contribuyen a la aplicación exitosa de políticas públicas que promuevan la inclusión de la gestión integral del riesgo en el desarrollo sustentable, a través de estrategias de prevención, mitigación y adaptación, que generen capacidades en la población para enfrentar eventos extremos, minimizando las pérdidas y daños asociados a estos fenómenos y al mismo tiempo, maximizando las ganancias en términos productivos y de bienestar.

## Referencias

- Bollo M. y J. R. Hernández, 2008. Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas* 66, pp. 7-24.
- Carbajal J. C., J. R. Hernández y M. Bollo, 2010. Paisajes físico-geográficos del Circuito Turístico Chilpancingo-Azul, estado de Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas* 73, pp. 71-85.
- Castelli L. y V. Zapallasso, 2007. Planificación y conservación del paisaje. Fundación Naturaleza para el Futuro. Buenos Aires, Argentina.
- Gómez M. A., 2010. Marco conceptual bajo el cual se han desarrollado las experiencias de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático en el Perú. In: *Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo* (Ministerio de Economía y Finanzas, Perú; Gobierno Regional de Piura; Estrategia Internacional para la Reducción a Desastres (NU/EIRD); Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eds.) Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, Lima, Perú, pp. 33-35.
- Lavell A., 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. In: *Ciudades en riesgo* (M.A. Fernández, Comp.), La Red, USAID, Lima, Perú, pp. 21-30.
- \_\_\_\_\_, A., 2002. Riesgo, desastre y territorio. La necesidad de los enfoques regionales/trasnacionales. *Anuario Social y Político de América Latina y el Caribe* 5, pp. 140-147.
- \_\_\_\_\_, A., E. Mansilla y D. Smith, 2003. La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y a la práctica. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, Guatemala.
- Mansilla E., 2012. Sistema de inventario de efectos de desastres. Versión 2012.05.1099. Recuperado de: <http://online.desinventar.org/>
- Mateo J. M., V. da Silva y A. P. Brito, 1994. Analise da paisagem como base para estrategia de Organizacao Geoambiental: Corumbatai cspl Colectario 004 Planeamiento Ambiental, Universidad de São Paulo, Brasil, pp. 57-105.
- \_\_\_\_\_, J. M. y E. V. Da Silva, 2007. La geocología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *Revista electrónica do Prodena, Fortaleza* 1(1), pp. 77-98.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for decision makers.* Island Press, Washington D. C.
- Narváez L., A. Lavell y G. Pérez, 2009. *La Gestión del Riesgo de desastre: Un enfoque basado en procesos.* Secretaría General de la Comunidad Andina, Lima, Perú.
- Parry M., O. Canziani y J. Palutikof, 2008. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Workgroup II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- Priego A. G., H. Morales y C. Enríquez, 2004. Paisajes físico-geográficos de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta Ecológica* 71, pp. 11-22.
- Thomas J. E., 2011. Desarrollo y gestión social del riesgo: ¿una contradicción histórica? *Revista de Geografía Norte Grande* 48, pp. 133-157.
- Travieso-Bello, A. C. y A. Bocado-Valle, 2012. Vulnerabilidad social ante la globalización y el cambio climático: El caso de los municipios veracruzanos. In: *Libro Electrónico del Primer Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo Regional: Posicionamiento Mundial y Estrategias*, 17vo. Encuentro Nacional de Desarrollo Regional en México, AMECIDER 2012, UNAM, México D. F, México.

RELEVANCIA DE LAS EMISIONES DE GEI (GASES DE EFECTO INVERNADERO)  
EN VERACRUZ Y SU MÉTODO DE CÁLCULO

Carlos Manuel Welsh Rodríguez  
Carolina Andrea Ochoa Martínez  
María Tania García López  
Dainiz Evlyn Hernández y Hernández  
Saraí Guzmán Rojas

**Resumen**

En México, el estado de Veracruz en materia de cambio climático cuenta con dos inventarios de GEI y ellos han impactado en las políticas públicas de Veracruz. Su relevancia está enfocada en el valor de la información para la toma de decisiones en los sectores público y privado, la metodología aplicada es la establecida por el PICC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). En Veracruz se procesa cerca de 98% de la petroquímica secundaria del país, aunado a una producción de energía eléctrica cercana al 20% del total nacional; las emisiones de GEI representan cerca del 8% del País, es el tercer estado más poblado y no existe un sector industrial con actividades significativas como otros estados como Nuevo León o Jalisco.

Para 2008, Veracruz generó 44,736 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente, los sectores que más aportan GEI son, en orden descendente: energía, producción pecuaria e industria del petróleo y gas. Señalando los impactos del inventario en la planificación de la política ambiental de Veracruz se utilizó como instrumento para construir el Plan Veracruzano de Desarrollo 2011-2016, a partir de él se discutió la iniciativa de Ley sobre mitigación y adaptación al Cambio Climático.

Palabras clave: GEI, Política Pública, Planificación, Desarrollo.

**Abstract**

In MEXICO, Veracruz State on climate change issues has two GHG inventories and both had impacted the Veracruz public policy. The relevance on it is focused on the impact on the decision making public and private, we apply the IPCC methodology. Veracruz process 98% of the Mexican heavy oil industry, produce 20% of the national electricity, but the GHG emissions represents 8% of total national, Veracruz is the third most populated state, but without a significant industrial sector as Nuevo León or Jalisco States.

In 2008, GHG emissions were 44,746 CO<sub>2</sub> equivalent tons, by sector the most important were: energy, cattle production and oil –gas industry. Pointing the impacts of the inventory for the Veracruz environmental public policy, it was a core value to develop the Veracruz Development Plan 2011-2016, and it was the discussion base for the Veracruz Law initiative on climate change mitigation and adaptation.

Key words: GHG, Public Policy, Planning, Development.

## Plan Veracruzano ante el Cambio Climático

La Universidad Veracruzana a invitación expresa del Instituto Nacional de Ecología, coordinó a académicos de diversas instituciones, entre las que destacan la UNAM y el Instituto de Ecología, A.C., para elaborar un plan de acción climática, pionero por su estructura, diseño y metodología de desarrollo, siendo el primero a nivel nacional.

El objetivo primordial del plan es proporcionar información confiable, entender el fenómeno y sus posibles impactos, que a su vez proporcione una fuente veraz de donde sea posible la toma de decisiones y en el mejor de los casos la construcción de políticas públicas (PVCC, 2008) a grupos de la sociedad tales como: políticos, sociales, económicos, culturales.

El trabajo académico generó una serie de estudios que puedan ser agrupados en las siguientes áreas: Emisiones (emisiones y escenarios), Clima, Variabilidad Climática y Cambio Climático, Vulnerabilidad del Sistema Biofísico, Economía y Sociedad; finalmente se generó un documento sintético que en el marco del proceso electoral de 2010 fue entregado a los candidatos a Gobernador del estado.

A manera de resumen, se comentan algunos puntos sobresalientes en cada área, por ejemplo los escenarios futuros muestran un incremento en la temperatura en el estado y esto señala que habrá un aumento del riesgo climático, dado que las proyecciones en las temperaturas y precipitación han resultado ser similares o superiores a los presentados durante eventos extremos en el pasado (Palma *et al.*, 2008).

En cuanto al sistema biofísico, Veracruz es un estado costero del Golfo de México, y en esa cuenca el PICC señala que los eventos extremos se acentuarán (sequías, lluvias abundantes, mayor incidencia de huracanes y depresiones tropicales) en los años por venir.

Rafael Palma (2005) señala que las mediciones del nivel del mar muestran que los niveles más altos durante el año se presentan en Coatzacoalcos (189 a 213 cm), mientras que en invierno en Ciudad Madero llega a 179.8 cm y en Progreso a 112.7 cm. Las costas –bajas, arenosas, con extensos humedales adyacentes, a menos de un metro sobre el nivel del mar– representan la fracción de territorio veracruzano más vulnerable al ascenso del nivel del mar, que afectará poblados y ecosistemas, además de la infiltración de agua salina hasta los mantos freáticos.

Es probable que ocurran modificaciones importantes en la interfase mar-tierra y en los manglares y los arrecifes coralinos, que podrán ser afectados por el aumento del nivel del mar pronosticado por los modelos de calentamiento global.

Los bosques tropicales perennifolios y caducifolios se espera tendrán una ampliación en la prevalencia de condiciones propicias en la década 2020, para dar lugar en el horizonte de 50 años a condiciones que favorecerán sobre todo al bosque tropical caducifolio. Se ha reconocido que los Bosques Mesófilos de Montaña (BMM) de México serán más sensibles al aumento en la temperatura, es decir, serán más secos y cálidos; además son asociaciones vegetales que están en continuo disturbio causado por agentes naturales y antropogénicos. Este escenario para el BMM provocaría cambios dramáticos en su estructura, composición y distribución.

Por otra parte, la destrucción del hábitat es el factor más importante de la pérdida de biodiversidad en Veracruz. Los mamíferos probablemente se desplazarán hacia las partes altas del estado. Los anfibios y los reptiles parecen estar en desventaja para enfrentar el calentamiento global en el escenario veracruzano (Benitez *et al.*, 2008)

La vocación agrícola de Veracruz resultará con efectos significativos, por ejemplo en el caso de la naranja, la tendencia es hacia la disminución de la aptitud del cultivo en todas las regiones hidrológicas en todos los escenarios; resalta además que este comportamiento obedece generalmente a la disminución de la precipitación en invierno, más que a las variaciones de temperatura (Ochoa, 2010). En general,

una disminución en la precipitación de invierno provoca una disminución en la fructificación y baja en los rendimientos. Se espera que el cambio climático incida sobre la producción agropecuaria (Conde *et al.*, 2010), los balances hidrológicos y la oferta (Pereyra *et al.*, 2008), así como en el suministro de insumos, las principales pérdidas ganaderas se concentraron en el rubro de animales y pastizales (Salazar *et al.*, 2008); en la zona sur, además de estas afectaciones, los daños a la infraestructura se consideran importantes.

Previsiblemente, los requerimientos energéticos de la población aumentarán a medida que se acentúe el cambio climático. Los incrementos por usuario más llamativos ocurrirán en las zonas costeras: 10.3%, 20.0% y 43.4% correspondientes a los periodos 2020, 2050 y 2080. En suma, para la década del 2020, los consumos eléctricos domésticos se incrementarán en un 35%: 7% debido al crecimiento poblacional y 28% al cambio climático. Para los 2050 la población aportará el 62% y por cambio climático el 65% (para un incremento total del 127% respecto al presente) (Tejeda *et al.*, 2008)

La salud humana puede verse afectada de muy diversas formas por el clima y sus variaciones: especialmente, ciertas enfermedades transmitidas por vectores, infecciosas y parasitarias, y las asociadas a eventos climáticos extremos, se agudizarán o harán más frecuentes a raíz del cambio climático. El dengue puede ser una de las enfermedades más sensibles al cambio climático a largo plazo (Lozano *et al.*, 2012).

Según los expertos en cambio climático, los países en vías de desarrollo presentan una capacidad adaptativa reducida en relación a los efectos del aumento en la temperatura a largo plazo, esto se debe a una serie de factores relacionados, entre los que se encuentran los bajos niveles de riqueza económica; la falta de infraestructura física y social, especialmente en salud y educación; la escasez de tecnología; el nivel bajo de eficiencia y confianza en las instituciones y servicios que prestan a la sociedad; la falta de información y conocimientos, y finalmente la desigualdad social y la pobreza que impide la equidad en la distribución de los beneficios sociales. Por ello, uno de los objetivos de los países pobres debe ser, necesariamente, el aumentar el desarrollo económico, lo cual aumentará la capacidad de adaptación de los habitantes de las comunidades y los hará menos vulnerables al cambio climático (Guadarrama y Welsh, 2009).

## **Inventario de emisiones**

Un inventario de emisiones que identifique y cuantifique las principales fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero de una región específica es básico para cualquier estudio sobre cambio climático, y en particular para la construcción de medidas que contribuyan de manera directa a la mitigación del mismo.

En Veracruz se han realizado dos inventarios uno auspiciado por el PVCC y el segundo por el Programa de Estudios de Cambio Climático de la Universidad Veracruzana, el primero de 2000 a 2005 y el segundo uso la base previa y se construyó a 2008, lamentablemente no en todos los sectores debido a la nula calidad de la información requerida.

La concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Veracruz ha aumentado entre 1990 y 2005 cerca de un 300%. Las emisiones estimadas en equivalentes de bióxido de carbono representan cerca del 5% reportado en el inventario nacional para 2002 (provenientes de la generación de energía, agricultura y ganadería).

En Veracruz en promedio (periodo 2000-2008) por concepto de disposición de residuos sólidos, producción agropecuaria, cambio de uso de suelo, consumo de combustibles fósiles y producción de petróleo y gas natural se generan 44,736 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente. El año 2001 y 2008 fueron los años en los cuales se produjeron menor y mayor emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, con 39,427 Gg (11.56% del total nacional reportado) y 5,1978 Gg (13% del total nacional reportado) respectivamente.

Particularmente, los sectores que más aportan al total de la generación anual de GEI son, en orden descendente, consumo de combustibles fósiles, producción pecuaria e industria del petróleo y gas. Ésta última presenta un incremento notorio en su aportación al total de emisiones de GEI, cada año a partir del 2004 presenta un aumento considerable comparado con la tasa de incremento de los otros sectores.

En cuanto al sector de disposición de residuos, existe un notorio incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, para el período 1998- 2008 de un 29%. Las emisiones procedentes de sitios no controlados, son mayores que las provenientes de los rellenos sanitarios, aunque estas últimas se han incrementado durante este período, de un 10% a más de un 40% del total.

El inventario preliminar 2000-2004, producto del Plan Veracruzano de Acción Climática, es el único estudio referido directamente en el Plan Veracruzano de Desarrollo 2011-2016, los resultados pueden ser la base para escenarios de mitigación de emisiones de GEI, lo que representa una oportunidad de desarrollo tal como lo señala el PICC dada la diversidad económica del estado y la demanda de energía, sin embargo, son necesarias políticas públicas de manejo y mitigación para el estado de Veracruz. Esto último, podría considerarse como una medida necesaria y no opcional dentro de algunos años, sobre todo cuando existe una Ley de Cambio Climático en Veracruz que omite lo citado en el PVD 2011-2016.

### **Políticas públicas y cambio climático en veracruz**

Las competencias en materia ambiental son un elemento complejo, en el caso particular de México dichas competencias residen en tres órdenes diferentes -nacional, estatal o local- y en ocasiones en función del tema que se trate es posible que esos órdenes compartan actuaciones (García y Welsh, 2011).

Los *Planes de Desarrollo* son una herramienta, una guía donde se expresa con cierto detalle la estrategia y visión de futuro que implica un compromiso político de atender mediante acciones concretas, estableciendo una serie de estrategias para alcanzar los fines o metas planteadas, en ese sentido cada gobierno entrante tiene la obligación, no importando si se trata de local, estatal o federal de construir o desarrollar de manera sistémica un plan que armonice la visión de futuro con los compromisos actuales que enfrenta la sociedad, las empresas y la gestión gubernamental, ejes sobre los cuales se fundamenta la política pública.

En este sentido el Gobierno del Estado de Veracruz 2011-2016 elaboró un plan de desarrollo integral con una visión política inclusiva y con objetivos claros.

“El Plan Veracruzano de Desarrollo estructura estrategias de largo plazo con una visión que resalta la atención a las políticas de desarrollo social sustentadas en la participación; fomenta el incremento de los ingresos para reflejarlo en el producto interior y la creación de empleos; fortalece las instituciones, tanto del Estado como de la sociedad, para alentar las opciones democráticas y el fortalecimiento del ciudadano. Estas tres estrategias dan lugar a los cuatro ejes de Gobierno sobre los que se sustenta el Plan:

- 1). Construir el presente para un mejor futuro para todos
- 2). Economía fuerte para el progreso de la gente
- 3). Consolidar un Veracruz sustentable
- 4). Desarrollar un gobierno y una administración eficiente y transparente”

(PVD, 2011)

Por todo lo expuesto anteriormente, en el eje número 3 se utilizan los resultados del inventario preliminar de gases de efecto invernadero de Veracruz, desarrollado por el grupo de cambio global del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana, que forma parte de un estudio más amplio –alrededor de 20 estudios- que dieron sentido al Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC).

A manera de breviarío temporal es conveniente señalar que los Gobiernos de Veracruz siempre han tenido una sensibilidad y un compromiso ambiental, en Veracruz se desarrolló la primera Ley de protección

al medio ambiente en la década de los setentas, mientras que en el 2007 el tema del cambio climático apareció en los discursos oficiales, como causa de las inundaciones y del incremento de los eventos extremos en el Golfo de México, el titular del poder ejecutivo, gobernador en turno de Veracruz, asistió a diversos foros a escuchar a expertos disertar sobre el tema y como consecuencia de las acciones ante este fenómeno global tomó acciones locales, por ejemplo: se fundó en la Secretaría de Protección Civil, el Centro de Estudios del Clima, con el apoyo de la Universidad Veracruzana construyó su organigrama; durante el mismo sexenio se presentó en 2010 una iniciativa para la creación de la subsecretaría de medioambiente y cambio climático en la Secretaría de Desarrollo Social y Medioambiente y durante el mismo año se presentó la iniciativa de ley sobre mitigación y adaptación al cambio climático al Congreso del Estado, misma que fue puesta a debate en un foro público con la academia, pionera en el país que resultó aprobada por el poder legislativo en las últimas sesiones de dicha administración.

### **La mitigación como parte del pvd y en el contexto de la ley**

El impacto de la investigación aplicada en el ámbito social es convertirse en política pública, o al menos contribuir a la construcción de la misma, para que esto sea posible se necesitan tres actores: *la academia* como generadora de conocimiento, que sea la encargada de comunicar de manera eficiente sus resultados; *el gobierno* como generador del consenso político, que a su vez permita el desarrollo de leyes y sus reglamentos con bases sólidas, reales y aplicables con sentido y pertinencia social; y finalmente *la sociedad civil* organizada y no organizada, que será la responsable de sojuzgar la aplicabilidad de la norma y señalar las inconsistencias de su aplicación.

### **Mitigación en el PVD**

En el capítulo V, *Un Veracruz Sustentable*, se describe la situación en materia de medioambiente que guarda Veracruz, allí aparece por primera vez en el discurso del PVD el concepto de mitigación como uno de los seis ejes prioritarios o desafíos de la agenda ambiental, es posible asumir que no están ordenados por importancia, pues todos en su conjunto son necesarios para la conservación del capital natural de Veracruz.

Es pertinente señalar que el concepto de mitigación es usado en diversos ámbitos como sinónimo de reducción, sobre todo cuando se habla de riesgo, pero en el PVD tal y como se hace en los informes de evaluación del PICC se usa para señalar la reducción de GEI.

Así mismo señala de manera específica que promueve y fortalece políticas de desarrollo que integran el componente ambiental entre los tres órdenes de Gobierno, la academia y el sector privado, este es un desafío que se articula en el discurso, pero se aplica en materia de mitigación al cambio climático, el cuarto objetivo dice:

*“IV. Mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y realizar acciones de adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas” (PVD, 2011).*

A su vez menciona que de no emprender acciones para mitigar el cambio climático, las alteraciones serán irreversibles, hasta poner en peligro la vida en el planeta, es importante vislumbrar una componente de responsabilidad intra e inter generacional como parte de la estructura del PVD. Por otra parte, los países en vías de desarrollo -como el caso de México- forman parte del llamado ANEXO I por el PICC, son países que no tienen la responsabilidad de una política de mitigación, y Veracruz con una aportación ligeramente inferior al 4% nacional se implica de manera veraz en las acciones para enfrentar el reto más grande de la humanidad en los últimos 100 años: el cambio climático.

*“El cambio climático requiere diseñar y adaptar políticas públicas y acciones que promuevan la coordinación interinstitucional e intersectorial, e involucren a los sectores público y privado...”*

La anterior declaración de intención fue la que dio fundamento al Plan Veracruzano ante el Cambio Climático y propició que el impacto de los resultados del inventario preliminar de emisiones de gases de efecto invernadero fuera la base de la construcción de metas de reducción y la construcción de la Ley.

Por todo lo anteriormente mencionado, el PVD señala como estrategias en materia de cambio climático: Promover la aplicación de la Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático; Desarrollar y coordinar la Estrategia Estatal para la Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático (señalada en la Ley); y finalmente Promover e impulsar la gestión coordinada de las acciones de reducción de GEI.

### **Mitigación en la Ley 878 de Veracruz**

La iniciativa de Ley de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático fue presentada por el poder ejecutivo del Gobierno de Veracruz a la H. legislatura, la legislatura realizó un foro de consulta con la academia, donde participaron algunos expertos en cambio climático y académicos con especialidades lejanas del tema, resultando en un debate que no logró incidir en modificaciones sustanciales a la iniciativa antes de su aprobación.

La Ley 878 Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático fue aprobada y publicada en el órgano oficial el día 3 de noviembre de 2010 a menos de 30 días de la entrada de un nuevo Gobierno Estatal; esta Ley fue la primera que se aprobó a nivel nacional y está orientada con mayor énfasis hacia la mitigación que a la adaptación, situación que es señalada por un grupo de académicos que en una carta enviada a la legislatura expresan:

“Este proyecto de Ley se centra en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación se menciona tangencialmente, cuando Veracruz es uno de los estados más vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos extremos: inundaciones, heladas, sequías, ondas de calor y ondas de frío, por mencionar algunas. Es decir, que debe considerarse como referente obligado los ya citados *Cambio climático y cambio de gobierno...* y PVCC, en los que se ponderan de manera equilibrada la adaptación y la mitigación.” (Carta enviada a la H. Legislatura de Veracruz de fecha 9 de septiembre de 2010 por el Coordinador del PVCC).

Es conveniente señalar que en el artículo 7 de esta ley se describen cinco directrices, el 66% de ellas señaladas y puestas de manifiesto en el PVCC, como resultado de las acciones señaladas para la reducción de GEI, el cual menciona:

*“Artículo 7. En materia de mitigación de gases efecto invernadero, deberán considerarse las directrices siguientes:*

- I. La preservación y aumento de sumideros de carbono;*
- II. En centros urbanos de más de cincuenta mil habitantes, la sistematización del manejo de residuos sólidos a fin de que no generen emisiones de metano;*
- III. En todos los centros urbanos, las unidades de transporte público deberán cumplir los estándares de emisión, sujetándose a los programas de verificación vehicular o los concesionarios podrán optar por otros sistemas de transporte colectivo más eficientes; y*
- IV. El Estado, conforme a las normas federales de la materia, procurará la generación de energía eléctrica para sus instalaciones, con la utilización de fuentes no contaminantes, como el viento, la luz solar, la biomasa, el oleaje marino....”*

Cabe señalar que dichas directrices matizadas en el PVCC se describían con los actores responsables, corresponsables de su puesta en marcha y con el valor añadido de un análisis del presupuesto necesario para su implementación, esta clase de diseño implicaba una reasignación del presupuesto ordinario del Estado de Veracruz, no significaba gasto público nuevo y ni la necesidad de generar deuda pública para su puesta en marcha. Sin embargo, a pesar de la claridad con que aparece en la ley y la precisión con que se construyó el PVCC, en particular aquello referido a la mitigación, las elecciones y el cambio de

gobierno en Veracruz sepultaron la Ley, los resultados del PVCC y hasta ahora no ha sido posible su aplicación de forma que sea posible asegurar que la investigación aplicada en materia de mitigación al cambio climático consiguió convertirse en política pública real, de momento y lamentablemente sólo es de facto.

### **Propuesta metodológica de cálculo**

La metodología más autorizada a nivel mundial para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es la descrita en las Directrices del *IPCC* para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada de 1996 (*IPCC* 1996). El *IPCC*, como se mencionó anteriormente, es un grupo de expertos sobre el Cambio Climático.

En el *IPCC* participan cientos de los principales expertos mundiales para examinar la bibliografía más actualizada y revisada por homólogos acerca de los aspectos científicos y técnicos del cambio climático. Sus herramientas, como las directrices del *IPCC*, son completamente avaladas internacionalmente. Incluso México, como muchos otros países estiman sus emisiones de GEI a nivel nacional aplicando los métodos establecidos en las directrices del *IPCC*.

Las directrices del *IPCC* consisten en 3 volúmenes:

- Instrucciones para la presentación de informes del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Volumen 1).
- Libro de Trabajo del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Volumen 2).(*IPCC* 1996a).
- Manual de Referencia del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Volumen 3). (*IPCC* 1996b).

Estos 3 volúmenes presentan las metodologías sugeridas para la estimación de los contaminantes atmosféricos como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, halocarbonos, hexafluoruro de azufre y dióxido de azufre, provenientes de actividades y sectores como la producción de energía, procesos industriales, solventes y otros productos, agricultura, cambio en el uso de la tierra y silvicultura y manejo de desechos.

Las directrices del *IPCC* se complementan con publicaciones actualizadas tales como la Guía para Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbres en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Guía sobre Prácticas Óptimas para el Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura y el Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del *IPCC* del 2003.

La metodología del *IPCC* para la estimación de GEI está dividida en varios niveles o métodos. Generalmente cuanto mayor sea el número para designar el nivel, más detallada es la metodología y más precisa son las estimaciones de emisiones.

El nivel 1 representa la metodología mínima o por defecto. Si hay suficientes datos disponibles se puede intentar aplicar un nivel mayor.

Los niveles 2 o 3 involucran métodos más elaborados que pueden ser específicos por categorías o basados en tecnologías. Estos métodos requieren datos más detallados y/o mediciones para su aplicación.

El modelo básico para estimar las emisiones atmosféricas se basa en la ecuación siguiente:

$$E = A * FE_{(1)}$$

Donde:

A = Cantidad de actividad de una fuente en cuestión

FE = Factor de emisión típico de dicha actividad (generalmente se expresan como peso del contaminante entre la unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad asociada)

E = Emisión atmosférica.

Las directrices del PICC ofrecen una metodología que comprenden factores de emisión por defecto y en algunos casos datos de actividad (información de las fuentes que dan lugar a los GEI) por defecto.

Los factores de emisión por defecto han sido desarrollados por el IPCC basados en las siguientes fuentes:

- Default Emission Factors Handbook (European Environment Agency Task Force, Bouscaren, 1992).
- CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Volume 1: Methodology and Emission Factors (Eggleston, et al., 1992).
- Atmospheric Emission Inventory Guidebook (Joint EMEP/CORINAIR, European Environment Agency, 1996).
- US EPA's Compilation of Air Pollutant Emissions Factors (AP-42), 4th Edition 1985, (US EPA, 1985a and 1985b), 5th Edition 1995 (US EPA, 1995) and Supplement F, (US EPA, 1993b).
- EMEP and CORINAIR Emission Factors and Species Profiles for Organic Compounds. (Veldt, 1991).
- The Emission Database for Global Atmospheric Research. (EDGAR 1995), versión 2.0.

## Comentarios finales

Toda la población de Veracruz sabe que vive en un territorio donde los fenómenos climatológicos condicionan su vulnerabilidad, sequía en el norte e inundaciones en el sur, los efectos del cambio climático parecen estar directamente relacionados con los impactos adversos que año a año padece la población, la política pública en materia de protección civil da pasos grandes y seguros, mientras que la normativa en materia de cambio climático duerme el sueño de los justos.

En materia de mitigación, las oportunidades son amplias, los espacios de actuación con las empresas paraestatales adecuados y la certidumbre de acceder a los mecanismos internacionales generados para la comercialización de bonos de carbono están perdiéndose cuando los lineamientos generales que se describen en la ley no se cumplen, donde se desdeña el PVD puesto que el rumbo que señala no es tomado en cuenta y las relaciones con la academia, el sector privado y el gobierno no termina por consolidarse en este ámbito.

Es necesario, quizás hasta urgente, iniciar tareas de prevención y control de la contaminación atmosférica local (no existen datos de monitoreo atmosférico), asegurar que los gobiernos locales se integren a un esquema único de inventario de emisiones, y finalmente que se cumpla la ley, sólo para cerrar este texto el artículo 29 de ley señala:

*“Para la mitigación de los efectos nocivos del cambio climático, la prevención y el control de la contaminación de la atmósfera por gases de efecto invernadero y de otras partículas con las mismas consecuencias, se observarán los lineamientos siguientes:*

*I. En todos los asentamientos humanos, la calidad del aire será de acuerdo a las normas oficiales; II. Se promoverán patrones de producción y consumo que disminuyan las emisiones; III. Se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado para que reduzcan sus emisiones; IV. Se promoverán prácticas de eficiencia energética, la sustitución del uso de combustibles fósiles por fuentes renovables de energía y la transferencia e innovación de tecnologías limpias; V. Se reforzarán los programas para evitar*

*la deforestación y degradación de los ecosistemas naturales; y VI. Se monitoreará, verificará e informará de las acciones de mitigación emprendidas.”*

## Referencias

- Benitez, G. A. Hernández, M. Equihua, A. Medina, J. Álvarez, S. Ibañez, C. Delfín (2008). Biodiversidad y cambio climático. En *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 4. Impactos en el medio natural.
- Conde, C., O. Sánchez F. Estrada, B. Martínez, F. López, M. Lozano, C. Gay. Regional Climate Change Scenarios for México. *Atmósfera*, número especial. 2010 (en prensa).
- García. T. y C. Welsh (2011). Instruments for Integrated River Basin Management in Mexican Environmental Law. *Revista de Investigaciones Políticas y Sociológicas*. ISSN 1577-293X. Vol. 10. Núm. 3. pp. 131-148.
- Lozano, S., C. Welsh, M. Hayden, B. Tapia, C. Ochoa, K. Kobylinski, C. Uejio, E. Zielinski, L. Delle, A. Monaghan, D. Steinhoff, and L. Eisen (2010). *Aedes (Ochlerotatus) epactius Along an Elevation and Climate Gradient in Veracruz and Puebla States, México*. *Journal of Medical Entomology*, 49(6): pp. 1244-1253. 2012.
- Ochoa, C. (2010). Modelación Estadística del Impacto del Cambio Climático en la Producción de Naranja en el Estado de Veracruz. Tesis para obtener el grado de M. en E., Universidad Veracruzana. 170 pp.
- Palma, B., C. Conde, R. Morales, G. Colorado (2008). Escenarios climáticos. En *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 3. Modelación climática y evidencia estadística.
- Palma, R., (2008). Vulnerabilidad de las costas: apuntes para una caracterización general. En *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 4. Impactos en el medio natural.
- Pereyra, D., J. Pérez, A. Contreras. (2008). Escenarios futuros de los recursos hídricos. En *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 4. Impactos en el medio natural.
- Salazar, S., A. Hernández, S. Muñoz, B. Domínguez, P. Cervantes, C. Lamothe. (2008). La ganadería bovina: vulnerabilidad y mitigación. En *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 5. Aspectos económicos.
- Tejeda, A., G. García (2008). Escenarios de consumos eléctricos por climatización. En *Estudios para un Programa Veracruzano ante el Cambio Climático*. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Cap. 5. Aspectos económicos
- PVCC (2008). Programa Veracruzano ante el Cambio Climático. Universidad Veracruzana, Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. 169 pp.
- PVD (2011). Programa Veracruzano de Desarrollo 2011-2016. Gobierno del Estado de Veracruz. 156 pp.

INSTITUCIONES E INSTRUMENTOS DE LA UNIÓN EUROPEA EN LA LUCHA  
CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICOEdgar Saucedo Acosta  
Samantha RullánRosanis**Resumen**

En los últimos años, la Unión Europea (UE) ha realizado esfuerzos para asumir el papel de líder mundial en la lucha contra el cambio climático. Para alcanzar ese objetivo, la UE dispone de instituciones e instrumentos. Este capítulo presenta las estrategias y programas que utilizan las instituciones europeas para luchar contra el cambio climático. En particular, la Estrategia Europa 2020 que toma en cuenta el liderazgo de la UE en torno al Protocolo de Kioto, establece objetivos cuantificables de reducciones de gases de efecto invernadero para el 2020, y la iniciativa emblemática “Una Europa que utilice eficazmente los recursos” que es una hoja de ruta de cómo llegar a las metas para 2020 y 2050. Finalmente el Presupuesto de la UE refleja la preocupación de los Estados Miembros en torno a la lucha contra el cambio climático, además de que dicha política se torna cada vez más una transversal, debido a que se ha incorporado en otras políticas públicas europeas.

Palabras clave: Unión Europea, cambio climático, instituciones, instrumentos, Europa 2020.

**Abstract**

In the last years, the European Union (EU) has made important efforts to assume a role as the world leader in the fight against climate change. To achieve this objective, the EU has institutions and instruments. This article presents the strategies and programs used by the European institutions to fight against climate change. Specifically, the Europe 2020 Strategy that takes into account the EU's leadership with regards to the Kyoto Protocol, establishes quantifiable objectives to reduce greenhouse gas emissions by 2020, and the flagship initiative “A resource-efficient Europe” which is a roadmap to achieve the 2020 and 2050 goals. Finally, the European budget shows the Member States' concern towards climate change. This policy is shifting towards a transversal strategy that is increasingly being reflected in other European policy areas.

Key words: European Union, climate change, institutions, instruments, Europe 2020.

**La Unión Europea y la lucha contra el cambio climático**

En los tratados fundacionales de la UE el medio ambiente no aparecía. Las primeras directivas sobre medio ambiente se adoptaron a finales de los años 60. En 1972, se empieza a hablar de una política común sobre medioambiente. Posteriormente, la base jurídica de la política común se incluye, en 1987, en el Acta Única Europea y después en el Tratado de Maastricht.

La estrategia europea de lucha contra el cambio climático se desarrolla en cuatro ámbitos distintos:

1. El riesgo climático y la voluntad política de hacer frente al mismo.
2. La participación internacional en la lucha contra el cambio climático.
3. La innovación necesaria para un cambio de métodos de producción y utilización de la energía.

#### 4. Adaptación de los países a los efectos inevitables del cambio climático.

A nivel europeo, entre las incipientes iniciativas relacionadas con el clima se encuentra la primera estrategia comunitaria para limitar las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética en 1991. Posteriormente, las políticas y medidas de la UE para reducir las emisiones de efecto invernadero fueron plasmadas por la Comisión Europea en el Programa Europeo sobre Cambio Climático (PECC) lanzado en junio de 2000. El objetivo general del PECC consiste en “determinar y desarrollar todos los elementos de la estrategia europea para hacer frente al cambio climático que son necesarios para aplicar el Protocolo de Kioto” (Comisión Europea, 2000). Las propuestas de políticas y medidas comunes y coordinadas sobre cambio climático se concentraron en: abastecimiento energético, sector industrial, consumo de energía en los sectores residencial y terciario, consumo de energía en el sector del transporte, política de transporte e infraestructura, residuos, investigación y cooperación internacional.

Cinco años después fue lanzado el PECC II (2005-2010) que se basa en incorporar nuevas políticas y medidas europeas costo/efectivas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en sinergia con la Estrategia de Lisboa (EL). La primera encomienda en esta fase consistió en facilitar y apoyar la implementación de las prioridades que fueron identificadas en la primera fase. Una de las acciones más importantes para combatir el cambio climático, en el marco del PECC, es el régimen de la UE para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (ETS por sus siglas en inglés) que inició en enero de 2005.

El ETS es un sistema internacional de comercio de emisiones de dióxido de carbono que se convirtió en un promotor del comercio de carbono en el mundo. El funcionamiento de este sistema consiste en aplicar un costo a las emisiones de carbono de las instalaciones de los sectores energético e industrial para incentivar a las empresas a que minimicen lo más posible sus emisiones. Cada instalación tiene un número determinado de derechos de emisión concedido por las autoridades nacionales de cada país miembro de la UE. Por un lado, si la empresa mantiene sus emisiones por debajo del nivel de sus derechos puede venderlos a otras empresas. Por otro lado, si la empresa rebasa el tope o límite de derechos concedidos tiene la opción de comprar en el mercado los derechos adicionales que necesite.

La lucha contra el cambio climático de la UE en el exterior está regulada en el artículo 191.1 del Tratado de Funcionamiento de la UE, el cual establece como objetivo de la acción exterior “el fomento de medidas a escala internacional destinadas a hacer frente a los problemas regionales o mundiales del medio ambiente y en particular a luchar contra el cambio climático”. A nivel multilateral, la UE ha participado activamente en las acciones contra el cambio climático. Evidentemente, uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes para luchar contra el cambio climático es el Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Los países industrializados se comprometieron a limitar y reducir sus emisiones. En 1998, la Comisión Europea firmó el Protocolo y tres años después, en el Consejo Europeo de Laeken, confirmó la voluntad de la UE de que el Protocolo entrara en vigor antes de la cumbre de desarrollo sostenible de Johannesburgo en 2002. En mayo de 2002, la UE ratificó el Protocolo de Kioto. A partir de entonces, la UE comenzó a reducir sus emisiones de gases de invernadero y era necesario elaborar sus estrategias a mediano y largo plazo para luchar contra el cambio climático.

En la Comunicación “Ganar la batalla contra el cambio climático mundial” (Comisión Europea, 2005), la Comisión Europea sentó las bases de la futura estrategia de la UE en materia de cambio climático y propuso recomendaciones concretas para las políticas de la UE en este ámbito que incluye los siguientes elementos:

1. *Ampliación de la participación*: La UE seguirá desempeñando un papel de líder en el enfoque multilateral en relación con el cambio climático y es necesario que más países adopten medidas efectivas para disminuir las emisiones y reducir las repercusiones económicas negativas.
2. *Inclusión de más áreas políticas*: ampliar el alcance de las medidas internacionales para incluir todos los sectores y gases de invernadero. Abordar de manera específica el problema de gases de invernadero en determinadas regiones por el cambio en el uso del suelo.
3. *Potenciación de la innovación*: elaborar una política tecnológica que incentive la innovación para desarrollar nuevas tecnologías de baja emisión (alcanzar la eficiencia energética y desarrollar fuentes de energía de baja emisión de carbono) y las acerque al mercado.
4. *Uso permanente de instrumentos flexibles y basados en el mercado*: el comercio de emisiones y los mecanismos basados en proyectos como elementos básicos de un auténtico mercado internacional del carbono, las normas de control y notificación de emisiones y un régimen de cumplimiento multilateral. Motivar a más países para que participen en la lucha contra el cambio climático.
5. *Inclusión de políticas de adaptación*: asignar más recursos en la UE para los procesos de adaptación efectiva al cambio climático. Además, respaldar económicamente los esfuerzos de adaptación de los países más pobres y más afectados.

Dos años después, en el 2007, la Comisión Europea propuso acciones más específicas para minimizar los efectos del cambio climático. Propuso que la UE promueva reducir un 20%<sup>1</sup> las emisiones de efecto invernadero de los países desarrollados a partir de ese momento hasta el 2020 para limitar la elevación de las temperaturas del planeta. Además, señala que los instrumentos como el mercado de comercio de derechos de emisión son esenciales para alcanzar los objetivos planteados.

Borrás (2009) hace una profunda crítica al liderazgo de la UE en las negociaciones multilaterales de lucha contra el cambio climático y afirma que “el liderazgo tradicional de la UE en la lucha contra el cambio climático se ha basado en un análisis de las amenazas y oportunidades y de coste/beneficio, al considerar que la actual lucha contra el cambio climático es mucho más beneficiosa que hacer frente a sus consecuencias y en la cantidad de amenazas que afectan a intereses europeos”. Asimismo, señala que la UE perdió la oportunidad de demostrar su liderazgo en la Cumbre de Copenhague.

Las resoluciones de Copenhague no cumplieron las expectativas de las instituciones europeas. El resultado del fracaso de las negociaciones se reflejó en el hecho de que no se concluyó un acuerdo jurídicamente vinculante sobre el clima. Posteriormente, la Comisión Europea en una Comunicación al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones (Comisión Europea, 2010a) propone una estrategia inmediata para mantener el impulso de los esfuerzos globales en la lucha global contra el cambio climático. La Comisión Europea plantea que la demostración de que los Estados Miembros de la UE están ejecutando el Acuerdo de Copenhague es un elemento importante para persuadir a otros actores globales que se sumen a las acciones contra el cambio climático. Para alcanzar su objetivo primordial de conseguir un acuerdo sólido y jurídicamente vinculante al amparo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la Comisión propuso centrarse en la adopción de decisiones concretas y resolutivas en la Cumbre de Cancún sobre Cambio Climático (2010). A nivel multilateral, la UE continúa realizando esfuerzos para convencer a otros países a que se sumen y se comprometan a seguir luchando contra el cambio climático.

### **Las instituciones y organismos europeos en la lucha contra el cambio climático**

El papel de las instituciones europeas es esencial en la lucha contra el cambio climático. Entre las instituciones y organismos que desarrollan trabajos específicos en este ámbito se encuentran: la Comisión

<sup>1</sup> Respecto de los niveles de 1990.

Europea, el Consejo de la UE, el Parlamento, el Consejo Europeo y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). A continuación se presentan algunas de las acciones y estrategias para luchar contra el cambio climático de las instituciones y organismos europeos.

En 1990 se crea la AEMA con sede en Copenhague. Es un organismo de la UE y su labor consiste en facilitar a la UE y a sus Estados Miembros información sólida e independiente sobre el medio ambiente. La AEMA analiza el estado del medio ambiente y sus tendencias, el desarrollo de escenarios y la evaluación de políticas, entre otros. Es una de las agencias comunitarias creadas para realizar tareas técnicas, científicas o de gestión específicas. La AEMA cuenta con 32<sup>2</sup> Estados Miembros y 7<sup>3</sup> países colaboradores. Entre sus responsabilidades está la de desarrollar la Red europea de información y observación del medio ambiente (Eionet) y coordinar sus actividades.

La Comisión Europea estableció la Dirección General de Acción para el Clima (“DG CLIMA”) en febrero de 2010. Anteriormente, el cambio climático estaba incluido en la Dirección General de Medio Ambiente. DG CLIMA desarrolla e implementa políticas y estrategias costo/efectivas nacionales e internacionales para alcanzar los objetivos propuesta para el 2020 de la UE, especialmente en lo que concierne a reducir los gases de efecto invernadero. Encabeza los grupos de trabajo en las negociaciones internacionales y coordina las asociaciones bilaterales y multilaterales sobre el cambio climático con terceros países.

DG CLIMA desarrolla e implementa el régimen de comercio de derechos de emisión, considerado como la piedra angular de la estrategia de la UE para disminuir, de manera rentable, sus emisiones de gases de efecto invernadero. Además, monitorea la implementación, de los Estados Miembros de la UE, de los objetivos de reducción de emisiones de los sectores que no incluidos en el ETS.

Dentro de las formaciones del Consejo de la UE está la de Medio Ambiente. Su misión consiste en fomentar un desarrollo armonioso, equilibrado y sostenible de las actividades económicas. Además, fomenta a nivel internacional la adopción de medidas destinadas a hacer frente a los problemas medioambientales regionales y mundiales. La política comunitaria de medio ambiente se basa en los principios de cautela y acción preventiva, la corrección de atentados al medio ambiente, prioritariamente en la fuente, y en el principio de que quien contamina paga.

En el Parlamento Europeo, la lucha contra el cambio climático es una parte esencial del trabajo de la Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Seguridad Alimentaria (ENVI). Esta Comisión es competente para la estrategia respecto al cambio climático, la AEMA y la reparación de los daños medioambientales, entre otros.

En las conclusiones del Consejo Europeo del 1 y 2 de marzo de 2012, con respecto a la estrategia Europa 2020 señala que sus objetivos siguen siendo plenamente pertinentes. Dicha estrategia seguirá orientando la actuación de los Estados Miembros y de la UE para lograr los objetivos en materia de energía y cambio climático. Además, para la cumbre del G-20 acordó dar prioridad a la lucha contra el cambio climático en particular y movilizar fuentes de financiación de medidas destinadas a luchar contra el cambio climático, entre otros. Mientras las instituciones y organismos europeos impulsan acciones y estrategias en la lucha contra el cambio climático, en los Estados Miembros la disparidad en los objetivos planteados en este ámbito es evidente (ver Tabla I).

## **Estrategia Europa 2020 y el cambio climático**

La Estrategia Europea 2020 (E2020) fue aprobada por el Consejo Europeo en junio de 2010 y sustituye a la EL lanzada en el año 2000 y que posteriormente fue relanzado en 2005, después de una revisión de

<sup>2</sup> Son los 27 Estados Miembros de la Unión Europea, Islandia, Liechtenstein, Noruega, Suiza y Turquía.

<sup>3</sup> Albania, Bosnia y Herzegovina, Croacia, la Antigua República Yugoslava de Macedonia, Montenegro, Serbia y Kosovo.

la misma realizada por un grupo de alto nivel encabezado por el ex primer ministro de Países Bajos, Wim Kok. Antes de entrar en detalle a analizar la Estrategia E2020, es conveniente señalar que la EL buscaba que la UE en 2010 se convirtiera “en la economía basada en el conocimiento más competitiva y dinámica del mundo, capaz de crecer económicamente de manera sostenible con más y mejores empleos y con mayor cohesión social” (Comisión Europea, 2004). Sin embargo, con la crisis financiera de 2008-2009, los parámetros que se habían planteado en la EL ya no eran factibles. La Estrategia E2020 retoma la esencia de la EL y la convierte en objetivos específicos que se tienen que alcanzar a nivel europeo, pero también hay metas cuantitativas que tienen que obtener los Estados Miembros.

E2020 es una estrategia de la UE para generar en la siguiente década un crecimiento inteligente, sostenible e integrador (Comisión Europea, 2010b), que básicamente se refiere a que se generen los empleos necesarios en un ambiente de alta productividad y que haya cohesión social. Las prioridades anteriores se traducen en objetivos cuantificables para la UE en promedio y para sus Estados Miembros en específico.

Los objetivos medioambientales de la Estrategia E2020 para el año 2020 son (Comisión Europea, 2010b):

1. Una reducción del 20% en emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con 1990. En caso que se den las condiciones, esta meta se amplía a 30%.
2. Un incremento del 20% en uso de energías renovables.
3. Un aumento del 20% de eficiencia energética.

En la tabla I se muestra que la media europea difiere en términos de reducción de emisiones de dióxido de carbono y uso de energías renovables en relación a lo que tienen que alcanzar los Estados Miembros para 2020. La meta de la UE es reducir las emisiones de dióxido de carbono en un 20%, pero hay países como Bulgaria, Chequia, Estonia, Lituania, Letonia, Malta, Polonia, Portugal, Rumania y Eslovaquia que todavía pueden incrementar sus emisiones, mientras que países como Dinamarca, Irlanda y Luxemburgo tienen que reducir un porcentaje similar al de la UE. En términos de uso de energías renovables es muy marcada la diferencia entre los objetivos de la UE y los Estados Miembros, debido a que hay países como Suecia que se han puesto como meta utilizar el 49% de energías renovables de su consumo total de energías, mientras que países como Malta sólo tiene como objetivo un 10%. Las implicaciones de estas diferencias están relacionadas con los diferentes esfuerzos que tienen que realizar los países, y aún más en un escenario de crisis económica como el que está viviendo la UE. El esfuerzo que requieren hacer los países se enfoca a generar incentivos para el uso de energías limpias, así como una fuerte inversión en eco-innovación.

La figura 1 muestra los avances de la UE en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, debido a la baja generalizada desde 1990 hasta el 2010. Sin embargo, el periodo en donde se marca más es entre 1990 y 1994, después se da un estancamiento en el periodo 1994-2006 y posteriormente una mejora hasta 2009 que se vio interrumpida en 2010, por la crisis económica que ha afectado a Europa. Todo parece indicar que la meta de una reducción del 20% es muy factible de obtener para el año 2020.

Tabla I. Cambio climático y energía: Objetivos por país.

País	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> (%)	Energías renovables (% del total)
UE	-20%	20%
Austria	-16%	34%
Bélgica	-15%	13%
Bulgaria	20%	16%
Chipre	-5%	13%
Rep. Checa	9%	13%
Alemania	-14%	18%
Dinamarca	-20%	30%
Estonia	11%	25%
Grecia	-4%	18%
España	-10%	20%
Finlandia	-16%	38%
Francia	-14%	23%
Hungría	-10%	14.65%
Irlanda	-20%	16%
Italia	-13%	17%
Lituania	15%	23%
Luxemburgo	-20%	11%
Letonia	17%	40%
Malta	5%	10%
Países Bajos	-16%	14%
Polonia	14%	15.48%
Portugal	1%	31%
Rumanía	19%	38%
Suecia	-17%	49%
Eslovenia	4%	25%
Eslovaquia	13%	14%
Reino Unido	-16%	15%

Fuente: [http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_es.pdf) (consultado el 26 de septiembre de 2012).

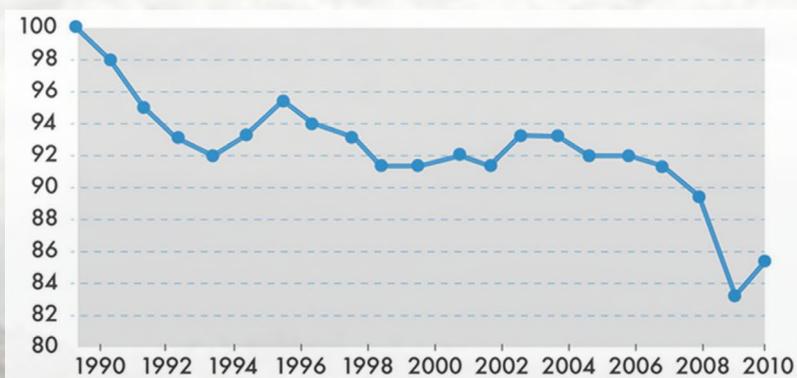


Figura 1. Emisiones de gases de efecto invernadero en la UE (en equivalente de CO<sub>2</sub>).  
Fuente: Elaboración propia con datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente.

En la figura 2 se encuentra que hay países que están muy alejados del objetivo de la UE de una reducción del 20% de gases de efecto invernadero (80% en la figura). Sin embargo, así como los objetivos nacionales difieren del promedio de la UE también los esfuerzos nacionales varían. Por ejemplo, aún

cuando Chipre ha aumentado en más de 60% sus emisiones desde 1990, tiene como meta reducir un 5% en relación a 1990, mientras que Malta puede incluso aumentar hasta un 5% por ciento más. Países que actualmente pasan por fuertes problemas económicos como España, Grecia, Irlanda y Portugal tienen indicadores por arriba del 100%, y tendrán que hacer grandes esfuerzos para alcanzar sus objetivos nacionales.

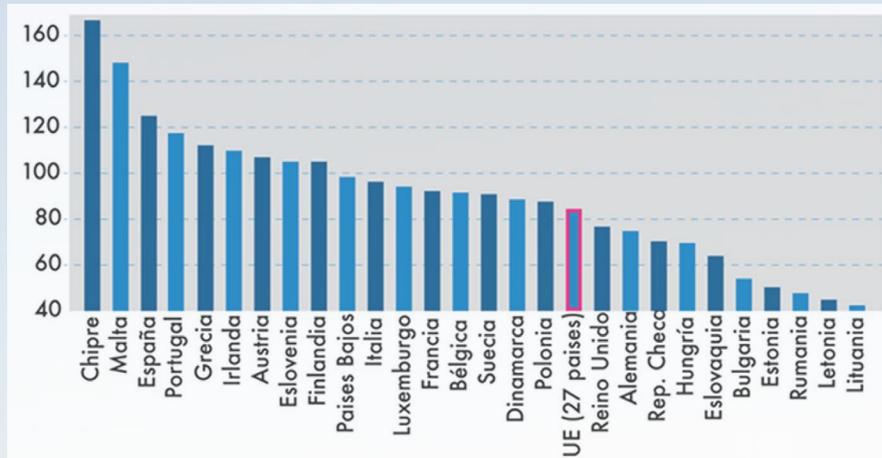


Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero en 2010 (en equivalente de CO2).  
Fuente:Elaboración propia con datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente.

El escaso avance en el uso de energías alternativas en la UE se puede ver en la figura 3. El objetivo es alcanzar un 20% de uso de energías alternativas en la UE para 2020, pero en dicha figura sólo hay un avance de un 8% en 2004 a un poco más de 12% en 2010. Todavía faltan 10 años para alcanzar la meta final, pero la crisis económica actual puede retrasar la obtención de la misma.

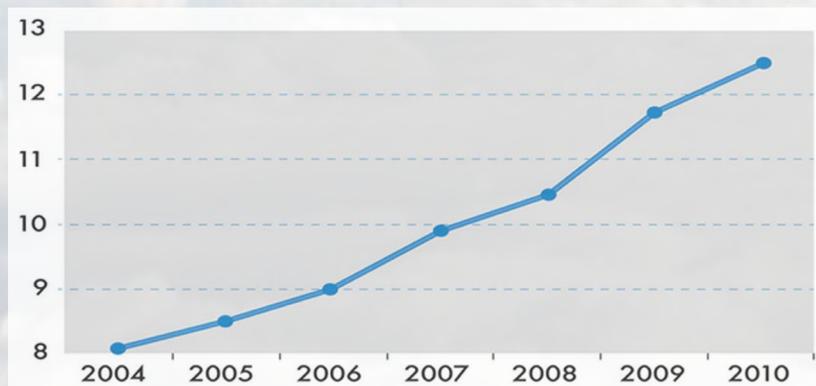


Figura 3. Porcentaje de la energía renovable en el consumo final de energía en la UE.  
Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat.

En la figura 4 se muestra la diferencia entre lo que los Estados Miembros de la UE utilizan de energías renovables (del total del consumo de energías) y la meta que tienen que alcanzar para 2020. Suecia es un caso extremo, debido a que tiene una meta para el 2020 de utilizar casi el 50% en energías renovables, pero para el año 2010 ya utiliza más del 45%. Rumania es el país de la UE que menos le falta para alcanzar su objetivo nacional, seguido por Estonia, Suecia, Bulgaria y Lituania. Por otro lado, los países que están más lejos de alcanzar su objetivo nacional son Reino Unido, Irlanda, Países Bajos, Francia, Malta y Chipre.

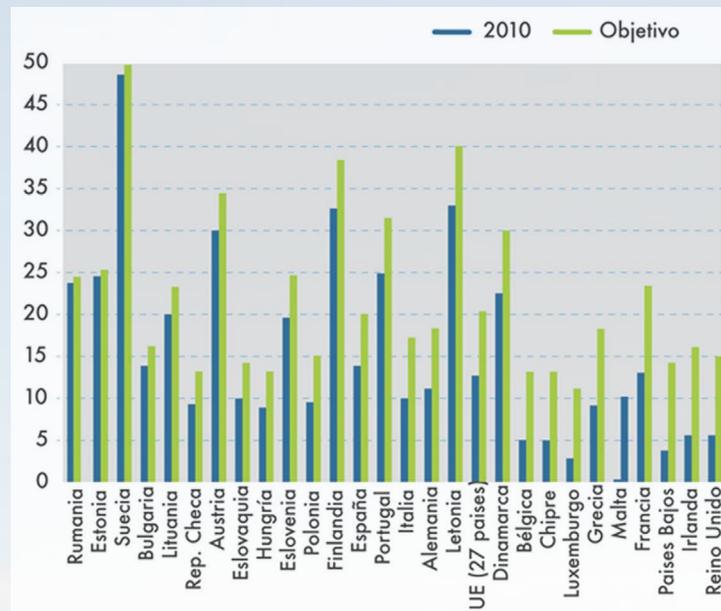


Figura 4. Porcentaje de la energía renovable en el consumo final bruto de energía y objetivo por país.  
Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat.

Para la implementación de la Estrategia E2020 se establecieron siete iniciativas emblemáticas, de las cuales sólo una se relaciona directamente con temas medioambientales. Es claro que las otras seis indirectamente se relacionan de alguna forma con la parte ambiental de la Estrategia E2020, pero por el objetivo del texto sólo se profundizará en la cuarta iniciativa emblemática “Una Europa que utilice eficazmente los recursos”.

Con el paso del tiempo se requerirán más recursos para satisfacer las necesidades de una mayor población a nivel europeo pero también en el mundo, por lo tanto es necesario hacer un uso más eficiente de los recursos. Para realizar un uso más eficiente de los recursos se puede hacer a través de una reducción de los insumos necesarios para producir un producto o aumentando la productividad en las empresas y en general en la economía de los países. Un uso más eficiente de los recursos aumenta la competitividad, reduce los costos y por lo tanto es generador de empleos y crecimiento económico. La iniciativa emblemática “una Europa que utilice eficazmente los recursos” parte de lo anterior para fomentar un uso más adecuado de los recursos naturales, a través de la optimización de los insumos que permitan al mismo tiempo una reducción de los costos (aumentando la competitividad) y una reducción de los impactos ambientales. La idea es que las economías europeas tengan un bajo consumo de carbón, lo que permitirá alcanzar los objetivos de una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para el 2020 (20%) y el 2050 (80-95%).

La Comisión Europea (2011c) reconoce que para que la iniciativa emblemática “una Europa que utilice eficazmente los recursos” pueda contribuir a la Estrategia E2020 es necesario que se cumplan tres condiciones:

1. Coordinación: se deben coordinar diferentes políticas públicas para que se pueda implementar esta iniciativa emblemática.
2. Inversiones de largo plazo: se debe actuar inmediatamente porque hay inversiones que tienen impactos en el largo plazo.
3. Empoderar consumidores: se debe empoderar a consumidores para que utilicen productos que sean producidos eficientemente (en términos ecológicos).

Se añadiría una cuarta condición, que se promueva la eco-innovación (mediante inversión pública principalmente) como un mecanismo que favorezca productos o procesos que sean cada vez más amigables con el medioambiente.

La iniciativa emblemática “Una Europa que utilice eficazmente los recursos” reconoce que una condición necesaria es asegurar la certidumbre a la inversión y la innovación en el largo plazo. Dicha iniciativa provee un marco de largo plazo en áreas como “cambio climático, energía, transporte, industria, materias primas, agricultura, pesca, biodiversidad y desarrollo regional” (Comisión Europea, 2011c). En el largo plazo se establece en hojas de ruta coordinadas para alcanzar los objetivos en 2050: reducción del 80-95% de gases de efecto invernadero, generar un sistema energético de consumo de carbón que de certidumbre a todos los actores involucrados, eliminar todos los obstáculos en el mercado interno para el uso tecnologías limpias y la modernización de la redes de transportes (Comisión Europea, 2011a).

La Comisión Europea ha trazado una hoja de ruta que tiene que seguir la UE, para que en 2050 tenga una economía competitiva con bajo uso de carbón (80% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en relación a 1990). La figura 5 muestra el escenario actual (línea roja) si siguen aplicando las mismas políticas públicas, en donde se ve claramente que el objetivo de 2020 se alcanzará, pero para el de 2050 se abre una brecha. Esto se debe a que los objetivos de uso de energías alternativas y eficiencia energética para el 2020 están muy lejos de ser alcanzados. Para alcanzar la meta de 2050, las mayores reducciones se darían en el sector eléctrico, la industria y el transporte y en menor medida en la agricultura, el sector residencial y otros sectores. El cambio a una economía de bajo consumo para la UE implica el uso de tecnologías limpias, así como una mejora de la eficiencia energética que requieren de grandes inversiones públicas y privadas para generar eco-innovación.

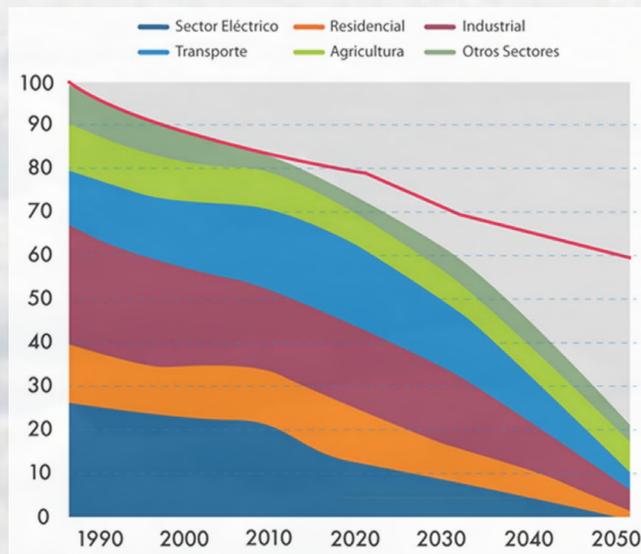


Figura 5. Emisiones de gases de efecto invernadero de la UE hacia una reducción del 80%.  
Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Europea (2011a).

Las medidas para el 2020 (mediano plazo) de dicha iniciativa emblemática (Comisión Europea, 2011c) son: un plan de eficiencia energética, que se tome en cuenta en el presupuesto de varias políticas europeas los requerimientos para que la economía europea tenga un bajo consumo de carbón, una nueva estrategia de biodiversidad, la definición de una política comercial que dé el soporte de una oferta (sustentable) de materias primas en los mercados globales, mejorar el sistema de reciclado, minimizar los efectos del cambio climático y una política de ahorro y eficiencia en el uso del agua.

La iniciativa emblemática “una Europa que utilice eficazmente los recursos” señala que en los temas medioambientales debe haber una acción conjunta a nivel internacional, debido a las externalidades generadas por las políticas públicas medioambientales (o la ausencia de ellas). Finalmente, hay un seguimiento a las metas que se establecieron para esta iniciativa emblemática, que van de la mano con las metas cuantitativas de la Estrategia E2020.

### **Propuesta presupuestaria de la comisión europea para 2014-2020 y el cambio climático**

El Marco Financiero Plurianual (MFP) establece de facto las prioridades en las políticas comunitarias para los próximos años y constituye tanto un marco presupuestario como político (Comisión Europea, 2011b). Cada año se realizan presupuestos que deben respetar los topes establecidos por el MFP para las políticas comunitarias y la financiación de las mismas, de tal forma que se asegure la previsibilidad en el gasto. El MFP 2014-2020 establece como tope para los ingresos del presupuesto un 1.05% (promedio) en relación al Producto Interno Bruto de la economía de la UE. Los gastos totales para dicho periodo se han establecido en 972,980 millones de euros, repartido en los siete años (Comisión Europea, 2011b). Las políticas comunitarias que más recibirán dinero en el periodo 2014-2020 son Crecimiento inteligente e integrador (48%) y Desarrollo Sostenible (37%), mientras que el resto recibirá en conjunto el 15% de los presupuestos.

En relación al medio ambiente y el cambio climático, el MFP 2014-2020 establece las siguientes metas:

1. Pagos condicionados a los agricultores: se condicionan el 30% de los pagos directos de la Política Agraria Común a que los agricultores realicen prácticas amigables con el medio ambiente.
2. Transversalidad de las políticas ambientales en el presupuesto: se integrarán la política del medio ambiente y lucha contra el cambio climático en los gastos de las políticas de Cohesión, Agricultura, Política Pesquera y Marítima, la Investigación y la Innovación y las Ayudas al Exterior. El objetivo es que el gasto general para la lucha contra el cambio climático corresponda al 20% del presupuesto total.

Para alcanzar los objetivos de reducción de emisión de gases de efecto invernadero y mejora del medio ambiente el Presupuesto de la UE tiene los siguientes instrumentos (Comisión Europea, 2011d):

1. La política de Cohesión se condicionará a que contribuya con los objetivos de la UE de cambio climático.
2. A través de Marco Estratégico Común de Innovación e Investigación se apoyarán acciones con impacto positivos en el cambio climático, en áreas como transporte, energía, materiales de investigación y bio-economía sustentable.
3. La política de desarrollo rural se enfocará a incentivar a los agricultores a tener un entorno amigable con el medioambiente.
4. La Política Marítima Integrada se encargará de definir las fronteras sustentables de las actividades humanas que tiene impacto en el ambiente marítimo.
5. La Política de Acción Externa se enfocará en apoyar a los países candidatos en temas medioambientales, de tal forma que adapten sus normativas y prácticas ambientales al *acquis* comunitario.

Se continuará con el programa LIFE+, que consiste básicamente en apoyos de la Comisión Europea para proyectos de investigación que buscan la conservación y el desarrollo sostenible. El programa LIFE+ apoyará medidas contra el cambio climático para proyectos a nivel regional y local, además del apoyo a las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) que prueben tecnologías de pequeña escala de bajo uso de carbón. Se tiene presupuestado para el programa LIFE+ (sub-programa de clima) un total de 800

millones de euros para el periodo 2014-2020 (Comisión Europea, 2011e). El sub-programa LIFE+ del medioambiente tiene las siguientes prioridades: LIFE Biodiversidad que se enfoca en mejores prácticas en relación a la biodiversidad, LIFE Medioambiente que se orientará a la implementación de legislación que sea acorde con la Estrategia E2020 y LIFE Gobernanza que consiste en la creación de redes para el intercambio de mejores prácticas que estén de la mano con las prioridades políticas medioambientales de la UE. El subprograma LIFE+ medioambiente tiene un fondo de 2.4 billones de euros para el periodo 2014-2020 (Comisión Europea, 2011e).

## Consideraciones finales

La UE ha sido líder en los Foros Internacionales sobre cambio climático. Aun y cuando no siempre logre los objetivos que se plantea, continúa desarrollando su estrategia para obtenerlos. Además de que ha implementado una serie de políticas encaminadas a cumplir los objetivos del Protocolo de Kioto. La forma como está compuesta la UE hace que muchas de sus políticas públicas, incluida la de la lucha contra el cambio, sean el producto de las negociaciones que tienen los Estados Miembros sobre el tema en cuestión, de tal forma que el producto final refleja la suma de preferencias.

En la actualidad el tema de cambio climático es de suma importancia para la UE y sus Estados Miembros, además de que está presente en la implementación de otras políticas públicas. La Estrategia E2020 refleja las preocupaciones de los países europeos por la lucha contra el cambio climático, en especial fija objetivos cuantificables para el año 2020 que son susceptibles de ser evaluados año con año. Además, se ha establecido una iniciativa emblemática relacionada con el cambio climático que básicamente consiste en una hoja de ruta para alcanzar los objetivos propuestos. Adicionalmente se han establecido objetivos para 2050 que permiten a la UE tener un horizonte de más largo plazo.

El presupuesto de la UE refleja, en cierta forma, la preocupación de sus Estados Miembros por alcanzar los objetivos de cambio climático en el 2020. Cada año lo destinado en la lucha contra cambio climático crece, no sólo en cantidades monetarias, sino también como requisito para que se otorgue dinero en otras políticas públicas. Desde las instituciones europeas se ha tratado de convertir a la lucha contra el cambio climático en una política transversal, es decir, que la reducción de los gases de efecto invernadero tengan incidencia en varias políticas públicas europeas. La experiencia europea en este ámbito es amplia y el intercambio de buenas prácticas de gran utilidad para las regiones y países que deseen sumarse a estos esfuerzos.

## Referencias

- Borrás, S., 2009. La seguridad climática en la Unión Europea: entre las amenazas y las oportunidades. *Revista catalana de dret públic*, N° 38, pp. 273-304.
- Comisión Europea, 2000. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre políticas y medidas de la UE para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: hacia un Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC). Comunidades Europeas, Bruselas, 14 pp.
- \_\_\_\_\_, Europea, Grupo de Alto Nivel, 2004. *Facing the Challenge: The Lisbon strategy for growth and employment*. Comunidades Europeas, Bruselas, 55 pp.
- \_\_\_\_\_, Europea, 2005. Comunicación: Ganar la batalla contra el cambio climático mundial. Comunidades Europeas, Bruselas, 19 pp.
- \_\_\_\_\_, Europea, 2007. Comunicación: Limitar el calentamiento mundial a 2°C –Medidas necesarias hasta 2020 y después. Comunidades Europeas. Bruselas, 14 pp.
- \_\_\_\_\_, Europea, 2010a. Comunicación: La política climática internacional posterior a Copenhague: una intervención inmediata para reactivar la lucha global contra el cambio climático. Unión Europea, Bruselas, 14 pp.

### **Eduardo Reinoso Angulo**

Realizó estudios de doctorado en el Wessex Institute of Technology, Southampton, Inglaterra. Es miembro de las Sociedades Mexicanas de Ingeniería Sísmica (SMIS) y Estructural (SMIE) y del Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica, EERI. De 2006 a 2008 fue presidente de la SMIS. Ha realizado más de 150 publicaciones en libros, congresos y revistas técnicas. Desde 1996 es Investigador Titular de tiempo completo en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Actualmente es Socio Fundador y Director General de ERN.

### **Mauro Niño**

Doctor en Ingeniería UNAM. Ha desarrollado diversas investigaciones orientadas a la estimación del riesgo por fenómenos naturales, participando y coordinando proyectos relacionados con la definición de diferentes peligros por fenómenos geológicos y fenómenos hidrometeorológicos. A nivel internacional ha participado en la iniciativa CAPRA del Banco Mundial, de la cual ha coordinado proyectos orientados a la gestión del riesgo en países de América Latina y Asia del Sur, como Bután y Pakistán.

### **Ignacio Mora González**

Investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM y director del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ha escrito artículos en revistas nacionales e internacionales y es coautor de los libros “Peligros geológicos más frecuentes en el estado de Veracruz”; “Sismos, lo que usted debe saber” y “Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos en el estado de Veracruz”. Es miembro del Comité Científico Asesor de Protección Civil del estado de Veracruz.

### **Gilbert Francisco Torres Morales**

Doctor en Ingeniería de Estructuras, Investigador del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana, Catedrático de la Facultad de Ingeniería Civil (Xalapa) de la Universidad Veracruzana. Realiza investigaciones sobre los efectos de los sismos en las estructuras y estudios sobre microzonificación sísmica de las principales ciudades del estado de Veracruz.

### **Armando Aguilar Meléndez**

Doctor en Ingeniería, con mención honorífica, por la Universidad Politécnica de Cataluña. Es profesor de tiempo completo titular C en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana en Poza Rica. Es coautor del código de cómputo CRISIS2014 para estimar peligro sísmico en regiones. Es también coautor de diversas publicaciones en revistas y memorias de congresos nacionales e internacionales.

### **Ana María Alarcón Ferreira**

Maestra en Ciencias de la Tierra con especialidad en Sismología por la UNAM, cursa el doctorado en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Se desempeñó en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (en el monitoreo volcánico del Popocatepetl y otros volcanes activos en México); también colaboró en el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ponente en foros nacionales e internacionales. Actualmente trabaja en la Secretaría de Protección Civil de Veracruz.

### **Francisco Córdoba Montiel**

Estudió la Licenciatura en Instrumentación Electrónica y la Especialización en Sistemas Microprocesadores en la Facultad de Instrumentación Electrónica de la Universidad Veracruzana. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias con orientación en Sismología en el Posgrado de Ciencias de la Tierra de la UNAM y actualmente es Doctor en Ciencias por el mismo Posgrado.

### **Sergio R. Rodríguez Elizarrarás**

Doctor en Ciencias con especialidad en Geología, posgrado en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México. Es Investigador Titular en el Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología de la UNAM. Colabora actualmente en el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Tiene numerosas publicaciones en revistas de circulación nacional e internacional.

### **Katrin Sieron**

Doctora en Ciencias de la Tierra (Vulcanología) en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), realizó estudios de Licenciatura y Maestría en Geología (TU Bergakademie Freiberg), incluyendo un intercambio con beca a la Acadia University, Canadá. Investigadora del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ha publicado en el ámbito internacional en revistas indexadas, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI, nivel "C") y ha participado en múltiples proyectos de investigación, además de ser catedrática de la Facultad de Economía.

### **María del Socorro Menchaca Dávila**

Doctora en Educación Superior en desarrollo sustentable, interdisciplinariedad y sistemas complejos en una Catedra de la UNESCO de la UAEM, con licenciatura en Psicología Social por la UNAM. Profesora-Investigadora de la Universidad Veracruzana del Centro de Ciencias de la Tierra. Coordinadora académica del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), y participante en Proyecto Universitario sobre Riesgos Naturales y Antrópicos (RINA).

### **Javier Bello Pineda**

Doctor en Ecosistemas de Cuencas por Trent University (Canadá), con Maestría en Biología Marina por CINVESTAV, Biólogo de carrera por la UNAM y Profesor por la Benemérita Escuela Nacional de Maestros, y Postdoctorado en el Coastal Development Centre" (CDC), Kasetsart University (Tailandia). Profesor-Investigador Universidad Veracruzana en el Instituto de Investigaciones en Ciencias Marinas Pesquerías. Ha trabajado como Coordinador de Áreas Naturales Protegidas en Conservación Internacional México - Programa Golfo de California, Investigador en el Instituto Nacional de la Pesca.

### **Ana Cecilia Travieso Bello**

Bióloga con Maestría y Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales. Es profesora/ Investigadora de la Facultad de economía de la Universidad Veracruzana. Cuenta con el reconocimiento del Perfil Deseable del Programa de Mejoramiento del Profesorado de la Secretaría de Educación Pública. Pertenece a la Red de Desastres Hidrometeorológicos y Climáticos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Tiene publicaciones en libros y revistas, nacionales e internacionales.

### **Carlos Manuel Welsh Rodríguez**

Doctor en Sostenibilidad por la Universidad Politécnica de Cataluña, cuenta con un Posdoctorado en el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) en Boulder Colorado. Actualmente es Investigador

del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana, su línea de investigación se desarrolla en torno a los impactos locales y regionales del cambio global. Ha participado como ponente en conferencias nacionales e internacionales, ha publicado libros, capítulos de libro, así como artículos en revistas nacionales e internacionales. Fue revisor del V informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y es miembro de la red de Desastres Hidrometeorológicos y Climáticos del consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Redesclim).

### **Carolina Andrea Ochoa Martínez**

Estudiante del Doctorado en Ingeniería por la Universidad Veracruzana. Forma parte del Grupo de Cambio Global del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Su línea de investigación se basa en el ámbito de la variabilidad climática, el cambio climático y los impactos de ambos. Ha colaborado en varios artículos para revistas nacionales e internacionales así como también en varios capítulos de libros.

### **María Tania García López**

Doctora en derecho por la Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España, es Máster en Comunidades Europeas por el Centro de Estudios Europeos de la Universidad de Alcalá, licenciada en derecho por la misma Universidad y experta profesional en e-learning 2.0 por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, España. Es investigadora de tiempo completo en la Universidad Veracruzana en la facultad de Ciencias Químicas y miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, nivel I.

### **Dainiz Evlyn Hernández Hernández**

Estudiante de Doctorado en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional Autónoma de México, ha colaborado en diversos proyectos de investigación, cuenta con Maestría en Ciencias por el INECOL A.C. Ha participado en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Teocelo, así como la actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero 2004-2008 del estado de Veracruz, ha publicado artículos en revistas nacionales y extranjeras y ha sido profesora de la Licenciatura en Geografía de la Universidad Veracruzana.

### **Saraí Guzmán Rojas**

Es Ingeniero Químico egresado de la Universidad Veracruzana. Ha colaborado en el departamento de Biotecnología Ambiental del Instituto de Ecología A.C., y para el Centro de ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Ha participado en la elaboración del Inventario Veracruzano de Gases de Efecto Invernadero 2000-2008 del Programa Estatal de Cambio Climático de la Universidad Veracruzana.

### **Edgar Saucedo Acosta**

Es profesor/investigador del Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales de la Universidad Veracruzana, ha sido profesor invitado de la Universidad de Maastricht (Países Bajos), el Instituto Mora (México), la Universidad Autónoma de Sinaloa (México) y la Universidad Nacional Autónoma de México (México), investigador invitado del Instituto de Estudios Comparativos de Integración Regional de la Universidad de Naciones Unidas en Brujas (Bélgica). Tiene publicaciones en temas de integración regional, con énfasis en el ámbito económico y en las regiones supranacionales europea y latinoamericana.

## **Samantha Rullán Rosanis**

Profesora/investigadora del Instituto de Investigación y Estudios Superiores Económicos y Sociales de la Universidad Veracruzana. Licenciada en derecho con maestrías en derecho francés, geopolítica y relaciones internacionales, y derecho de la Unión Europea, y doctor en estudios europeos con Mención de Doctor Europeo. Investigadora invitada de INSEAD campus Fontainebleau, Francia y Singapur, y en el Programa de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Cornell en Estados Unidos. Sus líneas de investigación son: Unión Europea, innovación y telefonía móvil en América Latina. Ha participado como ponente en Conferencias Nacionales e Internacionales y publicado libros, capítulos de libro y artículos en los temas antes mencionados.



*Metodologías aplicadas a las ciencias de la tierra* es una obra editada en IETEC-Arana Editores en formato digital en el mes de marzo de 2015. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Ignacio Mora González.

En este libro se incluye una selección de nueve de los trabajos más importantes presentados en las Primeras Jornadas de las Ciencias de la Tierra, los cuales están relacionados con diversas Metodologías aplicadas para el modelado de la estimación del riesgo por fenómenos naturales, para el monitoreo de la actividad sísmica de volcanes, procesos de remoción en masa, para el manejo integral de cuencas e instrumentos utilizados en la lucha contra el cambio climático en países de la Unión Europea.

Es el resultado de un esfuerzo editorial del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana donde se presenten los avances en el estudio de los fenómenos naturales y su relación con los fenómenos antrópicos encaminados a su aplicación de la prevención de desastres y a la gestión integral del riesgo.

