

# Estudios de riesgos y desastres

Aspectos teóricos y prácticos

Alma Villaseñor Franco  
Bonnie Lucía Campos Cámara  
Esteban Rogelio Guinto Herrera  
Coordinadores

UAGRO CA93 Riesgos naturales y geotecnología

UQROO-CA-6 Geografía y Geomática

UAGRO CA 167 Arquitectura, ciudad y turismo

UQROO-CA-26 - Manejo y Conservación de Recursos Naturales Acuáticos



# ESTUDIOS DE RIESGOS Y DESASTRES

ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS



# ESTUDIOS DE RIESGOS Y DESASTRES

## ASPECTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

ALMA VILLASEÑOR FRANCO  
BONNIE LUCÍA CAMPOS CÁMARA  
ESTEBAN ROGELIO GUINTO HERRERA  
COORDINADORES



Ediciones  
**Navarra**



**Ediciones  
Navarra**

Van Ostade núm. 7, Alfonso XIII, 01460,  
México, Ciudad de México.

Esta investigación fue sometida a dictamen en el sistema de pares ciegos externos.

**Primera edición:** 2021

**Estudios de riesgos y desastres. Aspectos teóricos y prácticos**

**Coordinadores:** Alma Villaseñor Franco, Bonnie Lucía Campos Cámara,  
Esteban Rogelio Guinto Herrera

**Cuidado de la edición:** Adlaí Navarro García

**Diseño de portada:** Elizabeth Vargas López

**Diagramación:** Rafael Franco Calderón

**ISBN:** 978-607-8789-33-7

**D.R. © Ediciones Navarra**

Van Ostade núm. 7, Alfonso XIII,

01460, México, Ciudad de México

[www.edicionesnavarra.com](http://www.edicionesnavarra.com)

[www.facebook.com/edicionesnavarra](https://www.facebook.com/edicionesnavarra)

[www.edicionesnavarra.tumblr.com](http://www.edicionesnavarra.tumblr.com)

@Ed\_Navarra

Queda prohibida, sin la autorización escrita del titular de los derechos, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento.

**Impreso y hecho en México.**

# Índice

INTRODUCCIÓN | 10

REVISIÓN DE CONCEPTOS CATASTRÓFICOS EN MÉXICO | 14

María de la Paz Medina Barrios, Leodegario Sansón Reyes

UNA APROXIMACIÓN TEÓRICO-CONCEPTUAL DE LA RESILIENCIA EN CIUDADES  
TURÍSTICAS CON UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO | 28

Bonnie Lucía Campos Cámara

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES AL DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LA  
ZONA CENTRO-SUR DEL ESTADO DE GUERRERO:

APLICACIÓN DE UN MODELO HEURÍSTICO | 38

Rocío N. Ramos-Bernal, René Vázquez-Jiménez, Raúl Romero-Calcerrada y Silvia Martín  
Velázquez

EVALUACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA MEDIANTE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉR-  
DIDA DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE ACÁMBARO, GUANAJUATO | 64

Genaro Aguilar Sánchez y Neri Susana González Pérez

RESEÑA HISTÓRICA DE LOS CICLONES TROPICALES EN EL ESTADO DE GUERRERO,  
MÉXICO (1951-2019) | 84

Gabriel Sánchez Rivera, Óscar Frausto Martínez y Adrián Martínez Cervantes

ACAPULCO: DESARROLLO URBANO, FENÓMENOS NATURALES Y RIESGOS | 100

Osbelia Alcaraz Morales, Agustín Carlos Salgado Galarza y Elsa Patricia Chavelas Reyes

VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO EN CONSTRUCCIONES DE  
CHILPANCINGO, GUERRERO | 120

Sulpicio Sánchez Tizapa, Adelfo Morales Lozano, Alfredo Cuevas Sandoval, Roberto Arroyo  
Matus y Gerardo Altamirano de la Cruz

VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA DE UNO A TRES NIVELES UBICADAS EN CHILPANCINGO | 148

Omar Barrios Vázquez, Esteban Rogelio Guinto Herrera y Roberto Arroyo Matus

MEJORAMIENTO DEL CONCRETO NO ESTRUCTURAL, MEDIANTE EL EMPLEO DE FIBRAS ECONÓMICAS | 172

Fausto Ávila-Barrientos, Roberto Arroyo Matus, Lenin Ávila-Barrientos, Sulpicio Sánchez Tizapa y Esteban Rogelio Guinto Herrera

RED SOCIAL PARTICIPATIVA PARA OBTENER INFORMACIÓN SOBRE INTENSIDAD DE SISMOS | 190

Rubén Rodríguez Camargo, Alma Villaseñor Franco y Sulpicio Sánchez Tizapa

EFFECTOS PSICOSOCIALES DE LOS DESASTRES | 206

Alejandra Toscana Aparicio

SEMBLANZAS | 222

Este libro representa el trabajo de coordinación de investigadores de diferentes universidades de México, donde se exponen temas de análisis que tienen en común la creciente preocupación internacional respecto del aumento en la frecuencia y severidad de los riesgos y desastres debido en parte a factores relacionados con el cambio climático. Desde las universidades existe una voluntad cada vez mayor para transferir conocimiento y propuestas teórico-metodológicas, así como técnicas para contribuir a reducir los efectos destructivos en la vida y los modos de vida de personas y comunidades.

Por ello, en el actual contexto del cambio climático, esta contribución académica responde al creciente reconocimiento de los beneficios de la estrecha vinculación entre los esfuerzos de la gestión del riesgo de desastres y de la adaptación a diferentes escalas.

Las experiencias de los expertos en la materia y de los renovados estudios que han llevado a cabo revelan la importancia de, desde la academia y con herramientas prácticas y disponibles, aportar a la sociedad estos resultados de investigación, así como conceptualizar y proporcionar un desarrollo de capacidades que responda a las demandas sociales.



# Introducción

El riesgo es un concepto que ha sido estudiado desde diferentes perspectivas tanto ingenieriles y técnicas como sociales, debido a la necesidad compartida de disminuir las incertidumbres que nos rodean en todos los ámbitos de la vida. México es un país donde los riesgos hidrometeorológicos, geomorfológicos y geológicos son frecuentes, no sólo por su exposición a ciclones, sismos, erosión y procesos de ladera, entre otros, sino también por las condiciones de vulnerabilidad de la población, así como por las limitaciones institucionales para gestionar los riesgos y desastres. Los riesgos pueden ser prevenidos, y de ahí la importancia de su estudio a fin de comprender cómo se construyen y de qué manera se pueden mitigar.

Este libro colectivo inicia con el artículo “Revisión de conceptos catastróficos en México” de María de la Paz Medina y Leodegario Sansón Reyes que, desde la perspectiva fisicalista del marco conceptual gubernamental, define los desastres y riesgos. Posteriormente, se ofrece un conjunto de casos de procesos de riesgo con la intención informar las causas y consecuencias, así como diversas técnicas para su estudio y comprensión.

Por su parte, en “Una aproximación teórico-conceptual de la resiliencia en ciudades turísticas con un enfoque ecosistémico”, Bonnie Lucía Campos Cámara estudia los riesgos a partir de sus componentes y desde un enfoque sistémico, considerando el cambio climático como una de las amenazas que inciden en las localidades costeras. La autora destaca la importancia de los métodos de recopilación de datos empíricos en campo, entre ellos el etnográfico, para una mejor comprensión de las interdependencias entre los sistemas sociales, económicos y humanos y la vulnerabilidad del ecosistema en estas zonas costeras.

Rocío N. Ramos-Bernal, René Vázquez-Jiménez, Raúl Romero-Calcerrada, y Silvia Martín Velázquez, en “Identificación de áreas susceptibles al deslizamiento de laderas en la zona Centro-Sur del estado de Guerrero: aplicación de un modelo heurístico”, identifican zonas potenciales a presentar deslizamientos

de laderas en dicho estado, donde se ha producido un número importante de deslizamientos en los últimos años debido a la exposición a eventos hidrometeorológicos, por lo que se expone la implementación y análisis de un modelo heurístico que ha permitido la generación de cartografía de susceptibilidad al deslizamiento de laderas.

Por otra parte, en “Evaluación de erosión hídrica mediante la ecuación universal de pérdida de suelo, en el municipio de Acámbaro, Guanajuato”, Genaro Aguilar Sánchez y Neri Susana González Pérez presentan una evaluación de erosión hídrica a nivel de facetas para el Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno, mediante un método que combina tanto información de gabinete como de campo.

A su vez, en el capítulo “Reseña histórica de los ciclones tropicales en el estado de Guerrero, México (1951-2019)”, Gabriel Sánchez Guerrero, Óscar Frausto Martínez y Adrián Martínez Cervantes presentan una caracterización de los eventos ciclónicos que impactaron las costas del Pacífico, en particular, el estado de Guerrero, región que ha sufrido el impacto de diversos huracanes. La importancia del estudio está en que aporta a la caracterización de la actividad ciclónica de la región desde la perspectiva de su infrecuencia en términos de intensidad de sus vientos máximos y mínima presión atmosférica.

En “Mejoramiento del concreto no estructural, mediante el empleo de fibras económicas”, Fausto Ávila-Barrientos Roberto Arroyo Matus, Lenin Ávila-Barrientos, Sulpicio Sánchez Tizapa y Esteban Rogelio Guinto Herrera, presentan un estudio sobre la pavimentación, la cual a lo largo del tiempo ha sufrido grandes transformaciones de carácter tecnológico, mejorando la funcionalidad y resistencia de las vías de comunicación. Sin embargo, se siguen buscando nuevas alternativas para aumentar su nivel de seguridad y durabilidad estructural. En esta investigación se examina cómo mejorar el comportamiento físico-mecánico de los pavimentos y pisos rígidos, a través de agregar a su composición un nuevo elemento, lo que pudiera dar como resultado una mayor durabilidad, absorción y distribución de las fuerzas aplicadas a su estructura.

Osbelia Alcaraz Morales, Agustín Carlos Salgado Galarza y Elsa Patricia Chavelas Reyes en “Acapulco: desarrollo urbano, fenómenos naturales y riesgos”, estudian los riesgos asociados a fenómenos naturales y al desarrollo urbano de Acapulco, analizan el crecimiento de la ciudad desde su origen hasta la actualidad, pasando por la popularización del turismo, y hacen un recuento de los fenómenos peligrosos que pueden incidir en la ciudad y una revisión de las políticas públicas y su funcionamiento en materia de prevención de desastres.

Sulpicio Sánchez Tizapa, Adelfo Morales Lozano y Alfredo Cuevas Sandoval presentan el capítulo “Vulnerabilidad y riesgo sísmico en construcciones de Chilpancingo, Guerrero”, sobre una ciudad que presenta una alta propensión a la actividad sísmica debido a su cercanía a zonas epicentrales. Existe registro de daños en edificios del centro, así como en diversas colonias por el impacto de las ondas sísmicas, además de en potencia en construcciones de reciente creación en zonas de la ciudad que han tenido un crecimiento un tanto caótico.

En “Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería confinada de uno a tres niveles ubicadas en Chilpancingo, Guerrero”, Omar Barrios Vázquez, Esteban Rogelio Guinto Herrera y Roberto Arroyo Matus presentan un estudio para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería confinada de uno a tres niveles, ubicadas en el Barrio de la Santa Cruz, en Chilpancingo de los Bravo. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica es mediante un método cualitativo aplicada a una muestra representativa de la población que evalúa las condiciones de regularidad en planta y elevación de la estructura, basándose en los criterios de regularidad establecidos en las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México (NTCCDMX), 2017, para diseño por sismo, así como el tipo de suelo donde se ubica la estructura, el año de construcción y los daños asociados a sismos antiguos y recientes. Los resultados fueron plasmados en un mapa de vulnerabilidad sísmica.

Rubén Rodríguez Camargo, Alma Villaseñor Franco y Sulpicio Sánchez Tizapa analizan en “Red social participativa para obtener intensidad de sismos” la participación de las personas en una red social para obtener la intensidad de Mercalli Modificada, la cual, entre otros aspectos, permitiría identificar ubicación y conocer las consecuencias de sismos de magnitud mayor a seis.

Por último, en “Efectos psicosociales de los desastres”, Alejandra Toscana Aparicio presenta una exploración sobre la incidencia de los desastres en el espacio público y sus efectos psicosociales desde la perspectiva del bienestar social.



# Revisión de conceptos catastróficos en México

Leodegario Sansón Reyes

ORGANIZACIÓN DE METEORÓLOGOS. A.C.

María de la Paz Medina Barrios

GERENCIA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL COMISIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD

## Introducción

En el transcurso de la historia, la humanidad ha enfrentado varios eventos catastróficos que se han originado en diversos sucesos naturales, a los cuales se les denomina como “desastres”, por cuanto han dejado a su paso grandes pérdidas económicas y humanas. La Base de Datos Internacional de Desastres (EM-DAT, por sus siglas en inglés) define como “desastre” una situación o un evento, a menudo repentino, que sobrepasa la capacidad local de afrontamiento, que requiere solicitar asistencia nacional o internacional, porque ha causado gran daño, destrucción y sufrimiento humano.

Como ejemplo de estos eventos catastróficos a escala mundial, puede mencionarse que, en 2004, un tsunami ocasionó en Indonesia más de 280 mil muertos —aunque varios miles de ellos siguen desaparecidos—, y más de un millón de personas sin hogar. A su vez, el huracán *Katrina* asoló las costas del Golfo de México, desde Florida hasta Texas, en 2005, y causó 1,833 muertos, más 500 mil afectados y pérdidas económicas por 125 mil millones de dólares (BBC, 2015). El terremoto de Pisco, en Perú (2007), provocó 597 muertos, cerca de 2,291 heridos, 76 mil viviendas totalmente destruidas y 431 mil personas damnificadas (*La República*, 2013). En el terremoto de Haití de 2010 fallecieron 316 mil personas, con 350 mil más heridas, y más de 1,5 millones se quedaron sin hogar, por lo cual es una de las catástrofes humanitarias más graves de la historia (teleSUR, 2015). El de Chile en 2010 dejó 525 fallecidos,

cerca de 500 mil viviendas sufrieron graves daños y se estiman 2 millones de damnificados, es la peor tragedia natural vivida en aquel país desde 1960 (Subsecretaría del Interior de Chile, 2011), mientras que en el terremoto y tsunami de Japón de 2011 hubo 15,893 muertos, 6,152 heridos y 2,556 desaparecidos (*Damage Situation and Police Countermeasures*, 2015).

En México, han ocurrido eventos catastróficos de origen hidrometeorológico y geofísico, pues el territorio mexicano es susceptible a ellos debido a su génesis geológica, a su ubicación geográfica, a la formación de ciclones tropicales en la costa del Pacífico y del Golfo de México, además de los que se asocian con la inestabilidad de los suelos. Por tanto, nuestro país se ha caracterizado por ser un país vulnerable a los impactos de la intensidad y magnitud de estas condiciones intrínsecas. Por ejemplo, la inundación en Tabasco y Chiapas empezó el 28 de octubre y terminó el 15 de diciembre de 2007, con una permanencia de casi dos meses, por lo cual ocasionó más de un millón de afectados (*Proceso*, 2014), en las comunicaciones y actividades económicas regionales. El sismo de magnitud 7.1, que azotó la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017, causó una gran devastación en la ciudad y sus alrededores, murieron aproximadamente 369 personas, se derrumbaron 57 edificios y un número mucho mayor resultó gravemente dañado.

A finales de 2019, más de 600 mil personas fueron afectadas en diversos estados, viendo afectada su subsistencia, principalmente por intensos incendios forestales, lluvias, así como climas gélidos extremos. En mayo de 2019, por ejemplo, Guerrero enfrentó severos incendios forestales en 27 municipios que afectó a 241,710 personas; le siguió Chiapas con veinte municipios con daños a 181,437 habitantes. Asimismo, Chihuahua padeció una severa nevada en doce municipios que afectó a 64,751 personas; posteriormente le tocó a Sonora con veintinueve localidades y daños a 9,207 habitantes. En Oaxaca, un incendio forestal perjudicó a once municipios con daños a 11,566 habitantes. Sinaloa enfrentó lluvias atípicas que arrojó 23,312 damnificados en seis municipios. Éstos son sólo algunos de los desastres más catastróficos de los últimos veinte años, lo que permite evidenciar que todavía falta mucho por hacer en materia de riesgos.

En 1988, el Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED) lanzó la Base de Datos de Eventos de Emergencia (EM-DAT), creado con el apoyo inicial de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el gobierno belga. La EM-DAT contiene información básica esencial que abarca más de 22 mil desastres masivos en el mundo desde 1900 hasta la actualidad. Esta base de

datos se compila a partir de varias fuentes, incluidas las agencias de la ONU, las organizaciones no gubernamentales, las compañías de seguros, los institutos de investigación y las agencias de prensa.

La EM-DAT registra tanto los desastres tecnológicos (propiciados por humanos) como los naturales. Estipula que la información de un desastre que se introduzca en esta base de reseñas debe cumplir al menos con uno de los siguientes criterios:

- Diez (10) o más personas notificadas como fallecidas.
- Cien (100) o más personas notificadas como afectadas.
- Declaración de estado de emergencia.
- Convocar asistencia internacional.

Así pues, la escala internacional deja fuera a eventos locales y los daños asociados a actividades humanas inadecuadas, como la pérdida de biodiversidad por actividades de deforestación, los cambios de uso del suelo que causan la degradación y pérdida de tierras, por desconocimiento de su potencial y provocando otros impactos, como la desertificación, los deslaves, con consecuencias socioeconómicas en la seguridad alimentaria del país.

En México, en el periodo de 1900 a junio de 2020, la EM-DAT registró 436 eventos de gran magnitud, que causaron alrededor de 30 mil muertes por Desastres Naturales (276 eventos) y Desastres Tecnológicos (160 eventos), y más de 20 millones de personas afectadas. En este periodo las pérdidas económicas se estimaron en más de 55 mil millones de dólares, más los recursos adicionales asegurados para la atención de las emergencias, que tan sólo en el periodo de 2010 a 2020, ascendieron a más de 6 mil millones de dólares (EM-DAT, junio de 2020). Los tipos de desastres naturales de gran magnitud que ocurren en México se presentan en la figura 1.

Los programas federales que atienden las repercusiones de los eventos catastróficos son el FIBRODEN y el FONDEN. En 2017, el Fondo de Prevención para Desastres Naturales (FOPREDEN) ejerció un presupuesto de casi 370 millones de pesos, 3.5 por ciento más que en 2015; sin embargo, este monto fue veintidós veces menor a lo que se destinó al FONDEN; es decir, se invirtió más en la atención a las emergencias que en su prevención. De acuerdo con el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF, 2016), en 2016 el FONDEN contó con 8,277 millones de pesos, lo que significó un incremento real de 34 por ciento más de lo que se presupuestó en el año anterior; esto representa el mayor presupuesto desde 2011 (*El Economista*, 2016). Los gastos económicos de los desastres en

México han sido excesivos, tan sólo en 2010 se erogaron más de 92 mil millones de pesos, por declaratorias por eventos de lluvias severas y ciclones, sobresaliendo el estado de Veracruz con 15 mil millones de pesos aproximadamente (figura 2).

MÉXICO - CLASIFICACIÓN DE DESASTRES EM-DAT

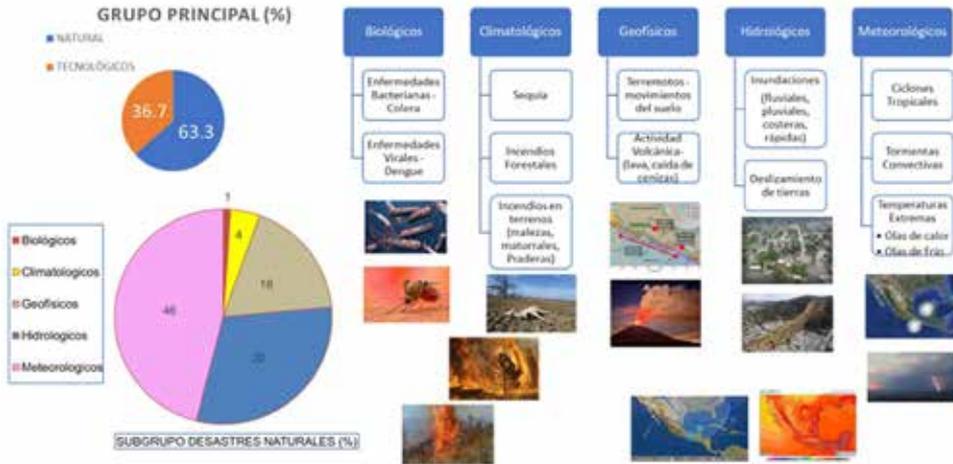


Figura 1. Desastres naturales ocurridos en México. Periodo 1900-junio de 2020. Elaboración propia. GEIC-DHM.

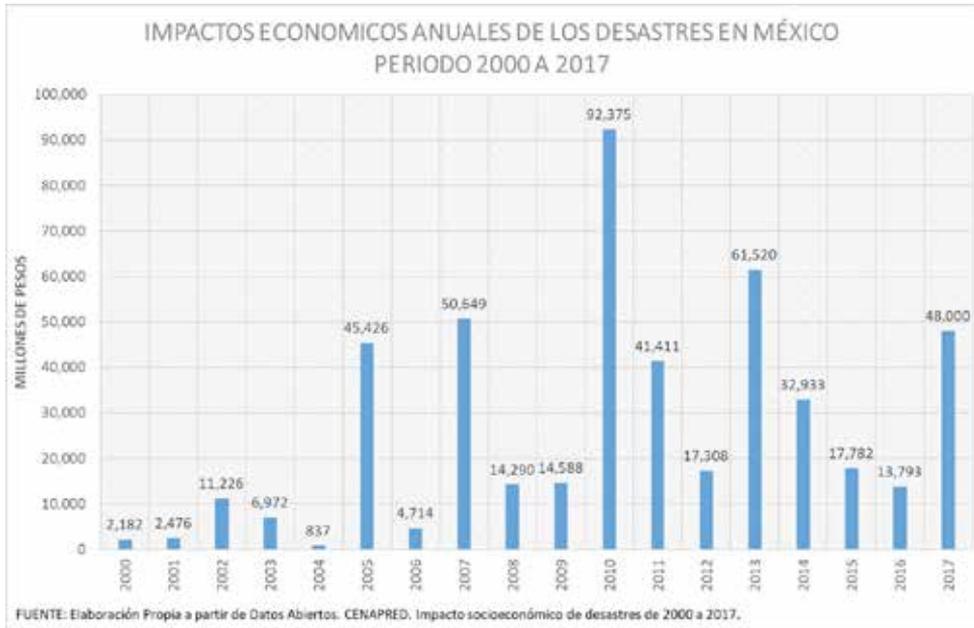


Figura 2. Impacto socioeconómico de los desastres en México. Periodo de 2000-2017. Elaboración propia, GEIC-DHM.

Para fines de prevención se han elaborado los *Atlas de riesgos* (AR) en México, cuyo objetivo es diagnosticar los niveles de peligro y de riesgo mediante sistemas organizados de información, es decir, los AR deben constituir una herramienta de prevención (DOF, 2014). De ahí la importancia vital conferida a estas herramientas en sus niveles municipal, estatal y nacional (CENAPRED, 2015).

Para crear el *Atlas Nacional de Riesgos* (ANR) es importante haber concluido todos los atlas de riesgos estatales (AR-E) y los atlas de riesgos municipales (AR-M). Actualmente México cuenta con 370 AR-M de los 2,459 del país, en otras palabras, el 85 por ciento de los municipios de la República Mexicana no cuenta con AR-M. Aunado a esto, gran parte de los AR-M únicamente puede caracterizar el peligro, pero no determinar índices de peligro, vulnerabilidad y riesgo; en algunos otros, ni siquiera se logra identificar el peligro correctamente dada la ambigüedad o duplicidad de los conceptos o no aplican la metodología correcta para evaluar el peligro.

Para el marco conceptual de los términos que involucran al riesgo y, por ende, a los AR, de las instituciones nacionales e internacionales, así como a los

especialistas en la materia, se han considerado los conceptos que cada institución considera relevante.

En concordancia con las instituciones encargadas del control, la prevención y la mitigación de los desastres en México, como el CENAPRED y el SINAPROC, éstas deben regirse de acuerdo con los lineamientos de la Ley General de Protección Civil (LGPC, 2012), que, en su Capítulo I. Disposiciones Generales, menciona en el Artículo 1:

La presente Ley es de orden público e interés social y tiene por objeto establecer las bases de coordinación entre los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil. Los sectores privado y social participarán en la consecución de los objetivos de esta Ley, en los términos y condiciones que la misma establece.

Asimismo, el artículo 2 proporciona las definiciones generales para eventos geológicos e hidrometeorológicos y, de acuerdo con las instituciones encargadas del control, la prevención y la mitigación de los desastres en México, en sus documentos oficiales pueden hallarse las siguientes definiciones:

*Vulnerabilidad*: facilidad con la que un sistema puede cambiar su estado normal a uno de desastre, por los impactos de una calamidad (SINAPROC).

*Riesgo*: de acuerdo con el SINAPROC es la posibilidad de pérdida tanto en vidas humanas como en bienes o en capacidad de producción.

Sin embargo, para el SINAPROC, peligro y amenaza son sinónimos.

Esta definición involucra tres aspectos relacionados por el siguiente esquema:

### FORMULA Y MÉTODO GENERAL PARA ESTIMAR LOS RIESGOS

**-Eventos hidrometeorológicos:**

Ciclones Tropicales, Tormentas, Inundaciones, Olas de Calor, Olas de Frío, Sequía, Incendios Forestales, Vientos fuertes, Granizadas, etc.

**-Eventos Geológicos:**

Sismos, Vulcanismo, Movimiento de Masas, Karstificación, Maremotos, Hundimientos, etc.

**Donde:**

- + **Riesgo** = es la cantidad de afectación (daños, personas, cosas)
- + **Amenaza** = depende de la frecuencia y la potencia de determinado peligro natural
- + **Exposición** = Sectores socioeconómicos que están en determinada zona geográfica
- + **Vulnerabilidad** = depende del contexto sociopolítico



- Ciudades
- Infraestructura Estratégica (PEMEX, CFE, Vías de Comunicación)
- Edificios Públicos
- Áreas Naturales Protegidas
- Centros de Producción (Agrícola, Pecuaria y Forestal)

- Vulnerabilidad Económica
- Vulnerabilidad Demográfica
- Vulnerabilidad de Salud
- Vulnerabilidad de Educación
- Vulnerabilidad de Desarrollo

Ahora bien, el desastre se define, de acuerdo a estas instituciones, de la siguiente manera:

*Desastre:* evento concentrado en tiempo y espacio en el cual la sociedad, o una parte de ella, sufre un severo daño e incurre en pérdidas para sus miembros, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando su funcionamiento vital (SINAPROC).

*Atlas de Riesgo:* sistemas que integran información sobre eventos perturbadores a los que está expuesta una comunidad y su entorno (CENAPRED).

De acuerdo con algunos especialistas en el tema de desastres naturales, se tienen las siguientes definiciones:

*Peligro:* la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado (Guevara, 2006).

*Amenaza:* peligro o factor de riesgo externo de un sujeto o sistema representado por un peligro latente asociado con un evento físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico, durante un tiempo de exposición determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio. Matemáticamente se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en cierto sitio y en cierto periodo de tiempo (Cardona, 1993).

*Amenazas naturales:* comprenden una condición latente de peligro potencial y tienen como base la ocurrencia potencial de un evento o evento físico determinado o una combinación de ellos. Su concreción como amenazas (peligros latentes) se determina por la existencia de condiciones de exposición de elementos sociales a sus potenciales efectos y la existencia de determinadas condiciones sociales que predispone a la afectación (conocidos por las categorías de impacto, daño y pérdida). La constitución de una amenaza por el proceso de exposición a un evento físico, en condiciones de susceptibilidad al impacto (conocido como “vulnerabilidad” social), capta la esencia del proceso de construcción social implícita en su existencia (Lavell, 2010).

*Vulnerabilidad:* es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala que va de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total) (Cardona, 1993). Está determinada asimismo por las características de una persona o grupo de personas que influyen sobre su capacidad para anticipar, prepararse, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Entonces, estar bajo riesgo de un desastre significa que hay una alta probabilidad de que características político económicas de las personas coincidan en tiempo y espacio con un evento extremo al cual son vulnerables (Blaikie *et al*, 1994).

*Riesgo:* se define como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre un elemento o comunidad, a consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a  $i$ , es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un periodo de tiempo  $t$  dado (Cardona, 1993). También se define como la probabilidad de daños y pérdidas a futuro (Lavell, 2010).

*Construcción social del riesgo:* esta noción alude a que, independientemente de la presencia de eventos físicos o contextos físicos naturales adversos, es en la relación e interacción de esos eventos o contextos con la sociedad, y a través de procesos sociales concretos, que ellos se convierten en un componente explicativo del riesgo de desastre de determinadas magnitudes. La característica social del riesgo y de su construcción nos permite pensar en su reducción, prevención o mitigación, y su gestión, interviniendo en los procesos y contextos sociales que determinan su existencia, reconociendo a la vez que la intervención directa sobre los procesos físicos *per se* no es opción en la gran mayoría de los casos (Lavell, 2010).

*Desastre:* la interrupción y transformación temporal severa en las condiciones normales de existencia de una población debido al impacto de un evento físico adverso (Lavell, 2010).

*Exposición:* la ubicación de un elemento de la estructura social o de la naturaleza en el área de influencia de un determinado tipo de evento o manifestación física (Lavell, 2010).

A partir de estos principios se puede afirmar que en México se han sido insuficientes los estudios para atender estos temas en específico, porque en los diversos documentos revisados que comprenden los atlas de riesgos no se detectó la probabilidad, la intensidad y la temporalidad de los estudios que establece la LGPC. Incluso debemos considerar su estimación según el grado de sensibilidad de los sectores estratégicos de México, ya que abarca dependencias socioeconómicas y distintos estratos en la población.

Una de las definiciones esenciales de mayor relevancia es la estimación del peligro, puesto que, para su estudio, es importante definir qué tipo de evento perturbador es y realizar una medición numérica mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso y asociarse a otras relaciones físicas entre los efectos del evento y los daños a los bienes expuestos. Además, hay que considerar que los registros antiguos de algunos eventos en el ámbito nacional sólo han sido de carácter cualitativo, porque no se contaba con instrumentos de medición para ubicar exactamente la distribución espacial y su magnitud. Muestra de esto son los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en cuyas bases de datos diarios a las nevadas y granizadas, los valores estadísticos que reportan de estas variables son: 0= no ocurrió, y 1= si ocurrió, lo cual implica problemas en los registros de los sitios establecidos para la observación meteorológica y climatológica, por la cobertura espacial que los observadores han considerado dentro de su área de influencia (de 10 hasta 25 kilómetros).

En la mayoría de los eventos pueden distinguirse dos medidas: una de magnitud y otra de intensidad. La *magnitud* es una medida del tamaño del evento, de su potencial destructivo y de la energía que libera. La *intensidad* es una medida de la fuerza con que se manifiesta el evento en un sitio dado. Por ello un evento tiene una sola magnitud, pero tantas intensidades como los sitios en que interese determinar sus efectos (Guevara, 2006). En consecuencia, la selección de las metodologías adecuadas para su estimación permitirá establecer las medidas adecuadas en la gestión de los riesgos en los niveles de la administración federal, municipal y de las alcaldías en México.

Por ejemplo, en los sismos asociados al movimiento de las placas tectónicas, la magnitud se define en términos de la energía liberada por el súbito movimiento de dichas placas y se mide en la escala de Richter. La intensidad sísmica refleja, en cambio, el grado de movimiento que experimenta el terre-

no en un sitio dado, lo que dependerá fundamentalmente de la distancia del sitio al epicentro y de las características del terreno en el sitio. La intensidad se mide a través de la escala de Mercalli. Para algunos eventos, la distinción entre magnitud e intensidad no es tan clara, pero, en términos generales, el peligro está más asociado a la intensidad del evento que a su magnitud, o sea, más a las manifestaciones o efectos que el evento puede presentar en el sitio de interés que a las características básicas del evento mismo. En este sentido, el estudio del peligro lleva a la construcción de distintos escenarios, es decir, a la representación de los efectos del evento en la región de interés (Guevara, 2006).

La forma más común de analizar los eventos ha sido referenciada a un periodo temporal de treinta años, tratando de representar el carácter probabilístico del evento en términos de un periodo de retorno (o de recurrencia), que es, en teoría, el lapso que, en promedio, transcurre entre la ocurrencia de eventos de cierta intensidad, pero hay eventos hidrometeorológicos y geológicos que no se ajustan a estos pronósticos. El concepto de periodo de retorno no implica, en términos probabilísticos, que el proceso sea cíclico.

En ocasiones se utiliza también el inverso del periodo de retorno llamada “tasa de excedencia”, definida como el número medio de veces, en que, por unidad de tiempo, ocurre un evento que exceda cierta intensidad. Para muchos de los eventos es imposible representar el peligro en términos de periodos de retorno, porque no ha sido posible contar con la información suficiente para este tipo de representación. En estos casos se recurre a escalas cualitativas, buscando las representaciones de uso más común y de más utilidad para las aplicaciones en el tema específico (Guevara, 2006).

Los desastres se asumen con poblaciones humanas, cómo cambian sus vidas y sus actividades son amenazadas o alteradas, cómo reaccionan ante situaciones críticas, sus actitudes, los ajustes que llevan a cabo y cómo enfrentan los problemas cotidianos productos del riesgo y la vulnerabilidad (Curson, 1989). En las mediciones se considera muy poco a los recursos naturales y marinos, por ejemplo, el hábitat de especies en peligro de extinción tiene menos valor que la explotación a cielo abierto de recursos mineros, como la explotación del Coltán en República Democrática de Congo, que posee el 80 por ciento de las reservas mundiales de este nuevo “oro negro”. En el mismo sentido, las concesiones mineras en Guerrero han dejado residuos sólidos, además del daño al medio ambiente debido a la deforestación para abarcar grandes extensiones de terreno, y a la desertificación de zonas aledañas a consecuencia de las corrientes

de viento. Las diversas empresas mineras son transnacionales principalmente de Canadá y Estados Unidos, y no pagan retribuciones de ningún tipo a los pobladores originarios.

Hay diferencias notables en el análisis de los riesgos, Maskrey (1993) categoriza a la vulnerabilidad en las siguientes dimensiones:

- *Natural*. Determinada por los límites ambientales dentro de los cuales es posible la vida y por las exigencias internas de su propio organismo.
- *Física*. Se refiere especialmente a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo y a las deficiencias de sus estructuras físicas para “absorber” los efectos de esos riesgos.
- *Económica*. Los sectores más vulnerables frente a los riesgos son los más deprimidos económicamente.
- *Social*. Se refiere al nivel de cohesión interna que posee una comunidad.
- *Política*. Constituye el valor recíproco del nivel de autonomía que posee una comunidad para la toma de las decisiones que la afectan.
- *Técnica*. Se refiere al diseño y construcción de estructuras para eventos de amenaza.
- *Ideológica*. La respuesta ante una amenaza de desastre depende, en gran medida, de la concepción del mundo que posean sus miembros.
- *Cultural*. La forma de reaccionar de una comunidad ante un desastre depende de los patrones culturales y los valores de cooperación.
- *Educativa*. Representa la información respecto a los escenarios de riesgo.
- *Ecológica*. La destrucción de los recursos del ambiente, que conduce a ecosistemas muy riesgosos para las comunidades que los explotan o habitan.
- *Institucional*. La preparación de la comunidad a través de los organismos públicos y de socorro, para enfrentar una situación de desastre.

La *resiliencia* es una noción desarrollada en las ciencias de la ecología y ambientales, y se refiere a la capacidad de un ecosistema o complejo de elementos físicos, naturales vivos, de absorber, sin alteración fundamental en sus estructuras y funciones, las cargas y presiones ejercidas por elementos físicos externos, de naturaleza catastrófica o no (impactos de huracanes sobre manglares o bosques, de inundaciones sobre sistemas naturales o incendios sobre ecosistemas, entre otros). Como se señala, se sugiere que la noción de resiliencia se restrinja al tema de los ecosistemas y complejos naturales, resistiendo su uso con referencia a sistemas humanos, al tratar el tema de riesgo y adaptación al cambio climático (Lavell, 2010).

Las definiciones correspondientes a la ONU y al Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) son las siguientes:

- *Amenaza*: un evento, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos o daños ambientales (UNISDR, 2009).
- *Vulnerabilidad*: las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza (UNISDR, 2009). Se puede definir asimismo como la susceptibilidad a los daños y se caracteriza a menudo en términos de uno o más de los siguientes factores: la sensibilidad a la exposición de un sistema (personas o lugar) a las crisis, tensiones o disturbios, el estado del sistema en relación a un umbral de daño y la capacidad del sistema para adaptarse a las condiciones cambiantes (IPCC, 2014).
- *Grado de exposición*: la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales (UNISDR, 2009).
- *Resiliencia*: la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (UNISDR, 2009).
- *Riesgo*: es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas (UNISDR, 2009).
- *Desastre*: una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para enfrentar la situación mediante el uso de sus propios recursos (UNISDR, 2009).

Se deben considerar ciertos aspectos de estos conceptos, por ejemplo, dentro del CENAPRED hay términos que no se han conceptualizado, por lo que se puede inferir como una falla dentro de la relación SINAPROC-CENAPRED, pese a ser instituciones que trabajan conjuntamente en el tema de desastres naturales.

Cabe resaltar que la terminología internacional coincide parcialmente con la nacional, puesto que muchos consideran conceptos que las instituciones nacionales no consideran, o viceversa, incluyendo a los especialistas en estos te-

mas, por lo que la homologación de conceptos se vuelve imperativa. De hecho, es necesario encontrar los conceptos que definan al peligro, la amenaza, el riesgo y todo lo que éste conlleva, así como todos los conceptos teóricos y técnicos para evitar confusión, duplicidad y, por tanto, una posible ambigüedad.

Considerando que cada institución tiene una clasificación de peligro o amenaza, se realizó un análisis de los nombres que se utilizan para identificar peligros o amenazas naturales. Este análisis considera que para el estudio de los peligros o amenazas de origen hidrometeorológico se deberán elaborar indicadores e índices sectorizados para que las mediciones de magnitud e intensidad, acordes a los umbrales de sensibilidad de cada sector sean particulares, ya que la tipificación actual califica eventos típicos como atípicos, o los magnifica como contingencias, aun cuando su ocurrencia sea benéfica, como es el caso de ciclones y tormentas tropicales. El conocimiento de la variabilidad natural del clima, aparte de la escasez de datos climáticos, se empobrece cada día por el desinterés de mantener en funcionamiento los observatorios y las estaciones climáticas, los cuales representan sitios históricos donde se ha construido la historia climática de México.

En las revisiones documentales se detectó una notable diferencia en cómo denominar a los eventos hidrometeorológicos en México. Así, el CENAPRED y el SINAPROC los llaman “riesgos” y “eventos perturbadores” respectivamente, mientras que la UNISDR los llama “amenazas”.

Como se mencionó, el EM-DAT tiene como objetivo el establecimiento de prioridades en el tema de desastres. Constituye una base de datos actualizable donde se contabilizan eventos desastrosos. La importancia de su análisis radica en que si los elementos contenidos en su clasificación fueran considerados entre las posibles amenazas (UNISDR), riesgos (CENAPRED) o eventos perturbadores (SINAPROC y SEDATU) de las demás instituciones, no existirían estos desastres históricos y servirían como parte de la prevención de los desastres.

En la *Guía metodológica de los atlas de riesgos* de 2006, Roberto Quaas Weppen asienta en el prólogo:

Recordemos, los desastres no son naturales, se derivan de una condición de riesgo. Consecuentemente, los atlas de riesgos son el vehículo y a la vez guía estratégica indispensable para incidir, a través de la prevención, de manera efectiva en la mitigación de los riesgos y consecuentemente en la reducción de los desastres.

Por lo que la terminología usada en este momento abre el debate para la búsqueda de la homologación en la terminología técnica, debido a la duplicidad de significados en los términos referentes al tema de peligros, amenazas, vulnerabilidad, riesgos y desastres naturales y, por tanto, los alcances en la elaboración de los atlas de riesgos no cumple su objetivo.

## Referencias

MEDINA BARRIOS, M. P. y *et al* (2017), *Estudio estratégico: inventario de atlas de riesgos en México. Informe del estado actual*, Academia de Ingeniería México (AIC) y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, en <<http://www.ai.org.mx/estudios-estrat%C3%A9gicos/inventario-de-atlas-de-riesgos-en-m%C3%A9xico>>, y <[http://www.ai.org.mx/sites/default/files/atlas\\_riesgo.pdf](http://www.ai.org.mx/sites/default/files/atlas_riesgo.pdf)>.

# Una aproximación teórico-conceptual de la resiliencia en ciudades turísticas con un enfoque ecosistémico

Bonnie Lucía Campos Cámara  
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## Introducción

Las costas están enfrentando riesgos cada vez mayores provenientes del aumento de la población y del desarrollo urbano turístico. Las amenazas se intensifican a su vez por una planeación deficiente (Lam, 2016). El cambio climático también implica una amenaza potencial para las comunidades costeras y demuestra la interdependencia entre los sistemas sociales, económicos y humanos y la vulnerabilidad del ecosistema en estas zonas. Esta interdependencia ha sido estudiada desde diversos enfoques teóricos, que desde nuestra perspectiva ayudan, pero son insuficientes para explicar lo que acontece en los espacios locales, pues, para empezar, no existe la dualidad sino la ineludible conexión entre ambos, y para ello el método etnográfico y el trabajo de campo son especialmente apropiados para comprender la realidad socio-natural.

Es importante señalar que la comprensión actual de las interacciones entre sociedad y naturaleza tiende a ser limitada debido a que las disciplinas científicas usan distintos vocabularios, así como modelos de gestión para describir y analizar los usos del suelo y los ecosistemas. Sin duda, hay mayor atención en estudiar los sistemas naturales, sin considerar las interacciones con los sistemas sociales. Por ello, se valoró el enfoque ecosistémico que se desarrolló con la finalidad de ofrecer una conceptualización teórica que ofrece una visión holística capaz de integrar las relaciones entre la sociedad humana y la naturaleza.

## La resiliencia

El concepto de resiliencia es un término complejo que se ha utilizado recientemente en ciencias sociales y ambientales, con un carácter y enfoque multidisciplinar. Sus acepciones originales se encuentran en la ingeniería y en la ecología, aunque con muchas diferencias significativas entre ellas. Desde la física de materiales, Holling (1973) ha definido la resiliencia como la propiedad de un material de absorber y almacenar una determinada cantidad de energía sin romperse, y recuperando su forma original. Esta definición se apoya en el concepto del equilibrio estático y remarca la cualidad de volver a un estado estable de antes de una perturbación, desde la base de un comportamiento lineal. En la ecología, el concepto, introducido por Holling (1978) durante la década de los años setenta, pretende entender la dinámica de una manera no lineal de los sistemas naturales, considerándolos parte de explicar el grado de perturbación que un ecosistema puede llegar a absorber y permanecer en el mismo estado, además de reconocer su capacidad de auto organización y, con ello, alcanzar una nueva situación de equilibrio.

Una de las contribuciones que es importante considerar es la del colectivo *Resilience Alliance*,<sup>1</sup> el cual señala que es urgente vincular y hablar de una resiliencia socioecológica, la cual considera explícitamente las interrelaciones entre aspectos sociales y ambientales (tradicionalmente estudiados de forma disciplinar), remarcando la capacidad de aprendizaje de los sistemas socioecológicos<sup>2</sup> para afrontar las condiciones adversas para aprender de las crisis pasadas y adaptarse a las nuevas circunstancias para con ello alcanzar nuevos estados de normalidad. La finalidad es adoptar un enfoque sistémico porque se centra en la comprensión de cómo reaccionan estos sistemas frente al cambio, con el fin de preparar a las poblaciones, las comunidades y a los diversos sectores a afrontar de mejor manera y buscar adaptarse a los impactos y cambios que se generan a largo plazo (Roca y Villares, 2014).

Sin duda, entendemos que la resiliencia socioecológica en los destinos turísticos poseen una característica propia como sistema compuesto por una matriz territorial, y donde la actividad turística desempeña un papel destacado

---

1 Más información en [www.resalliance.org](http://www.resalliance.org).

2 Podríamos definir un sistema *socioecológico* en la zona litoral como un complejo dinámico de relaciones entre comunidades vivas y su medio ambiente. Constituyen estructuras jerárquicas abiertas y complejas que se desarrollan en el tiempo y el espacio de forma *multiescalar* bajo condiciones de incertidumbre.

junto a otras actividades económicas, a las comunidades y las diversas formas de utilización o manejo de los recursos naturales como capitales a futuro. El tiempo y el clima son componentes integrales de éstos, junto a otras dinámicas económicas, sociales y culturales que impactan en las formas de relación, uso y abuso del capital natural y social de las ciudades costeras en Quintana Roo.

### El enfoque ecosistémico

Las áreas costeras favorecen la concentración de la población. Entre otras razones, por las facilidades del medio marino para ciertas actividades, como la pesca y el turismo (infraestructura y servicios). Diferentes autores e instituciones internacionales subrayan el proceso de concentración en las áreas costeras que provoca en los ecosistemas costeros marinos condiciones muy dinámicas y frágiles, además de graves deterioros. Pero éstos convertirse en importantes problemas y conflictos sociales (Barragán, 2014), que se traducen en la pérdida de importantes servicios ecosistémicos (UNEP, 2006, 2012).

Otro elemento a considerar es su amplia ecorregión con intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, donde ocurren un dinámico intercambio de energía y materiales entre el continente, las aguas dulces, la atmósfera y el mar adyacente; típico de esta región son la llanura (planicie) costera, cuenca baja de los ríos, humedales, manglares, dunas, lagunas costeras, estuarios y el océano adyacente.

El enfoque-ecosistémico en el manejo de lagunas costeras y estuarios (Day y Yáñez-Arancibia, 1982):

- Provee un marco de trabajo para la planificación y la toma de decisiones.
- Sitúa a la sociedad en el centro del manejo de la biodiversidad.
- Pone el acento en los beneficios funcionales que ofrece el ecosistema.
- Se centra en el manejo de la biodiversidad más allá de los límites de las áreas naturales protegidas.
- Reconoce las áreas protegidas como de vital importancia para la conservación.
- Establece que el enfoque es flexible con respecto a escalas espaciales y temporales.
- Confiere a la sociedad un papel importante en el manejo del suelo, del agua y los recursos extraíbles.
- Reconoce las ventajas económicas de un manejo racional y articulado.
- Considera que el manejo debe considerar los efectos reales y potenciales de las actividades de desarrollo en ecosistemas vecinos y que debe ser descentralizado al menor nivel de decisión posible (municipal).

Por tanto, el enfoque ecosistémico es de vital importancia para contender con el manejo-ecosistémico de lagunas costeras y estuarios con sus correspondientes planes de protección, mitigación y adaptación frente a los impactos que induce el cambio climático. El cambio climático y sus efectos sobre la zona costera está normado fuertemente por los procesos del manejo ecosistémico.

El enfoque ecosistémico es una estrategia para el manejo integrado de la tierra, el agua y los recursos vivos, promoviendo su conservación y uso sostenible de forma justa y equitativa, como se señala en el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), el cual comprende doce principios; se han efectuado varios intentos para clasificarlos, sea por orden de importancia o por tema, con el fin de buscar la mejor forma para su aplicación. Si bien estos esfuerzos son interesantes desde el punto de vista conceptual, se carece de asistencia práctica en la aplicación del enfoque ecosistémico en el campo. La Comisión de Manejo Ecosistémico (CME) de la UICN ha producido este documento con el fin de contribuir a llenar este vacío. Hemos agrupado en subconjuntos los principios del enfoque ecosistémico en una secuencia lógica que promueva la discusión, la planificación y la acción paso a paso. Está claro que ningún aspecto de un ecosistema puede verse aisladamente por mucho tiempo, y aquellos aspectos abordados al inicio de la secuencia descrita abajo debe ser revisada de manera regular.

El enfoque ecosistémico es una estrategia que busca un equilibrio entre los tres objetivos del Convenio de Diversidad Biológica:

- Conservación y uso sostenible.
- La distribución justa.
- Equidad de los beneficios obtenidos de los recursos genéticos.

No existe una manera única y correcta para aplicar el enfoque ecosistémico, los doce principios que conforman la base de este enfoque son flexibles y pueden adaptarse a diversos contextos sociales, económicos y ambientales.

Estos principios son los siguientes:

- La elección de los objetivos de la gestión de los recursos de tierras, hídricos y vivos debe quedar en manos de la sociedad.
- La gestión debe estar descentralizada al nivel apropiado más bajo.
- Los administradores de ecosistemas deben tener en cuenta los efectos (reales o posibles) de sus actividades en los ecosistemas adyacentes y en otros ecosistemas.
- Dados los posibles beneficios derivados de su gestión, es necesario comprender y gestionar el ecosistema en un contexto económico.

- A los fines de mantener los servicios de los ecosistemas, la conservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas debería ser un objetivo prioritario del enfoque por ecosistemas.
- Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento.
- El enfoque por ecosistemas debe aplicarse a las escalas especiales y temporales apropiadas.
- Se deben establecer objetivos a largo plazo en la gestión de los ecosistemas.
- En la gestión debe reconocerse que el cambio es inevitable.
- En el enfoque por ecosistemas se debe procurar el equilibrio apropiado entre la conservación y la utilización de la diversidad biológica, y su integración.
- Se debe tomar en cuenta todas las formas de información, incluidos los conocimientos, las innovaciones y las prácticas de las comunidades científicas, indígenas y locales.
- Deben intervenir todos los sectores de la sociedad y las disciplinas científicas pertinentes.

El enfoque ecosistémico constituye un marco para el análisis amplio. Bajo estas consideraciones concurren las dimensiones social, económica y ambiental que facilitan una mayor aproximación a lo real concreto contemporáneo que está ocurriendo en el ecosistema, así como la proyección de acciones futuras, necesarias, a fin de encauzar su sostenibilidad. Este enfoque tiene como parte esencial al hombre en su interacción con la naturaleza y al hombre en su propio desarrollo; de ahí su valor, a los efectos de la concurrencia de las dimensiones social, económica y ambiental.

### Las ciudades turísticas

En el contexto actual, en el cual la globalización económica y los desplazamientos internacionales aumentan de forma imparable y donde la circulación de ideas y conocimiento son tan dinámicos y tienen inmediatez, el *marketing* turístico, y más concretamente el *marketing* de ciudad turística, adquiere una gran importancia como potenciador del crecimiento económico de los destinos y las ciudades.

Las ciudades turísticas se originaron con un patrón de ocio vinculado y conectado con el sol y la playa, que le imprimieron una diferencia en un primer momento, pero no ha sido suficiente para determinar sus cualidades que favo-

rezcan el interés en los ojos de los otros, para determinar su necesidad o gusto por realizar una estancia. La distinción se marca a través de muchas cualidades que se crean a lo largo de su consolidación como centro turístico competitivo.

Frente a otras que ofrecen en origen lo mismo, las ciudades locales deben convertir el espacio social y territorial en una fuente de esas opciones que generen experiencias únicas y repetibles. Sin duda, el turismo es uno de los factores que, en la actualidad, ejerce mayor influencia sobre el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial de una ciudad.

El fenómeno del turismo permite vislumbrar otros aspectos que competen a las ciudades. En este sentido, Castells (1997) destaca que “la estructura de la economía global la produce la dinámica de la competencia”.

Asimismo, Benko (2000) coincide en que la mundialización trajo aparejado el incremento de la competencia, principalmente en las décadas de 1980 y 1990, lo cual, sumado a la necesidad de darle valor a lo local, junto con las posibilidades otorgadas por las nuevas herramientas de la comunicación y el *marketing*, derivó en un proceso de incremento en el desarrollo del *marketing* urbano para afrontar a la competencia entre ciudades, a escala nacional e internacional.

Las ciudades están inmersas en esta lógica que las empuja a posicionarse en el mercado mundial como centros de negocios, de turismo, de cultura y de innovación. Sin embargo, no es suficiente la dinámica si no atendemos las experiencias que dejan huella, a veces que no pueden desaparecer, pero que nos permiten no olvidar para no repetir, sobre todo en términos del aprovechamiento de recursos naturales.

La mercantilización de la ciudad turística que, al ingreso de mercancías (servicios) entra en la lógica de la competencia por una porción del mercado. Así, la conformación de este o aquel producto implica, a su vez, la adopción de estrategias de *marketing* para construir una marca de ciudad que resulte atractiva y esté basada en ciertos rasgos de identidad. Esta identidad, en paralelo con las estrategias de venta hacia el exterior, también demanda las mismas estrategias para el interior. El *marketing* urbano-turístico se dirige, entonces, a dos grandes públicos como objetivo, uno interno, el habitante de la ciudad, y otro externo, el proveniente de otras ciudades, el turista potencial.

Si bien, como plantean Francisco Paniagua Rojano y Elena Blanco Castilla (2007), “el objetivo principal del *marketing* de ciudades es crear y difundir una figura positiva de ésta, sobre la base de un sólido anclaje en su identidad y en la realidad presente” (Paniagua y Blanco, 2007: 36), los aspectos históricos y

las proyecciones al futuro son herramientas estratégicas fundamentales en la elaboración de la figura o marca ciudad, como se verá en el estudio de caso.

La competencia en la que en la actualidad las ciudades turísticas se ven inmersas, plantea paradojas con consecuencias sobre la vida urbana. Por un lado, se les exige el mercadeo de productos nuevos, innovadores y exclusivos; y, por el otro, se crea la necesidad de espacios monumentales e históricos, que sean propios y permitan distinguir a determinada ciudad de las demás. Al mismo tiempo, se debe evitar lo extraño, propiciando al visitante lugares comunes, donde se compagine la experiencia del turista con la de los habitantes del lugar. De esta manera, las ciudades se constituyen en una urdimbre de cadenas comerciales, marcas internacionales y paisajes replicados, cediendo porciones de la identidad en favor de la moda y de los modelos ideales. Así, la ciudad se va conformando con fragmentos de no lugares, como los define Marc Augé (2007).

## Conclusiones

El enfoque ecosistémico debe ser vista como una estrategia para la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos y para mantener o restaurar los sistemas naturales, sus funciones y valores, de tal manera que se promueva la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas, de forma justa y equitativa, participativa y descentralizada, mediante la integración de los factores ecológicos, económicos, culturales y sociales dentro de un marco geográfico definido principalmente por límites ecológicos.

Es importante observar que el enfoque ecosistémico reconoce que los ecosistemas naturales y transformados son sistemas complejos cuyo funcionamiento y capacidad de respuesta ante perturbaciones dependen de las relaciones dinámicas entre especies, y entre éstas y el medio ambiente, la sociedad y su cultura.

Queda claro que se parte del reconocimiento que el ser humano y su cultura son parte integral de los ecosistemas y, por tanto, los objetivos de la gestión ambiental son de naturaleza eminentemente social.

Las políticas de turismo condicionan el desarrollo urbano y el ordenamiento territorial. En el caso analizado se ha comprobado que esto es así. Sin embargo, las políticas de desarrollo no han favorecido a la distribución, la equidad y al acceso de los recursos que se generan por la misma actividad. La experiencia de los residentes en las diversas ciudades ha propiciado estilos de vida diferen-

ciados y con marcadas formas en el uso del territorio, el ordenamiento y, en particular, los límites que se deben incluirse en una política abierta y socializada para no continuar generando experiencias que marcan a futuro el uso de los recursos naturales.

Las sociedades locales están contenidas en espacios urbanos con diversas formas y modos de vida. El buen vivir es el personaje ausente en muchos de los casos. Los márgenes de las ciudades dan muestra de la vulnerabilidad constante en la que se encuentran muchos de los ciudadanos, y cada día arriban más.

La socialización permanente sobre los riesgos por el agua debe estar como programa en las escuelas y en los empleos, para que, a partir de estas instancias, se dé a conocer lo que se tiene como experiencia vivida en el Caribe mexicano.

Sin duda, el concepto ecosistémico, y toda la perspectiva teórica que lo acompaña, constituyen un marco analítico muy apropiado para estudiar las ciudades turísticas y su articulación entre el medio social y el ambiental.

## Referencias

- AUGÉ, M. (2007), *Los no lugares. Espacios del anonimato*, Gedisa, Argentina.
- BARRAGÁN, J. M. (2014), *Política, gestión y litoral. Una nueva visión de la gestión integrada de áreas litorales*, UNESCO, Tébar, Madrid.
- BENKO, G. (2000), *Estrategias de comunicación y marketing urbano*, Eure, Santiago, 26(79), pp. 67-76, en <<https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612000007900004>>.
- CASTELLS, M. (1997), *La era de la información. Economía, sociedad y cultura*, Vol. 1. Alianza Editorial, España.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. y Day Jr., J. W (1982), "Ecological Characterization of Términos Lagoon, A Tropical Lagoon-Estuarine System in the Southern Gulf of Mexico", en P. Lasserre y H. Postma (eds.), *Coastal Lagoons. Oceanologica Acta*, Vol. Spec., 5, pp. 431-440.
- HOLLING, C. S. (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems", en *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4, pp. 1-23 en <<https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>>.
- HOLLING, C. S. (ed.) (1978), *Adaptive Environmental Assessment and Management*, John Wiley y Sons, London.

- PANIAGUA, F., y BLANCO CASTILLA, E. (3-12-2007), *Presente y futuro de la comunicación estratégica en la ciudad*, FISEC, Estrategias, Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Año III, N° 8, Vol. 4, pp. 27-49.
- UNEP (2006), *Marine and Coastal Ecosystems and Human Wellbeing: A Synthesis Report Based on the Findings of the Millennium Ecosystem Assessment*, UNEP, Nairobi, Kenia.
- UNEP (2012), *GEO-5, Global Environment Outlook. Environment for the Future We Want*, Valletta, Malta. PNUMA, Nairobi, Kenia.
- ROCA, E., y VILLARES, M (2014), “Reforzar la resiliencia socioecológica de los destinos turísticos: el caso de la Badia de Roses (Costa Brava)”, en *ACE: Architecture, City and Environment Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 9 (25): pp. 493-524.



# Identificación de áreas susceptibles al deslizamiento de laderas en la zona centro-sur del estado de Guerrero: aplicación de un modelo heurístico

Rocío N. Ramos-Bernal, René Vázquez-Jiménez  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO  
Raúl Romero-Calcerrada, Silvia Martín Velázquez  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS

## Introducción

Los deslizamientos de laderas son uno de los fenómenos de gran impacto y dimensiones espaciales que afectan tanto los sistemas sociales como los naturales y los acoplados. En los últimos años, se observa un incremento en los deslizamientos de laderas, los cuales suelen distribuirse espacialmente en zonas con mayor susceptibilidad a fenómenos hidrometeorológicos (Larsen, Torres-Sánchez, 1998, Guthrie, Evans, 2004, Remondo *et al*, 2005). En consecuencia, las poblaciones asentadas en estas regiones de costa y montaña son las más vulnerables ante este tipo de riesgos.

Esta situación problemática mundial ha despertado el interés de gobiernos y académicos. Se han realizado importantes esfuerzos orientados para caracterizar e identificar las zonas que tienen el potencial de sufrir deslizamientos, por medio de estudios y diseño de modelos de susceptibilidad. En estos trabajos, bajo un enfoque territorial, se analizaron los factores relacionados con los procesos de inestabilidad y su distribución espacial de los propios factores y de los deslizamientos de ladera registrados. Por ello, la aplicación de técnicas

de percepción remota y la integración de Sistemas de Información Geográfica desempeñan un rol protagónico en los numerosos estudios en que se aplicaron métodos estadísticos o semiestadísticos para el modelado y generación de cartografía de susceptibilidad a deslizamientos (Poiraud, 2014).

En las últimas décadas se han desarrollado métodos probabilísticos para predecir, modelar, evaluar y generar cartografía del peligro de deslizamientos de laderas en diferentes partes del mundo. Van Westen *et al* (1997) propusieron tres niveles de escala en mapas de riesgos: *a*) el enfoque heurístico cualitativo con mapas de reconocimiento por experiencia y a pequeña escala (1:100,000-1:250,000); *b*) el enfoque estadístico para determinar los factores causales en el mapeo de susceptibilidad cuantitativa (escala 1:25,000-1:50,000); y *c*) el enfoque determinístico para estudios detallados a gran escala (1:2,000-1:10,000).

La literatura sobre la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos es muy amplia. Sin embargo, en el presente estudio nos focalizamos en los métodos heurísticos. Este tipo de métodos toma en cuenta la relación entre la ubicación de deslizamientos presentados con anterioridad y los entornos geomorfológicos y geológicos (Anbalagan, Singh, 1996, Ayalew *et al*, 2004, Wati, Hastuti *et al*, 2010, Bijukchhen *et al*, 2013). Estos métodos dependen en gran medida del criterio del experto, quien determina los factores que influyen a la inestabilidad (Carrara *et al*, 1995). Cada factor se pondera de acuerdo con su influencia en la generación de un deslizamiento. A partir de estos métodos, se obtiene un mapa final, al superponer las capas temáticas relativas a cada factor. A continuación, se muestran algunos de los procedimientos para obtener la estimación de susceptibilidad de la litología en función de la pendiente (método de pendiente crítica (Irigaray, 1990; 1995). La pendiente crítica de cada unidad litológica se obtiene mediante la relación del incremento del porcentaje ocupado por la superficie de ruptura de la clase de pendiente inmediata inferior, entre el incremento de pendiente de ambas clases.

- *Cálculo de la densidad de deslizamientos.* Algunos autores han asignado un peso a los factores, mediante la diferencia respecto de la densidad total y sumando finalmente las densidades pesadas, y tienen en cuenta distintos tipos de deslizamientos y estados de actividad (Van Westen, 1992; 1993). En cambio, otros autores calcularon la densidad de los deslizamientos para cada clase de cada factor, con lo cual obtienen un índice de susceptibilidad mediante la acumulación ponderada de los índices individuales correspondientes a cada uno de los factores considerados en su estudio (Sarkar *et al*, 1995).

- *Aplicación de técnicas de indexación.* Los factores condicionantes se combinan empleando técnicas de evaluación multicriterio y se contrastan con métodos directos en los que se realiza una cartografía geomorfológica muy detallada utilizando polígonos específicamente codificados que son evaluados uno a uno por expertos para valorar el tipo y el grado de riesgo (Barredo *et al*, 2000). La susceptibilidad al deslizamiento se puede obtener mediante la suma lineal ponderada de pesos de factores y clases para la asignación del peso correspondiente a cada factor condicionante, siguiendo un método de jerarquías analíticas (Hervás, Barredo, 2001; Hervás *et al*, 2002). En este caso, se crea una matriz con los juicios de valor relativos entre pares de factores condicionantes de la inestabilidad.
- *Combinación lineal de peso para determinar diversas clases de los parámetros de control (litología, pendiente, orientación del terreno, elevación, curvatura de perfil y curvatura plana)* (Ayalew *et al*, 2004). En este método se considera el orden de importancia en el proceso de deslizamientos y se pondera el impacto de un parámetro frente a otro.
- *Puntuación ponderada de cada parámetro que interviene en el proceso de ocurrencia del deslizamiento* (Wati *et al*, 2010). La asignación de los pesos correspondientes a los factores está asistida por un *software* —dichos autores utilizaron concretamente *Integrated Land and Water Information System*—, y cuanto mayor sea el peso y la puntuación, mayor será la influencia de ese parámetro para detonar el deslizamiento.

Los modelos heurísticos mencionados arrojan buenos resultados acerca del mapeo de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas mediante la aplicación de las técnicas de indexación. En cada caso se puede apreciar la importancia de los factores explicativos de la susceptibilidad, así como el tratamiento y procesos a los que son sometidos. Por otro lado, las características de las zonas sobre las cuales se aplicaron dichos métodos muestran ciertas similitudes en algunos casos.

Con estos antecedentes, el presente trabajo consiste en el diseño, la implementación y el análisis de un modelo heurístico que permita caracterizar las zonas susceptibles a sufrir deslizamiento de laderas en el futuro en la zona Centro Sur del estado de Guerrero.

## Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en la región centro sur del estado de Guerrero con una superficie de 3,300 kilómetros cuadrados y cubre parcialmente siete municipios: General Heliodoro Castillo, Leonardo Bravo, Eduardo Neri, Chilpancingo de los Bravo, Atoyac de Álvarez, Coyuca de Benítez y Acapulco de Juárez (Gobierno del Estado de Guerrero, 2013). En ella se encuentran distribuidas 187 localidades que albergan 15,230 viviendas con 59,098 habitantes, en tanto que 182 localidades se consideran rurales al contar con menos de 2,500 habitantes (INEGI, 2011) (figura 1).

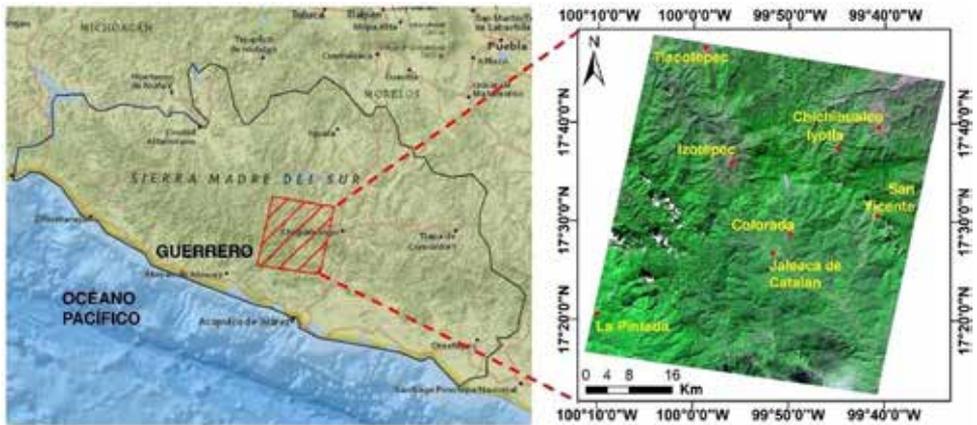


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Fuente: figura ASTER (diciembre de 2013).

El área de estudio comprende una zona montañosa con elevaciones que van desde 280 hasta 3,540 metros sobre el nivel medio del mar; en 2013 se registró una temperatura máxima promedio de 28.3°C en mayo y un mínimo de 14.3°C en diciembre. Para 2013 el rango de precipitación osciló entre un promedio máximo de 2,100 milímetros y un promedio mínimo de 800 milímetros, entre junio y septiembre (INEGI, 2013).

Respecto de la geología, el área de estudio se localiza fisiográficamente en la Sierra Madre del Sur y la subprovincia de la Cuenca Balsas-Mezcala (Raisz, 1964). Se encuentra dentro de los terrenos tectonoestratigráficos de Xolapa, Guerrero y la plataforma Guerrero-Morelos (SGM, 2018).

Los tipos de suelo son acrisol, andosol, cambisol, litosol, luvisol y regosol, los cuales presentan los subtipos órtico, húmico, cálcico, dístrico, crómico y

eútrico asociados a litosoles, andosoles ócricos y húmicos, regosoles calcáricos y eútricos, acrisol húmico, rendzinas, cambisoles crómicos y eútricos, vertisol pélico, luvisol órtico y feozem háplico. Se presentan a poca profundidad y débil desarrollo; se encuentran en fase lítica, lítica profunda, pedregosa y gravosa, y son de susceptibilidad media a la erosión hídrica. En las planicies costeras se observan horizontes más profundos con textura gruesa y se caracterizan por sufrir colapsos (INEGI, 2016).

Las cifras oficiales de uso de suelo y vegetación del INEGI indican que la zona de estudio tiene una distribución de ocupación y uso del suelo de 74.8 por ciento de bosque (conífero, mesófilo y mixto), 14.1 por ciento de selva baja caducifolia, 7.8 por ciento de uso agropecuario, 3.2 por ciento de vegetación inducida, 0.1 por ciento de asentamientos humanos y zonas urbanas (INEGI 2015).

## Metodología

La metodología desarrollada está representada en la esquematización de la figura 2.

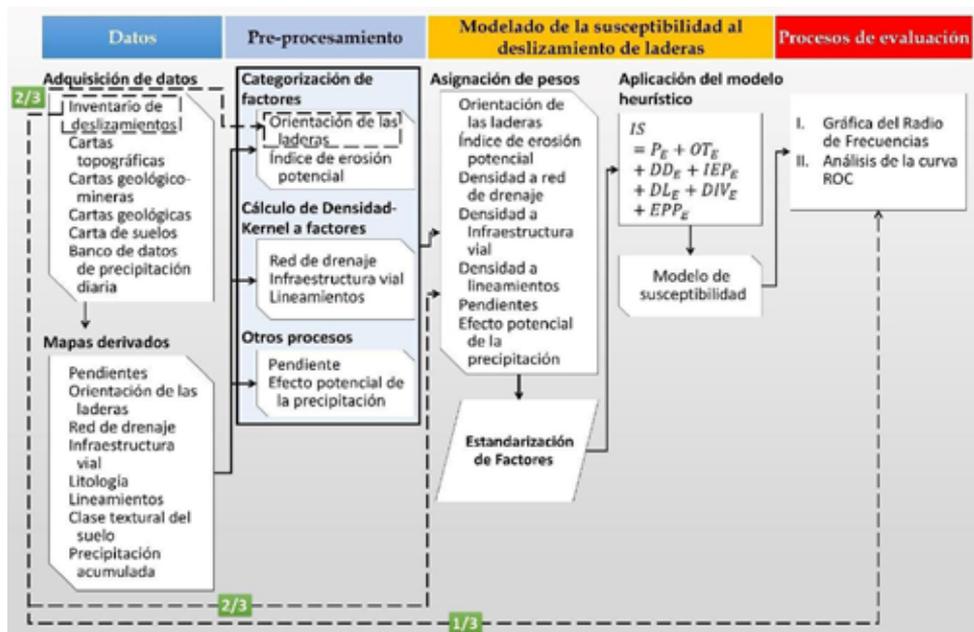


Figura 2. Esquema general de la metodología.

Como puede verse, la propuesta consta de cuatro etapas.

1. *Datos*. Consiste en la integración de un inventario de deslizamientos, la adquisición de datos primarios y la generación de mapas derivados de ellos.

2. *Preprocesamiento*. En esta etapa se aplican procesos adicionales a la información derivada, como la categorización de mapas con datos continuos, la generación de mapas de densidad de Kernel o la combinación de mapas con información relacionada. Dentro de esta etapa se realizó una categorización de los factores explicativos de la susceptibilidad y se le asignó un peso.

3. *Modelado de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas*. En esta etapa, el modelo propuesto se implementa para construir el mapa de susceptibilidad a deslizamientos.

4. *Evaluación de precisión*. En esta etapa, se evalúa el mapa generado.

Cada una de estas etapas se explica en detalle a continuación.

### Inventario de deslizamientos

Fue integrado un inventario de deslizamientos de laderas a partir de la aplicación de técnicas de detección de cambios, por métodos no supervisados, a productos derivados de dos imágenes: ASTER nivel AST\_L1T (Path 26, Row 48) del *World Reference System* (WRS-2), obtenidas del sitio *web* del Servicio Geológico de Estados Unidos (figura 3) (Ramos-Bernal *et al*, 2018).

El inventario obtenido está conformado por 216,174 píxeles (48,639.15 kilómetros cuadrados) que representan las zonas de deslizamientos ocasionados en septiembre de 2013 por las intensas lluvias de los huracanes *Ingrid* y *Manuel*. Como consecuencia de los deslizamientos, se registraron setenta decesos, 40,379 damnificados y aproximadamente 1,335 viviendas dañadas (Ramos Bernal, 2018).

La información del inventario se complementó con un número igual de píxeles (216,174) seleccionados aleatoriamente del inventario que fueron identificados como Zonas de No-deslizamientos. El inventario fue utilizado en las etapas de generación (dos tercios del inventario) y validación (un tercio) del modelo de susceptibilidad al deslizamiento.

### Factores explicativos

En el desarrollo del presente trabajo, la cantidad y el tipo de factores analizados fue resultado de un proceso de selección en función de las características de los

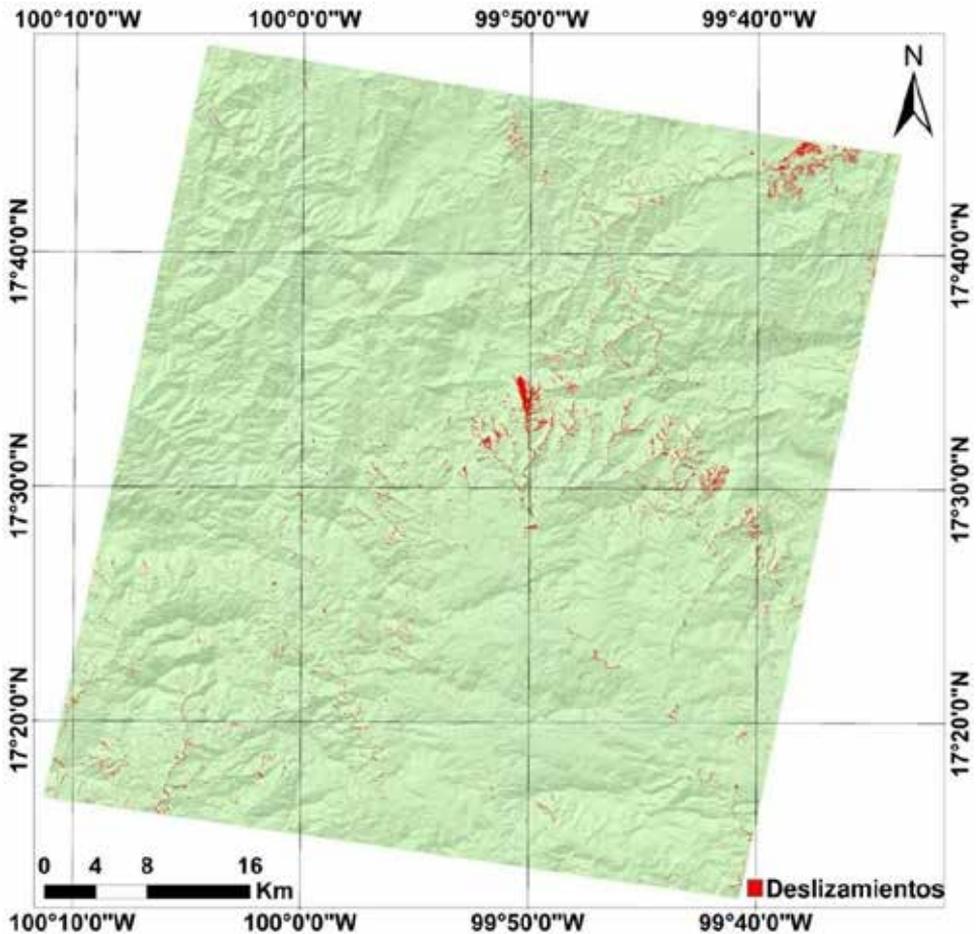


Figura 3. Inventario de deslizamientos de laderas, obtenido por medio de aplicación de métodos no supervisados.

factores y las características particulares de la zona de estudio. Por ello resulta importante recalcar que los factores explicativos considerados dependen de las características particulares de la zona de estudio y de la disponibilidad de información correspondiente. A continuación, se describen estos factores, así como los procesos aplicados para su integración.

A partir de la información vectorial de cartas topográficas escala 1:50000, que cubren la zona de estudio, fue generado un Modelo Digital de Elevación con resolución espacial de 15 metros. Adicionalmente se generaron mapas de pendiente angular, orientación del terreno, red de drenaje e infraestructura vial

para ser utilizados como factores en la etapa de generación de cartografía de susceptibilidad.

Se obtuvo un mapa de litología a partir de cartas geológico-mineras escala 1:50000, mientras que el mapa de lineamientos se generó a partir de las cartas geológicas escala 1:250000.

Se obtuvo un mapa de clase textural, a partir de información contenida en la carta de suelos del estado de Guerrero, y un mapa de precipitación acumulada, del banco de datos de la precipitación diaria durante el periodo de enero a septiembre de 2013 obtenidos de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro o cerca de la zona de estudio. Con los datos de precipitación acumulada, clase textural y pendientes se generó un producto adicional combinado al que se denominó Mapa de Efecto Potencial de Precipitación.

De acuerdo con el tipo de información contenida en cada factor, se efectuó un procesamiento adicional a los factores de litología, red de drenaje, infraestructura vial y lineamientos. Para el caso de la litología, se definió un grado de susceptibilidad de cada unidad litológica. El mapa fue categorizado de acuerdo con Aramburu Maqua y Escribano Bombín (2006), quienes se refieren al grado de cohesión, erosión potencial y comportamiento mecánico de cada tipo de roca. En este sentido, se determinó utilizar el Índice de Erosión Potencial (IEP), ya que éste se refiere a la erosión por escorrentía superficial por factores hidrológicos, considerado en este estudio como el principal detonante de deslizamientos. Con base en el análisis del contenido litológico de las rocas presentes en el área, se definieron cinco clases que indican el grado de susceptibilidad de acuerdo con la erosión potencial del tipo de roca. Según la categorización basada en el IEP (Aramburu Maqua y Escribano Bombín, 2006) y los tipos de roca identificados, fueron determinadas cuatro clases de susceptibilidad en la zona: 1. muy baja, 2. baja, 3. media y 5. muy alta.

En cuanto a los mapas de red de drenaje, infraestructura vial y lineamientos, se consideró su densidad, ya que si un punto en el espacio próximo a un “elemento” (escurrimiento, carretera o lineamiento) tiene un cierto grado de susceptibilidad, ésta debería ser mayor si el mismo punto se encuentra cerca de dos o más elementos; por tanto, un mapa de densidades estaría representando las zonas más susceptibles a deslizarse según su posición con respecto a uno o más elementos.

A partir de cada mapa (red de drenaje, infraestructura vial y lineamientos), fueron generados los mapas de densidades por el estimador de Kernel, el cual calcula una magnitud de influencia de los “elementos” por unidad de área en

función de la vecindad de los píxeles, sin necesidad de especificar un límite del radio de influencia, puesto que éste se determina de manera automática en función de la distribución de los elementos a analizar. Conceptualmente se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada “elemento”; el valor de densidad Kernel es mayor sobre la línea y disminuye a medida que los píxeles están más alejados del rasgo, pudiendo alcanzar cero. Para calcular la densidad de cada píxel se agregan los valores de todas las superficies Kernel superpuestas (Silverman, 1986).

Posteriormente, los mapas de pendientes, orientación del terreno, densidad a red de drenaje, densidad a infraestructura vial, densidad a lineamientos y efecto potencial de la precipitación, fueron clasificados como se describe (tabla 1, figura 4):

- El mapa de pendientes fue clasificado definiendo once clases con incrementos de 5°, excepto para la primera que incluye sólo pendientes de 0° y la última clase que incluye pendientes de 45° en adelante, considerando que el efecto sobre la susceptibilidad al deslizamiento es el mismo.
- El mapa de orientación del terreno fue clasificado de acuerdo con Rawat *et al.* (2015). En total se definieron nueve clases.
- Los mapas de densidades a red de drenaje, infraestructura vial y lineamientos, así como el efecto potencial de la precipitación se les aplicó una clasificación en cinco categorías por el método *Natural Breaks* (Jenks, Caspall, 1971).
- El mapa del índice de erosión potencial no requirió del proceso de clasificación.

Tabla 1. Clasificación de los factores explicativos de la susceptibilidad

<b>Factor</b>	<b>No. de clase</b>	<b>Rango</b>
Pendientes angulares (°)	1	0
	2	0 – 5
	3	5 – 10
	4	10 – 15
	5	15 – 20
	6	20 – 25
	7	25 – 30
	8	30 – 35
	9	35 – 40
	10	40 – 45
	11	≥ 45
Orientación del terreno (°)		
Zonas planas	1	-1
Norte	2	337.5 – 22.5
Noreste	3	22.5 – 67.5
Este	4	67.5 – 112.5
Sureste	5	112.5 – 157.5
Sur	6	157.5 – 202.5
Suroeste	7	202.5 – 247.5
Oeste	8	247.5 – 292.5
Noroeste	9	292.5 – 337.5
Densidad a red de drenaje (km <sup>2</sup> )		
	1	≤ 58.459
	2	58.459 – 134.906
	3	134.906 – 208.521
	4	208.521 – 283.553
	5	> 283.553
Densidad a infraestructura vial (km <sup>2</sup> )		
	1	≤ 0.189
	2	0.189 – 0.491
	3	0.491 – 0.801
	4	0.801 – 1.180
	5	> 1.180
Densidad a lineamientos (km <sup>2</sup> )		
	1	≤ 0.240
	2	0.240 – 0.379
	3	0.379 – 0.511
	4	0.511 – 0.658
	5	> 0.658
Efecto potencial de la precipitación		
	1	≤ 40751.580
	2	40751.580 – 89144.082
	3	89144.082 – 152818.426
	4	152818.426 – 239415.535
	5	> 239415.535
Índice de erosión potencial		
	1	Muy baja
	2	Baja
	3	Media
	5	Muy alta

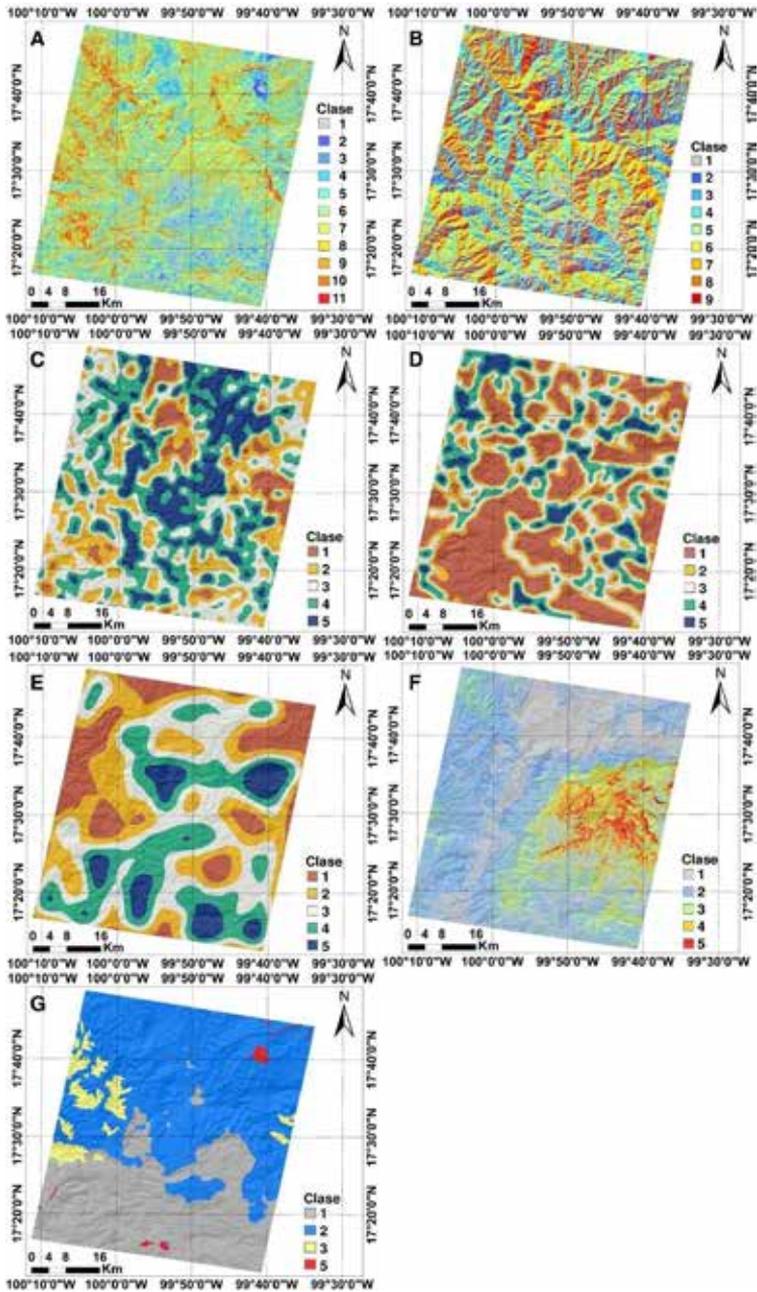


Figura 4. Factores explicativos de la susceptibilidad de las laderas en la zona Centro Sur del estado de Guerrero: *A)* Pendientes angulares, *B)* Orientación del terreno, *C)* Densidad a la red de drenaje, *D)* Densidad a infraestructura vial, *E)* Densidad a lineamientos, *F)* Efecto potencial de la precipitación y *G)* Índice de erosión potencial.

## Método heurístico

El modelo heurístico consiste en la integración de un índice global de susceptibilidad calculado a partir de la aportación individual de los factores considerados. Para tal fin se desarrollaron tres etapas que se describen a continuación.

### Asignación de pesos

La asignación de pesos consiste en un procedimiento en el que los factores categorizados (tabla 1, figura 4) fueron comparados con  $2/3$  (144,116 píxeles) del total de la verdad terreno, o sea, únicamente las zonas que presentaron deslizamientos. Con ello, se asignó un peso para cada clase en función de su influencia relativa en la inestabilidad de las laderas mediante la siguiente ecuación (Van Westen *et al*, 1997; Yalcin, 2008):

$$W_{i_n} = \frac{\frac{Npx(S_i)}{Npx(N_i)}}{\frac{\sum Npx(S_i)}{\sum Npx(N_i)}}$$

$W_{i_n}$ : Peso asignado a cada clase de factor.

$(S_i)$ : Número de píxeles, que contienen deslizamientos en cada factor.

$(N_i)$ : Número de píxeles totales de una cierta clase.

Con la asignación de pesos a cada una de las clases de los factores, éstas fueron recategorizadas de acuerdo con su peso de menor a mayor.

## Estandarización de los factores

Cada uno de los factores considerados reportan valores categóricos, cuyo rango está en función del número de clases; por ello, se aplicó un proceso de estandarización con el cual se asignaron valores de aportación individual al modelo de susceptibilidad, calculados entre 0 (nula aportación) y 1 (máxima aportación); y, así, evaluar la aportación correspondiente en el índice de susceptibilidad acumulado global. De esta manera, todos los factores tendrán un mismo peso en el modelo.

La estandarización se realizó de acuerdo con el tipo de información de cada factor; así, por ejemplo, para el factor IEP representado con un mapa temático con cinco categorías de aportación a la susceptibilidad (1. muy baja, 2. baja, 3. media, 4. alta y 5. muy alta); el valor estandarizado se calculó encontrando la relación de cada pixel respecto al valor que corresponde a la categoría más alta, lo que da como resultado el factor IEP con valores entre 0 y 1.

Todos los modelos de estandarización fueron hechos con el *software Dinamica EGO* (Soares-Filho *et al*, 2009, CSR-UFMG 2016).

### Cálculo del Índice de susceptibilidad al deslizamiento de laderas

El valor final del Índice de Susceptibilidad estará conformado por la acumulación de la aportación individual de cada uno de los factores considerados (Recondo *et al*, 2000; Ramos Bernal, 2018):

$$IS = P_E + OT_E + DD_E + IEP_E + DL_E + DIV_E + EPP_E \quad (2)$$

Donde:

$IS$ : Índice de susceptibilidad.

$P_E$ : Pendiente estandarizada.

$OT_E$ : Orientación de laderas estandarizada.

$DD_E$ : Densidad a red de drenaje estandarizada.

$IEP_E$ : Índice de erosión potencial estandarizado.

$DL_E$ : Densidad a lineamientos estandarizada.

$DIV_E$ : Densidad a infraestructura vial estandarizada.

$EPP_E$ : Efecto potencial de la precipitación estandarizado.

Bajo la premisa de que cada uno de los factores considerados aporta un grado de susceptibilidad con valores estandarizados que van desde 0 (nulo) hasta 1 (alto), el mapa final obtenido representa el índice global de susceptibilidad al deslizamiento de laderas de la zona analizada según los factores considerados.

El modelo de susceptibilidad obtenido reporta valores continuos por lo que se le aplicó un proceso de clasificación en cinco categorías de susceptibilidad al deslizamiento en: 1. muy baja, 2. baja, 3. media, 4. alta y 5. muy alta; para ello se distribuyó el número total de pixeles que comprende la zona de estudio en cinco partes iguales.

### Evaluación de la precisión del modelo de susceptibilidad

La precisión en la cartografía de susceptibilidad se refiere al grado de concordancia entre la predicción de zonas susceptibles a deslizamientos por los métodos aplicados y la ubicación real de estos según la información considerada como datos de referencia o verdad terreno en el inventario de deslizamientos.

Para evaluar la capacidad de predicción del modelo, se utilizó la información del modelo categorizado en cinco clases: 1. muy baja, 2. baja, 3. media, 4. alta y 5. muy alta, y el inventario de deslizamientos que contiene dos categorías: 0. No deslizamientos y 1. Deslizamiento; y se aplicaron los siguientes métodos:

#### Gráfica del Radio de Frecuencia (GRF)

Se graficó el radio de frecuencia, para lo cual los pixeles deslizados tomados de la muestra del inventario reservados para validación, fueron superpuestos sobre los mapas de susceptibilidad a deslizamientos resultantes de cada uno de los métodos aplicados, identificando y cuantificando la frecuencia de coincidencia de pixeles deslizados para cada una de las clases temáticas de los mapas (muy baja, baja, media, alta y muy alta) (Pourghasemi *et al*, 2012b). En un mapa ideal de susceptibilidad a deslizamientos, el valor de la frecuencia debe incrementarse de una zona de susceptibilidad baja a una muy alta (Pradhan, Lee 2010a; Pourghasemi *et al*, 2012c).

#### *Análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic)*

Es un método común para evaluar la precisión de una prueba de diagnóstico (Egan, 1975). La curva ROC es una representación gráfica comparativa de pares

ordenados entre las tasas de falsos-negativos y falsos-positivos resultantes en un diagnóstico para clases de valores. De manera convencional, el gráfico muestra la tasa de los píxeles diagnosticados como falsos-positivos (*False-Positive Rate* o FPR) en el eje de las X, ecuación (3) y la tasa de los píxeles diagnosticados como verdaderos positivos (*True-Positive Rate* o TPR) en el eje de las Y, ecuación (4).

$$X = FRP = 1 - \left[ \frac{TN}{TN+FP} \right] \quad (3)$$

$$Y = TRP = 1 - \left[ \frac{TP}{TP+FN} \right] \quad (4)$$

Donde:

*TN* Representa los píxeles Verdaderos Negativos.

*FP* Representa los píxeles Falsos Positivos.

*TP* Representa los píxeles Verdaderos Positivos.

*FN* Representa los píxeles Falsos Negativos.

El área bajo la curva ROC (AUC) caracteriza la calidad del sistema pronosticado al describir su capacidad para anticipar la ocurrencia o No ocurrencia de eventos predefinidos. El valor del AUC varía de 0.5 a 1.0 y el mejor método refleja una curva con un AUC más grande. Si un modelo no predice deslizamientos de mejor manera que al azar, entonces el AUC sería igual a un valor de 0.5, mientras que una curva ROC con valor de 1 representa la predicción perfecta. La relación cuantitativa-cualitativa entre el AUC y la precisión de la predicción se puede clasificar como sigue: valores de 0.9 a 1, excelente; de 0.8 a 0.9, muy bueno; de 0.7 a 0.8, bueno; de 0.6 a 0.7, medio; y finalmente de 0.5 a 0.6, pobre (Yesilnacar, 2005).

En la aplicación de los métodos de evaluación de la precisión se utilizó  $\frac{1}{3}$  del total de píxeles identificados como Deslizamientos en el inventario (72,058 píxeles), los cuales fueron omitidos de la etapa de generación del modelo de susceptibilidad. Esta información se complementó con un número igual de píxeles seleccionados aleatoriamente del inventario identificados como No-deslizamientos.

## Resultados

### *Modelo de susceptibilidad*

La aplicación del modelo global dio como resultado el mapa de susceptibilidad al deslizamiento de laderas que se muestra a continuación (figura 5).

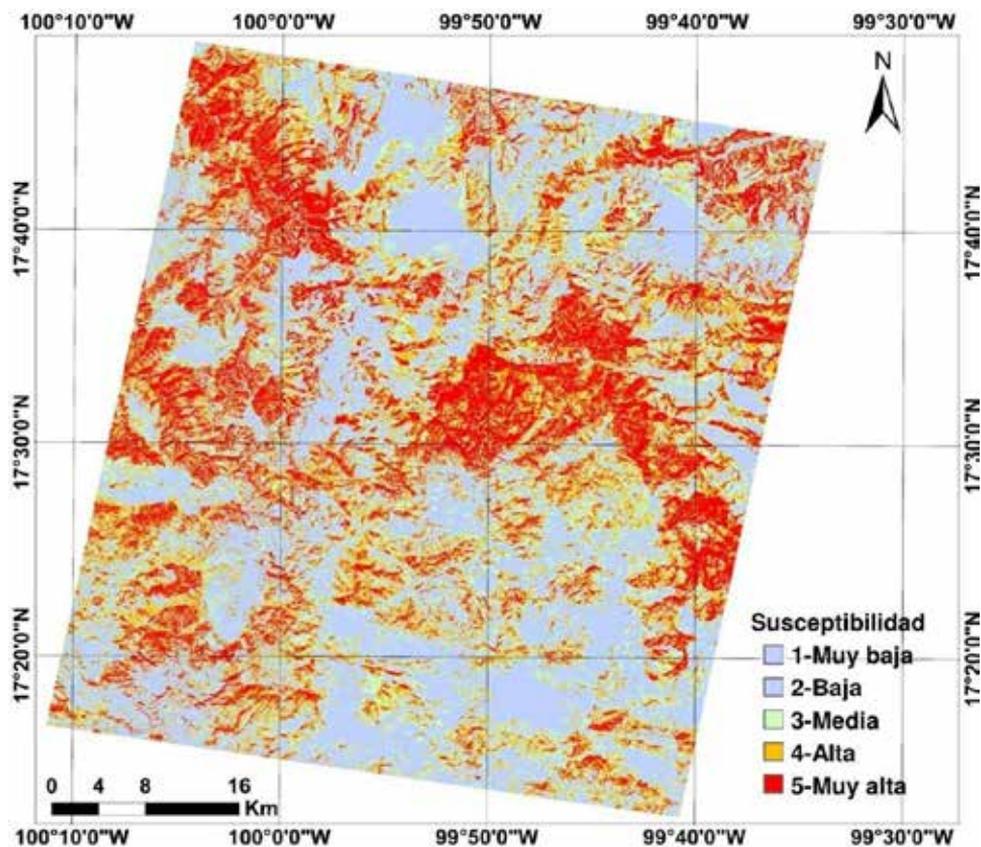


Figura 5. Índice de susceptibilidad.

El mapa resultante está representado en la figura anterior categorizado en cinco clases, de forma que se pueden apreciar en tono azul las zonas identificadas como 1. muy baja y 2. baja susceptibilidad; en tono verde se encuentran las zonas con la categoría 3. media y en naranja y rojo las zonas evaluadas con las categorías 4. alta y 5. muy alta susceptibilidad.

Puede apreciarse de manera general una concentración de áreas con los grados de susceptibilidad más altos en las zonas superior izquierda y derecha, así como en la parte central, mientras que las áreas con susceptibilidad baja y muy baja se concentran principalmente en el sur del área de estudio. Tras analizar el comportamiento de los factores en las zonas identificadas con una susceptibilidad alta, resulta importante destacar que, en estas áreas, existen pendientes mayores a 30 grados (figura 4A), las cuales favorecen los deslizamientos en el caso particular de la zona de estudio. Por otro lado, en esas mismas zonas identificadas como de alta susceptibilidad las laderas se orientan al sur, sureste y suroeste (figura 4B), lo cual favorece aún más en conjunto con las pendientes la presencia de deslizamientos.

Cabe resaltar que el método IS considera el efecto lógico, empírico y hasta intuitivo designado de cada factor; por ejemplo, a pendientes mayores corresponde una susceptibilidad mayor; a mayor cercanía a ejes estructurales, también corresponde una susceptibilidad mayor, etcétera.

La figura 6 muestra un traslape de los deslizamientos ocurridos en 2013 con el mapa de susceptibilidad obtenido, con el fin de identificar el grado de precisión en el modelo.

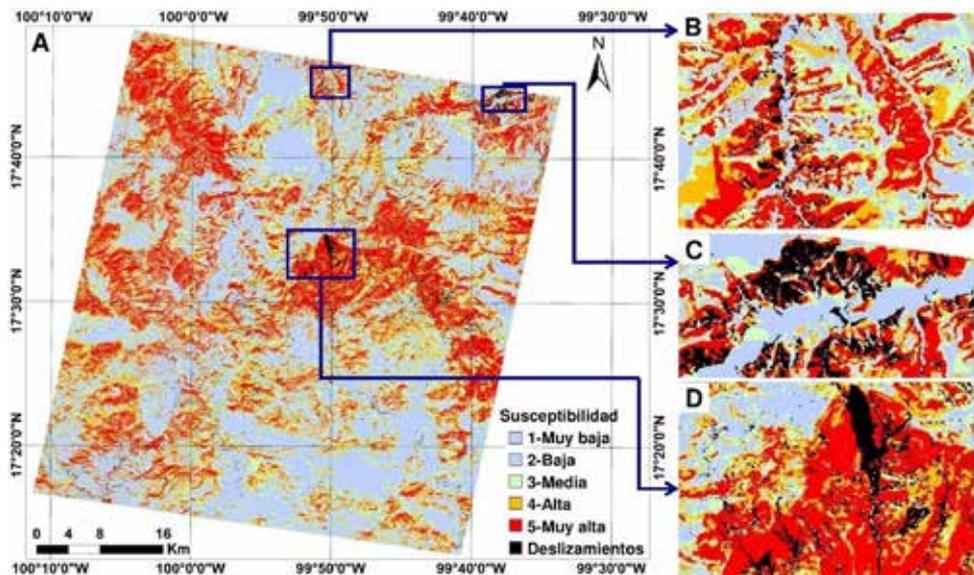


Figura 6. Traslape de los deslizamientos ocurridos con el mapa de susceptibilidad.

En esta figura se observa un grado de precisión aceptable en el mapa de susceptibilidad, pues, en general, los deslizamientos coinciden con las zonas categorizadas con susceptibilidad alta o muy alta. En los acercamientos realizados sobre el mapa (figuras 6A, B y C) que representan las principales áreas con presencia de deslizamientos en 2013, se observa con mayor detalle la coincidencia de las categorías de susceptibilidad alta y, en su mayoría, muy alta con las zonas deslizadas. En la figura 6C puede observarse que, en la mayoría de los deslizamientos registrados al norte del arroyo, se generó sobre una zona identificada en la clase de muy alta susceptibilidad. Los pocos deslizamientos que no cumplieron esta condición se registraron en otra zona identificada como de alta susceptibilidad. Por otro lado, también se observa que la mayoría de los deslizamientos localizados al sur del arroyo se halla en zonas de alta susceptibilidad, pero es posible identificar deslizamientos en la verdad terrero del terreno que se presentaron en zonas identificadas en la categoría de susceptibilidad media.

### Evaluación de la precisión del modelo IS acumulado

#### *Análisis de la Gráfica del Radio de Frecuencia (grf)*

Siguiendo con la metodología en relación con la evaluación de la precisión del modelo de susceptibilidad, fueron superpuestos los píxeles categorizados como deslizamientos de la muestra aleatoria con  $1/3$  del inventario sobre mapa de susceptibilidad resultante del modelo implementado, y luego se obtuvo la frecuencia de la ocurrencia de deslizamientos en cada categoría del mapa, para construir la Gráfica del Radio de Frecuencia (figura 7).

En la gráfica se observa que la frecuencia de los píxeles deslizados en la verdad terreno es inferior en la categoría de susceptibilidad muy baja y este valor se va incrementando en las categorías Baja, Media y Alta, para finalmente registrar los más altos valores de frecuencia en la categoría de susceptibilidad muy alta. Esta distribución es coherente con las conclusiones de Pradhan y Lee (2010a; 2010b) y Pourghasemi *et al* (2012c), quienes indican que en un mapa ideal de susceptibilidad a deslizamientos, el valor de la frecuencia debe incrementarse gradualmente de una zona de susceptibilidad baja a una muy alta.

Si realizamos un análisis de las categorías extremas, agrupando, por un lado, las clases muy baja y baja y, por otro lado, las alta y muy alta, podemos constatar que el mapa de susceptibilidad presenta una frecuencia acumulada del 7.9 por ciento de píxeles deslizados en las categorías muy baja y baja susceptibilidad. Además, luego de analizar las categorías en el otro extremo, se puede

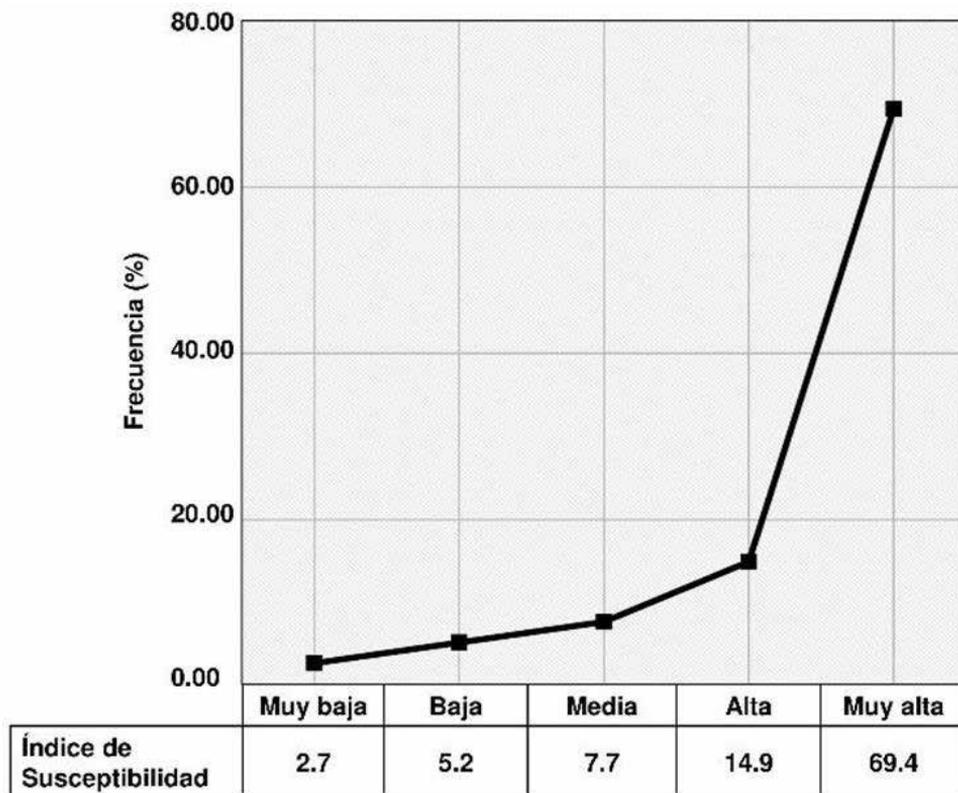


Figura 7. Gráfica del Radio de Frecuencia.

observar que el mapa de susceptibilidad presenta una frecuencia acumulada del 84.3 por ciento de pixeles deslizados en las categorías alta y muy alta susceptibilidad. Esta situación permite confirmar la tendencia positiva de los resultados obtenidos en congruencia con los trabajos previos referenciados.

#### *Análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic)*

A partir de la validación cruzada entre las categorías del mapa de susceptibilidad y la muestra aleatoria del inventario —incluyendo, para este caso, tanto deslizamientos como No-deslizamientos—, se construyó la gráfica correspondiente a la curva ROC y se calculó el área bajo la curva (AUC) (figura 8).

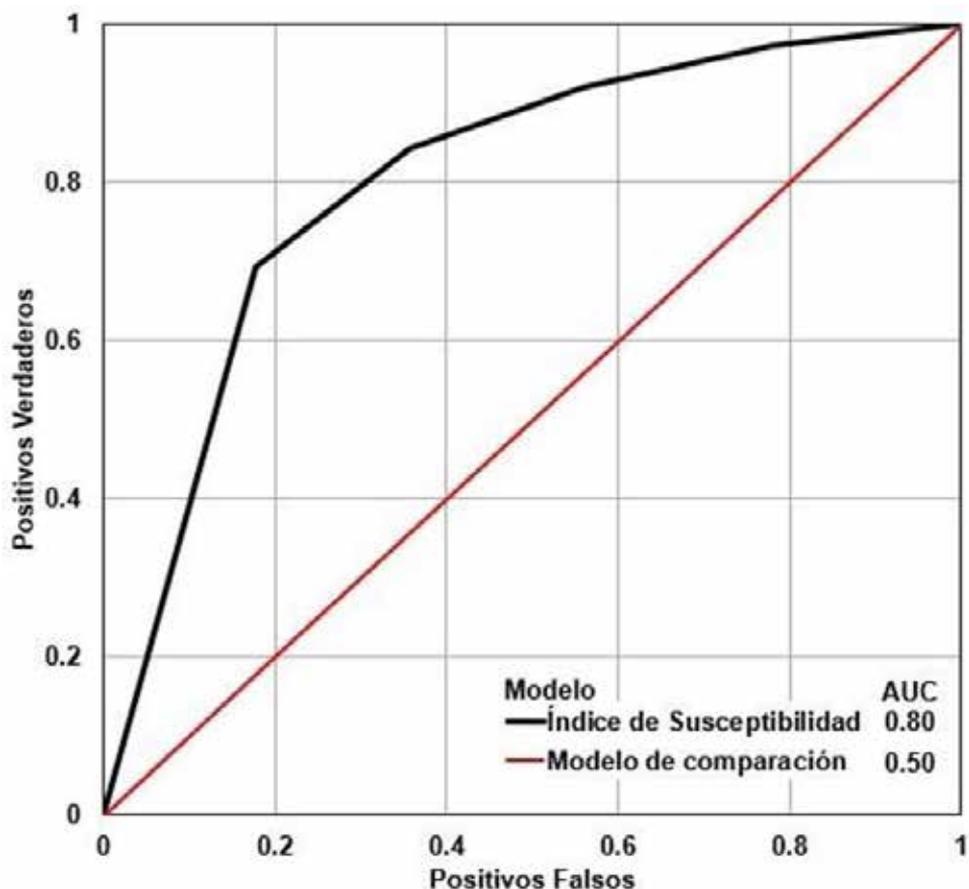


Figura 8. Curva ROC y valor AUC del mapa de susceptibilidad y de un modelo de comparación.

Como se mencionó, el AUC describe la capacidad de un modelo para predecir correctamente la ocurrencia o no ocurrencia de eventos predefinidos. De acuerdo con Chen *et al* (2017), cuanto mayor sea el AUC mayor será el rendimiento del modelo analizado. El valor AUC reportado por el modelo es 0.80, indicando que su capacidad de predicción es muy buena, en concordancia con los valores de clasificación consultados en los trabajos de Yesilnacar (2005), Devkota *et al* (2013) y Kim *et al* (2015).

De acuerdo con las dos evaluaciones (GFR, curva ROC), el modelo de susceptibilidad, de la forma como ha sido implementado en el presente trabajo, ha demostrado ser un método válido para caracterizar las zonas susceptibles a la

ocurrencia de deslizamiento de laderas en el área de estudio. No obstante, uno de los principales problemas es asignar el valor de peso correcto a cada uno de los factores explicativos considerados. De acuerdo con Barredo *et al* (2000) y Clerici *et al* (2002), los métodos heurísticos se basan en criterios selectivos que requieren un conocimiento experto para ser aplicados adecuadamente, lo cual implica un grado sustancial de subjetividad en la medida en que a cada factor se le asigna un cierto grado de importancia *a priori*. Sin embargo, clasificar los valores de cada uno de los factores citados en este trabajo y asignarles pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad de las laderas (Van Westen *et al*, 1997; Yalcin 2008), resultó adecuado para el caso particular de nuestra zona de estudio, lo cual puede comprobarse con los resultados obtenidos en ambas evaluaciones.

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos por el modelo de susceptibilidad, en concordancia con trabajos similares (Barredo *et al*, 2000), el enfoque heurístico demostró ser válido para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos a una escala mediana, tal como la zona Centro Sur del estado de Guerrero.

La información cartográfica sobre la susceptibilidad es particularmente necesaria en áreas propensas a sufrir deslizamientos. La localización de las zonas donde se registra una mayor vulnerabilidad, de acuerdo con los factores considerados, es la base para establecer las zonas prioritarias en los planes de atención o prevención a desastres. De igual manera, las instituciones encargadas de salvaguardar a la población en eventos de este tipo pueden utilizarlo como soporte para el establecimiento de sistemas de alerta temprana de las localidades y residentes.

Es importante en este punto recalcar que el diseño del modelo y los factores explicativos dependen de las características particulares de la zona de estudio y de la disponibilidad de información correspondiente. En otras palabras, estos resultados pueden ser diferentes si se aplica la metodología descrita y la misma cantidad y tipo de factores explicativos, pero en una zona de estudio con características diferentes. Sin embargo, la propuesta metodológica puede tomarse como punto de partida y como guía para el diseño particular del modelo aplicado a otra zona de estudio al cual puede ajustarse en función del conocimiento experto de las condiciones que en ella prevalecen.

## Referencias

- ANBALAGAN, R. y SINGH, B. (1996), “Landslide Hazard and Risk Assessment Mapping of Mountainous Terrains —A Case Study from Kumaun, Himalaya, India”, *Engineering Geology*, 43 (4), pp. 237-246.
- ARAMBURU, M. P. y ESCRIBANO, R. (2006), *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- AYALEW, L., YAMAGISHI, H., y UGAWA, N. (2004), “Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Weighted Linear Combination, The Case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan”, *Landslides*, 1 (1), pp. 73-81.
- BARREDO, J. I., BENAVIDES, A., HERVÁS, J., y VAN WESTEN, C. J. (2000), “Comparing Heuristic Landslide Hazard Assessment Techniques Using GIS in the Tirajana Basin, Gran Canaria Island, Spain”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (1), pp. 9-23.
- BIJUKCHHEN, S. M., KAYASTHA, P., y DHITAL, M. R. (2013), “A Comparative Evaluation Of Heuristic and Bivariate Statistical Modelling for Landslide Susceptibility Mappings In Ghurmi–Dhad Khola, East Nepal”, *Arabian Journal of Geosciences*, 6 (8), pp. 2727-2743.
- CARRARA, A., CARDINALI, M., GUZZETTI, F., y REICHENBACH, P. (1995), “GIS Technology in Mapping Landslide Hazard”, en Carrara, A. y Guzzetti, F. (eds.) *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Springer, Dordrecht, pp. 135-175.
- CHEN, W., POURGHASEMI, H. R., KORNEJADY, A., ZHANG, N. (2017), “Landslide Spatial Modeling: Introducing New Ensembles of ANN, Maxent, and svm Machine Learning Techniques”, *Geoderma*, 305, pp. 314-327.
- CLERICI, A., PEREGO, S., TELLINI, C. y VESCOVI, P. (2002), “A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method”, *Geomorphology*, 48 (4), pp. 349-364.
- CSR-UFMG, (2016) *What is Dinamica EGO?*, en <<http://csr.ufmg.br/dinamica/>>.
- DEVKOTA, K.C., REGMI, A. D., POURGHASEMI, H. R., YOSHIDA, K., PRADHAN, B., RYU, I. C., DHITAL, M. R. y ALTHUWAYNEE, O. F. (2013), “Landslide Susceptibility Mapping Using Certainty Factor, Index of Entropy and Logistic Regression Models in GIS and their Comparison at Mugling-Nara-

- yanghat Road Section in Nepal, Himalaya”, *Natural Hazards*, 65 (1), pp. 135-165.
- EGAN, J.P. (1975), *Signal Detection Theory and ROC Analysis*, Academic Press. London.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE GUERRERO, (2013), *Enciclopedia guerrerense*, Gobierno del estado de Guerrero.
- GUTHRIE, R., y EVANS, S., (2004). “Analysis of Landslide Frequencies and Characteristics in a Natural System, Coastal British Columbia”, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 29 (11), pp. 1321-1339.
- HERVÁS, J., BARREDO CANO, J. I. y LOMOSCHITZ, A. (2002), “Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio: aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria)”, en Ayala Carcedo F. J., y Corominas, J., *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*, Instituto de Geología y Minero de España, pp. 169-180.
- HERVÁS, J. y BARREDO, J. I. (2001), *Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación al barranco de Tirajana (Gran Canaria)*, V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables 2001.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2016), *Mapa Digital de México*, en <<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6>>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2015), *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250000: serie V. Cartografía-Estudio y enseñanza*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2013), *Monografía del Estado de Guerrero*.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (2011), *Censo de Población y Vivienda 2010*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- IRIGARAY, C. (1990), *Cartografía de riesgos geológicos asociados a los movimientos de ladera en el sector de Colmenar (Málaga)*, Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Granada.
- IRIGARAY, C. (1995), *Movimientos de ladera: inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante la aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba) y Montefrío (Granada)*, Universidad de Granada, Granada.

- JENKS, G.F., y CASPALL, F. C. (1971), "Error on Choroplethic Maps: Definition, Measurement, Reduction", *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), pp. 217-244.
- KIM, H. G., LEE, D. K., PARK, C., KIL, S., SON, Y., y PARK, J. H. (2015), Evaluating Landslide Hazards Using RCP 4.5 and 8.5 Scenarios, *Environmental Earth Sciences*, 73(3), pp. 1385-1400.
- LARSEN, M. C., y TORRES-SÁNCHEZ, A. J. (1998), "The Frequency and Distribution of Recent Landslides in Three Montane Tropical Regions of Puerto Rico", *Geomorphology*, 24(4), pp. 309-331.
- POIRAUD, A. (2014), "Landslide Susceptibility-Certainty Mapping by a Multi-Method Approach: A Case Study in the Tertiary Basin of Puy-En-Velay (Massif Central, France)", *Geomorphology*, 216, pp. 208-224.
- POURGHASEMI, H. R., MOHAMMADY, M., y PRADHAN, B. (2012b), "Landslide Susceptibility Mapping Using Index of Entropy and Conditional Probability Models in GIS: Safarood Basin, Iran", *Catena*, 97, pp. 71-84.
- POURGHASEMI, H. R., PRADHAN, B., y GOKCEOGLU, C. (2012c), "Application of Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) to Landslide Susceptibility Mapping at Haraz Watershed, Iran", *Natural Hazards*, 63 (2), pp. 965-996.
- PRADHAN, B. y LEE, S. (2010b), "Landslide Susceptibility Assessment and Factor Effect Analysis: Backpropagation Artificial Neural Networks and their Comparison with Frequency Ratio and Bivariate Logistic Regression Modelling", *Environmental Modelling y Software*, 25 (6), pp. 747-759.
- PRADHAN, B., y LEE, S., (2010a), "Delineation of Landslide Hazard Areas on Penang Island, Malaysia, by Using Frequency Ratio, Logistic Regression, and Artificial Neural Network Models", *Environmental Earth Sciences*, 60 (5), pp. 1037-1054.
- RAISZ, E. (1964), *Landforms of Mexico*, Cambridge, Massachusetts, en <[https://www.scrip.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/references-papers.aspx?referenceid=2435767](https://www.scrip.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/references-papers.aspx?referenceid=2435767)>.
- RAMOS, R. (2018), *Estudio de la susceptibilidad al deslizamiento de laderas en el Estado de Guerrero, México, aplicando Tecnologías de Información Geográfica*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.
- RAMOS-BERNAL, R., VÁZQUEZ-JIMÉNEZ, R., ROMERO-CALCERRADA, R., ARROGANTE-FUNES, P., y NOVILLO, C. (2018), "Evaluation of Unsupervised Change Detection Methods Applied to Landslide Inventory Mapping Using ASTER Imagery", *Remote Sensing*, 10 (12), pp. 1987.

- RAWAT, M., UNIYAL, D., DOBHAL, R., JOSHI, V., RAWAT, B., BARTWAL, A, SINGH, D., ASWAL, A., (2015), "Study of Landslide Hazard Zonation in Mandakini Valley, Rudraprayag District, Uttarakhand Using Remote Sensing and GIS", *Curr Sci*, 109 (1), pp. 158-170.
- RECONDO, C., MENÉNDEZ, C., GARCÍA, P., GONZÁLEZ, R., y SÁEZ, E. (2000), "Estudio de las zonas propensas a sufrir deslizamientos en los Concejos de Oviedo y Mieres (Asturias) a partir de una figura Landsat-TM y de un Modelo Digital de Elevaciones", *Revista de Teledetección*, 14.
- REMONDO, J., SOTO, J., GONZÁLEZ-DÍEZ, A., DE TERÁN, J. R., DÍAZ y CENDRERO, A. (2005), "Human Impact on Geomorphic Processes and Hazards in Mountain Areas In Northern Spain", *Geomorphology*, 66 (1-4), pp. 69-84.
- SARKAR, S., KANUNGO, D. P., MEHROTRA, G. S. (1995), "Landslide Hazard Zonation: A Case Study in Garhwal Himalaya, India", *Mountain Research and Development*, 15 (4), pp. 301-309.
- SGM (2018), *Carta geológico-minera*, en <[https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/91\\_E14-8\\_GM.pdf](https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/91_E14-8_GM.pdf)>.
- SILVERMAN, B. W. (1986), *Estimación de densidad para las estadísticas y el análisis de datos*, Chapman and Hall, New York.
- SOARES-FILHO, B.S., RODRIGUES, H.O., y COSTA, W. (2009), *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*, en <[https://www.researchgate.net/publication/282782423\\_Dinamica\\_EGO\\_guidebookpdf](https://www.researchgate.net/publication/282782423_Dinamica_EGO_guidebookpdf)>.
- VAN WESTEN, C. J. (1992), "Medium Scale Landslide Hazard Analysis Using a PC Based GIS. A Case Study from Chinchina, Colombia", *Proceedings from I Simposio Internacional sobre Sensores Remotes y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales, Bogotá, Colombia*, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, pp. 1-15.
- VAN WESTEN, C.J., RENGERS, N., TERLIEN, M., y SOETERS, R. (1997), "Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomenal Through GIS-Based Hazard Zonation", *Geologische Rundschau*, 86 (2), pp. 404-414.
- VAN WESTEN, C. J. (1993), *Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation*, ITC.
- WATI, S.E., HASTUTI, T., WIDJOJO, S., PINEM, F. (2010), "Landslide Susceptibility Mapping With Heuristic Approach in Mountainous Area: A Case Study in Tawangmangu Sub District Central Java, Indonesia", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38 (Part 8), pp. 249-252.

- YALCIN, A. (2008), “GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations”, *Catena*, 72 (1), pp. 1-12.
- YESILNACAR, E. K. (2005), *The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey*, Department of Geomatics the University of Melbourne, Australia.

# Evaluación de erosión hídrica mediante la ecuación universal de pérdida de suelo en el Municipio de Acámbaro, Guanajuato

Genaro Aguilar Sánchez  
Neri Susana González Pérez  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

## Introducción

El suelo es parte fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas; en él se desempeñan funciones tan importantes, como los ciclos biogeoquímicos y la captura de agua. Su formación involucra periodos que pueden llegar a miles de años, pero su degradación, algunas veces irreversible, puede realizarse en periodos considerablemente más cortos (SEMARNAT, 2013). La erosión es considerada como un proceso natural en zonas montañosas (FAO, 1967), pero, con mucha frecuencia, esta condición empeora cuando en ellas las medidas o las actividades son malas. Debido a que todo el mundo prescinde de este recurso natural, ya que en él se practica agricultura y ganadería, entre muchas otras actividades, cuando llega a presentarse un problema de erosión, es de gran interés calcular la cantidad de suelo que se pierde, para proponer soluciones.

Tanto en México como a nivel mundial, el suelo sufre degradación acelerada a consecuencia principalmente de diversas actividades humanas. En este aspecto la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) coloca a México en los primeros lugares (con cerca de 50 por ciento de los suelos severa y muy severamente degradados), comparado con el resto de sus países miembros. En América Latina, México se encuentra en un punto intermedio entre los países de Centro y Sudamérica (OCDE, 2003; citado por SEMARNAT, 2004).

Se han realizado, por tanto, diversos estudios con la finalidad por predecir la erosión a nivel nacional, pero muy pocos se han centrado en áreas pequeñas. Por ello, en este ensayo no nos centramos en un municipio sino en un sistema terrestre para comparar cómo se comportan los factores de la EUPS en esta área.

## Materiales y métodos

### *Fase previa*

La delimitación del área de estudio se tomó en cuenta a raíz del trabajo de Sánchez (2014), en el cual aplica la metodología del levantamiento fisiográfico para delimitar sistemas terrestre en el Municipio de Acámbaro, Guanajuato. En dicho trabajo se obtuvo un total de once sistemas terrestres. Por tanto, para el Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno se empleó el paquete *ArcGIS* 10.3, a una escala de 1:1 000 000; se corrigió el lindero a escala de 1:50000, con base en el Modelo de Elevación Digital Zona F14C84 correspondiente al área de estudio, a escala 1:50000, con el objetivo de observar el relieve que encierra esta área. Dicho MDE se descargó del portal de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), en la liga de Datos de Relieve Continental.

Delimitado nuestro polígono en formato vector del ST<sup>1</sup> Cerro Cuevas de Moreno, se llevó a cabo una sobreposición de las capas vectoriales (mapas temáticos) de Uso de Suelo y Vegetación, Clima y Edafología, con el MDE de fondo que permitió ver el relieve de dicho ST.

Se hizo uso de distintas herramientas del *software ArcGIS* 10.3 a fin de extraer únicamente los datos que correspondían a nuestro polígono, para cada una de las capas a partir de las cuales se elaboraron mapas temáticos.

### *Delimitación de facetas*

A partir de los cruces de las capas, se discriminó la información que arrojaban, a partir del cual se le asignó un número a cada una de las facetas.

En esta fase previa y posterior a la delimitación de facetas en *ArcGIS* 10.3, se elaboró un cuadro de los datos a tomar en campo, de acuerdo con la metodología de Ortiz (1984), de los cuales se imprimieron veintidós formatos; en éstos se especificó la información a obtener de cada una de las facetas, tal como número de faceta, numero de sitio, pendiente (forma y porcentaje), geología, suelo (textura, profundidad, color, tipo de suelo), cobertura vegetal

---

1 Sistema Terrestre.

(forma de vida y porcentaje de cobertura), uso de la tierra, prácticas de conservación y altitud.

Esta primera fase consistió exclusivamente de trabajo de gabinete; se llevó a cabo una revisión bibliográfica y cartográfica detallada sobre los componentes del medio natural y socioeconómico del área de estudio (sector primario, secundario y terciario que corresponde a agricultura, industrias y servicios). Para ello se consultaron fuentes bibliográficas impresas (libros, tesis, la *Síntesis geográfica del estado de Guanajuato*) y medios digitales (INEGI, CONABIO, SEMARNAT, SIGMA, *Google Earth*), con la finalidad de tener un marco de referencia amplio; además de iniciar la elaboración de cartografía para llevar a campo.

Se obtuvo información del Instituto de Ecología del Estado, por medio del Subsistema de Información Geográfica y de Medio Ambiente del Estado de Guanajuato (SIGMA), del cual se descargaron los archivos en formato vector de las capas de Uso de Suelo y Vegetación, Clima, Edafología y Geología, en escala 1:50000, para posteriormente hacer las ediciones necesarias.

#### *Fase de campo*

Se visitó el área de estudio con la finalidad de corroborar linderos y obtener información en el Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno como del uso de suelo y vegetación, edafología, tipos de rocas y cuerpos de agua, para verificar la información obtenida en la bibliografía con la presencial.

Los materiales para la salida fueron mapas temáticos de escala 1:50000 de facetas con su respectiva información de uso de suelo y vegetación, edafología, tipos de rocas y vías de comunicación, además de veintidós formatos de descripción de facetas en los cuales se especificaban dos sitios por faceta, pala recta, *lap top*, pluma, mochila pedológica, cinta métrica y automóvil para llegar a la zona de estudio.

#### *Extracción de información de las facetas del Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno*

Para la toma de datos de suelos se ocupó la mochila pedológica, la pala y el GPS. A su vez, la toma de datos se realizó siguiendo los puntos definidos como sitios de observación en la fase de gabinete. Cada punto se refiere a un sitio de la respectiva faceta.

Al visitar cada uno de estos sitios se tomaron datos, como coordenadas geográficas, altitud, pendiente, vegetación, textura del suelo, profundidad, color del suelo, reacción al agua destilada. Todos estos datos de suelo sirvieron para

determinar el grupo de suelos al que pertenecen, además del uso del suelo, la vegetación predominante y la orografía del lugar. Se observó en campo si existían prácticas de manejo para control de erosión y la condición del suelo en las diferentes facetas.

Lo anterior se hizo veintiocho veces hasta cubrir todas las facetas accesibles de la zona de estudio. Se omitieron las facetas que se encontraban en la cima del Cerro Cuevas de Moreno por falta de brechas para llegar al lugar, además de que debido al periodo de lluvias el acceso era difícil. Por no contar con datos en las áreas urbanas, solamente se observó la condición de la comunidad. Se rectificaron los límites y la información acerca de las facetas.

#### *Fase de gabinete*

En esta segunda y última fase de gabinete se sistematizó la información obtenida en campo. La delimitación de facetas quedó igual a como en la primera fase de gabinete, ya que la fotointerpretación se realizó a escala más grande.

Las correcciones fueron únicamente de extracción de datos en campo, puesto que se agregaron algunas características al formato inicial, con la finalidad de obtener información completa para los cálculos oportunos y certeros de la tasa de erosión en el área de estudio; todo esto se efectuó por computadora en formato *Word*, apoyado con el programa *Excel* y el *software ArcGIS 10.3*.

### Metodología para la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Para esta última fase de gabinete se procedió a calcular la tasa de erosión del Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno del Municipio de Acámbaro. Para dicho fin se ocupó la fórmula de erosión propuesta por Wischmeir y Smith (1965), que consiste básicamente en multiplicar los factores que conforman la ecuación.

$$E = R K L S C P$$

Para obtener el resultado se calcularon los valores de cada uno de los factores utilizando una metodología diferente para cada uno.

### *Cálculo de erosividad de la lluvia (R)*

Para el cálculo de erosividad de la lluvia se ocupó la metodología propuesta por Figueroa (SARH, 1991).

Debido a que en el país el número de estaciones con pluviógrafos es escaso, se tomó en cuenta la propuesta de Cortés (1991), quien regionalizó las estaciones a fin de caracterizar áreas sujetas a condiciones similares de lluvia, lo cual dio como resultado catorce regiones para la República Mexicana.

De modo que para cada región y mediante análisis de regresión, Cortés (1991) generó ecuaciones que permiten la estimación del factor R de la EUPS en función de la lluvia anual para cada una de las regiones.

Como primer paso, se ubicó al estado de Guanajuato en el mapa de regiones de erosividad de la lluvia en México (figura 1).

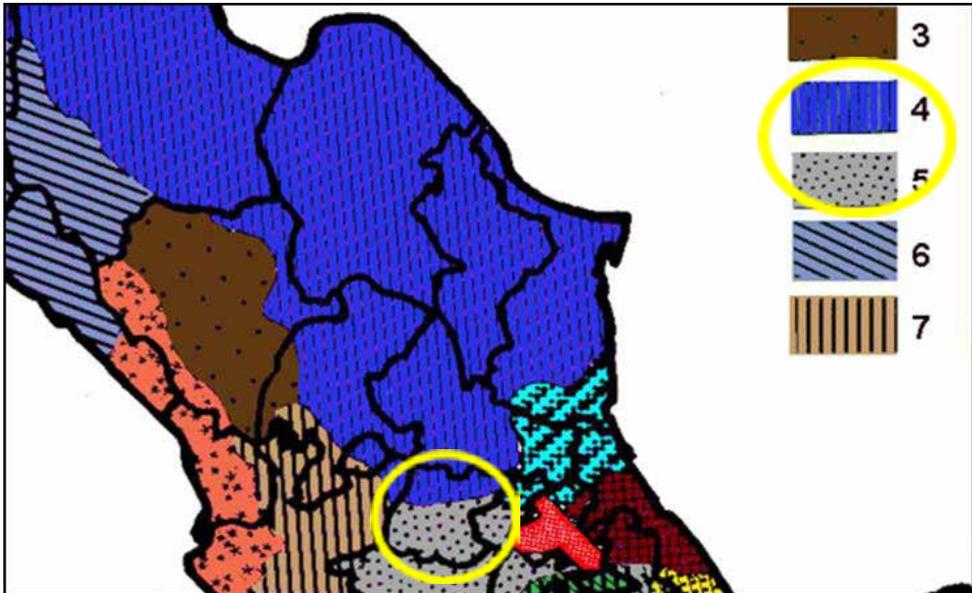


Figura 1. Localización de Guanajuato en mapa de regiones de erosividad de la lluvia en México.

Como podemos observar, el estado de Guanajuato pertenece a la región IV y V; debido a que Acámbaro se ubica en el sur del estado, le corresponde la región V.

Tabla 1. Ecuaciones para estimar la erosividad de la lluvia (R)  
en la región V de la República Mexicana

Región	Ecuación	R <sup>2</sup>
V	$R = 3.4880P - 0.000188P^2$	0.94

Fuente: Cortés (1991).

La erosividad (R) se estimó mediante los datos de precipitación media anual de las normales climatológicas cercanas al área de estudio. Para esto se descargó la red de estaciones climatológicas del SMN<sup>2</sup> de la CONAGUA<sup>3</sup> en formato .kmz.

Asimismo:

- Se proyectó el polígono del área de estudio en formato .kmz en *Google Earth* al igual que las estaciones climatológicas.
- Se eligieron las estaciones que rodean el Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno. De esta manera, se pudo visualizar las normales climatológicas que rodean el sistema de las cuales se extrajeron los datos de precipitación media anual que influyen en el área de estudio. Se obtuvo una base de datos en archivo .xls (tabla 2).

Tabla 2. Estaciones meteorológicas de influencia en el ST  
Cerro Cuevas de Moreno

Nº	Estación	Nombre	X	Y	Z	Precipitación
1	11002.00	Acámbaro	320909.00	2215995.00	1850.00	752.30
2	11076.00	Presa Solís	325059.00	2218321.00	1901.00	728.70
3	11149.00	Parácuaro	319807.00	2224648.00	1890.00	650.90
4	11139.00	Camino Blanco	328388.00	2231788.00	2490.00	848.50
5	11075.00	Soledad Nueva	316325.00	2244244.00	1786.00	459.30
6	11119.00	Tierra Blanca	379735.00	2221579.00	1773.00	296.70
7	11142.00	El Cubo	301605.00	2243638.00	1738.00	645.60
8	11021.00	El Sabino	290464.00	2243892.00	1739.00	653.10
9	11156.00	El Dormido	287963.00	2226852.00	1907.00	666.60

2 Servicio Meteorológico Nacional.

3 Comisión Nacional del Agua.

10	11114.00	El Refugio	297401.00	2216589.00	2040.00	770.30
11	11027.00	Iramuco	299457.00	2210784.00	1840.00	725.40

- Se importaron los datos de precipitación y altura de *Excel* a *ArcGIS* 10.3.
- Se asignaron los valores X y Y, de acuerdo con los valores correspondientes de la base de datos y se le asignó un sistema de referencia UTM → WGS 1984 → Hemisferio Norte → Zona 14; se aplicó el método de interpolación y se ocupó la herramienta *raster calculator* y, finalmente, se aplicó la ecuación de Cortés mencionada al mapa *raster* obtenido.

### Cálculo de Erodabilidad del suelo (factor K)

#### *El factor K mediante la metodología propuesta por FAO (1980)*

En esta metodología para el cálculo de K se tomó en cuenta la textura superficial utilizando tres grupos texturales (gruesa, media y fina) y la unidad de suelo a la que pertenecía cada faceta.

Con el cuadro de valores de erosionabilidad del suelo (FAO, 1981) se asignó el dato correspondiente a cada faceta.

Los datos de textura fueron tomados directamente en campo, además de apoyarnos en el mapa edafológico en escala 1: 50000 de INEGI.

Al mapa edafológico se le sobrepuso el mapa de facetas para obtener la unidad de suelo para cada una; además del grupo textural al que pertenecían, se utilizó el paquete de *ArcGIS* 10.3 para editar la tabla de atributos. Después de agregar una nueva capa creada, se le asignaron los valores correspondientes, y se convirtió a formato *raster*.

#### *Cálculo de longitud y grado de pendiente (factor ls)*

SEMARNAT-UACH (2002) menciona que, en trabajos recientes, se ha optado por ocupar algún Sistema de Información Geográfica para el cálculo de LS, ya que toman en cuenta las características del terreno. Asimismo, se ha trabajado especialmente con Modelos Digitales de Elevación (MDE) y se han usado *software* como *ArcGIS* o *ArcView*, aunque algunos comandos de estos *softwares* no identifican todas las depresiones (por ejemplo, el comando *FILL* de *Arc Info* o el *FILL Sinks* de *ArcView*).

- Se descargó el MDE del portal de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), en la liga de Datos de relieve continental.

- Después de agregar el MDE al *software ArcGIS 10.3*, se aplicó la herramienta *Extract by mask* sobre el MDE usando como lindero el sistema terrestre.
- Una vez agregado el *raster* se ocuparon las herramientas del paquete *ArcGIS 10.3*, usando la opción nos dirigimos a . Se calcularon pendientes y se utilizó la caja de *Map Algebra* en *Spatial Analyst Tools*; ahí se realizó la conversión a radiales, ingresando la siguiente fórmula:

$(\text{Sin}(\text{Slope} * 0.01745)/0.0896)/(3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{Slope} * 0.01745)0.8)+0.56)$   
y le asignamos un nombre de “factor\_f”.

- Posteriormente, se creó una capa a la que se le asignó el nombre de “Factor\_m” en la calculadora *raster*, para lo cual se ingresó la siguiente fórmula:

“factor\_f”/(1+”factor\_f”)

- Después, se determinó la dirección de flujo del área de estudio y se realizó con la herramienta *Flow direction*, en la que se ocupó el archivo *FILL* realizado. Se le asignó el nombre de salida como *FlowDir*; los nombres se pusieron fácilmente identificables para su uso ulterior.
- El siguiente paso, después de obtener la capa *FlowDir*, fue determinar la acumulación de flujo. Para ello se abrió nuevamente la caja de herramientas y se eligió *Flow Accumulation*; aquí sólo se indicó el *raster* de entrada → *FlowDir* se le asignó el nombre de salida *FlowAcc*.

El factor *L* se calculó de la siguiente manera:

- Factor *L*. Se abrió nuevamente la calculadora *raster* y en esta sección se ingresó la siguiente fórmula:

$(\text{Power}(\text{FlowAcc} + 625), (\text{“Factor\_m”} + 1)) - \text{power}(\text{“FlowAcc”}, (\text{“Factor\_m} + 1)) / (\text{Power}(25, (\text{“Factor\_m”} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{“Factor\_m”}))$

Después de esto se calculó el factor *s* de la manera que sigue:

- Factor *S*. Se abrió la caja de herramientas y se eligió la opción *raster calculator* y se ingresó la ecuación siguiente:

$\text{con}(\tan(\text{“Slope\_grados”} * 0.01745) < 0.09, (10.8 * \sin(\text{“slope\_grados”} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \sin(\text{“slope\_grados”} * 0.01745) - 0.5));$  obteniendo el factor *s* para el área de estudio.

- Factor LS. Finalmente, para obtener este valor se ocupó la herramienta *raster calculator* y el resultado se obtuvo de la multiplicación del factor *L* y el factor *S*, como lo muestra la siguiente ecuación: “factor\_”*L*”\*”factor\_”*S*”.

#### *Cálculo de manejo y cobertura vegetal (factor C)*

En general, para determinar el factor C existen tabulaciones y no ecuaciones. Para terrenos agrícolas las tabulaciones para C pueden considerarse más precisas, puesto que poseen mayor número de datos. Al contrario, para sitios forestales las tabulaciones denotan un sesgo importante, que obliga muchas veces a efectuar varios supuestos (Mancilla, 2008).

El factor *C* representa la influencia de la cobertura vegetal en el proceso erosivo, al cual se le asigna valores de 0 a 1 dependiendo de la cubierta vegetal con la que cuenta el suelo.

- Se descargó de SIGMA (2015) el *shape* de uso de suelo y vegetación a escala 1:50000 del estado de Guanajuato, y con las herramientas del *software ArcGIS* se hicieron los cortes necesarios para tener el mapa base de uso de suelo y vegetación del Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno.
- Se observó el mapa base y con los datos encontrados en campo sobre cobertura de la vegetación se hizo uso de los cuadros para asignar valores de C para diferentes oberturas. Dichos cuadros especifican valores que van de 0 a 1 y existen tres tipos, para pastizal y matorral, bosques no alterados y cultivos; como lo muestra la metodología propuesta por SEMARNAT-UACH (2002), se convirtió a *raster*, para obtener el mapa de salida.

#### *Cálculo de prácticas de conservación (factor P)*

En el caso del factor P, que se refiere a prácticas de conservación, se le dio un valor de 1 para todo el sistema terrestre debido a que, en los recorridos de campo, no se observó como una práctica de control de erosión.

Los valores para el factor de prácticas de control de erosión se obtienen de tablas que relacionan las pérdidas de suelo en parcelas, donde se aplican las prácticas con las producidas sin prácticas de control de erosión, en lo cual el valor de P= 1.0. Los valores cubren el cultivo a nivel y el cultivo en fajas y varían con el grado de pendiente (Morgan, 1997).

### *Cálculo de la EUPS*

Usando la caja de herramientas, se ocupó la opción *Map Algebra* → *raster\_calculator*, en el que se introdujo en la siguiente ecuación:

$$\text{factor}_R * \text{factor}_K * \text{factor}_{LS} * \text{factor}_C$$

## Resultados y discusión

### Descripción del Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno

#### *Localización*

Se localiza desde la parte norte-oeste del municipio, limita al sur con la comunidad de Chamácuaro, Parácuaro y con la cabecera municipal de Acámbaro, colinda al este con el poblado de El Acebuche, la comunidad de Los Fierros y La Concepción, al oeste con el Río Lerma, con la comunidad de San Agustín y con San Antonio Eménguar, y finalmente al norte colinda con el municipio de Salvatierra, la comunidad de Urireo y con San Nicolás de la Condesa.

Cuenta con una superficie aproximada de 5,894.4 hectáreas que representa un 6.7 por ciento del Municipio de Acámbaro (figura 2).

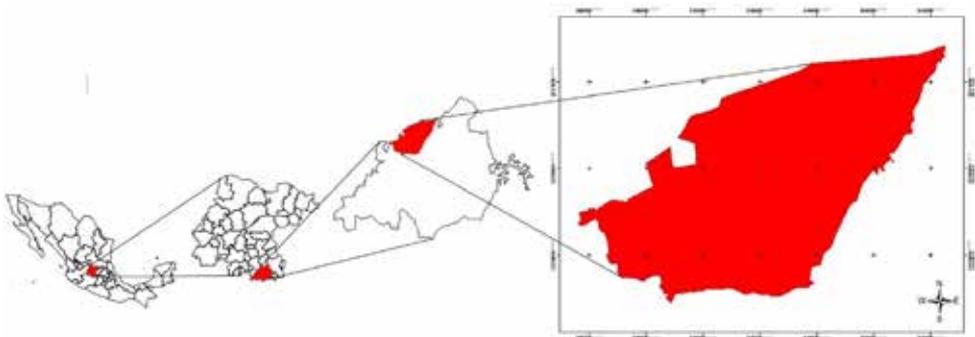


Figura 2. Localización del área de estudio. Sistema Terrestre, Cerro Cuevas de Moreno, Acámbaro, Guanajuato. Elaboración propia.

*Fisiografía.* Está caracterizada por las topofomas de sierras escarpadas con pendientes del 5 al 15 por ciento y del 15 al 27 por ciento; presenta un relieve

en algunos casos irregular. La pendiente no es muy pronunciada, y en las partes medias solemos encontrar suelos delgados.

*Altitud.* La altitud del sistema terrestre en su punto más bajo es de 1,827 metros sobre el nivel del mar, y en el punto más alto alcanza una altitud de 2,856 metros sobre el nivel del mar.

*Clima.* En el sistema terrestre, tomando en cuenta la escala 1:50 000, se presentan dos tipos de clima: el C(w0)(w) y el (A) C(w0).

C(w0)(w): los climas C(w) se localizan en la mayor parte de las montañas del centro y sur de México, y al sur de la Altiplanicie mexicana donde orográficamente la precipitación en verano por los movimientos convectivos del aire y por la influencia de ciclones tropicales; también se encuentran en las regiones norte y central de la Sierra Madre Occidental y norte de la Oriental, que se encuentran próximas a las zonas con régimen de lluvias uniformemente repartidas. Los climas C(w) de estas dos últimas regiones tienen la característica de poseer un proporción de lluvia invernal relativamente alta (García, 2004).

El clima C(w0)(w) es el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, coeficiente P/T menor de 43.2 y el régimen de lluvias de verano es diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco (García, 2004).

(A) C(w0): es el más cálido de los templados C, con temperatura media anual mayor de 18°C, y la del mes más frío menor de 18°C y es el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con un coeficiente P/T menor de 43.2.

*Geología.* El sistema terrestre está constituido en un 100 por ciento por rocas ígneas extrusiva de tipo básico (Sánchez, 2014). Podemos encontrar en la parte norte del sistema terrestre rocas ígneas del subtipo Brecha volcánica. La mayor parte del Sistema Terrestre está dominado por rocas ígneas del subtipo basalto, y en la parte sur donde generalmente se encuentran cultivos, encontramos suelos aluviales de acuerdo con el recorrido de campo.

*Edafología.* Existen asociaciones de suelos Vertisol pélico + Litosol con textura fina en la parte norte del Sistema Terrestre (la parte más alta), la parte media y baja lo dominan los suelos de tipo Vertisol pélico.

Los vertisoles se caracterizan por su alto contenido de arcilla. Generalmente son de color oscuro. Debido a la mineralogía de sus arcillas (esmectita) en estado seco, son muy duros y presentan grietas, mientras que, en estado húmedo, son pegajosos y plásticos (a menudo, impermeable). Químicamente, son suelos muy ricos, pero desarrollan un microrrelieve ondulado (Gilgai), el cual impide

la mecanización. Los vertisoles tienen un alto potencial agrícola, pero requieren de prácticas de manejo especiales para asegurar una producción agrícola sostenible. Al menos que la mecanización y el riego sean factibles, estos suelos son más aptos para pastoreo. Estos suelos ocupan cerca de 340 millones de hectáreas, principalmente concentradas en la Altiplanicie del Decán de India, la Gezira en Sudan, Sudáfrica, Etiopía, Tanzania, el este de Australia, Argentina y Texas (FAO, 2005).

En cambio, el litosol es suelo con menos de 10 centímetros de profundidad, con textura gruesa o media (INEGI, 1973). Su nombre proviene del vocablo griego *lithos*: piedra, es decir, literalmente, “suelo de piedra”. Son los suelos más abundantes del país, pues ocupan veintidós de cada cien hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación en todas las sierras de México, barrancas, lamerías y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. Se conoce también como leptosoles —que viene del griego *leptos* que significa delgado—, a dicha unidad agrupa al litosol y regosol de la clasificación anterior. Se recomienda el uso forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y, en algunos casos, se destinan a la agricultura, en especial al cultivo de maíz o el nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua. No tiene subunidades y su símbolo es I (INEGI, 2004).

*Hidrografía.* Se encuentra dentro de la región hidrológica Lerma Santiago, concretamente en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico; en el sistema terrestre se hallan presentes el Río Lerma, Palo Blanco, Manantial El Arenal, y el Arroyo Santa Julia.

*Fauna.* Existe ahí la siguiente diversidad de fauna, principalmente mamíferos pequeños *Canis Latrans* (coyote), *Urycyon cinereoargenteus* (zorra gris) *Didelphys Virginanus* (tlacuache), *Dasyus novemcinctus* (armadillo), *Lepus sp* (liebre), *Sylvilagus sp* (conejo), *Peromyscus sp* (ratón), *Procyon lotor* (mapache), *Mephitis* (zorrillo) y *Mustela frenata* (comadreja), y algunas especies de aves son *Ardiaceae* (garzas, garcetas), *Charadriidae* (chorlos), *Scolopacidae* (patamarillas, playeros, costureros, agachona), *Columbidae* (palomas y tórtolas), *Hirundinidae* (golondrinas), *Turdidae* (azulejos, clarín jilguero).

### *Uso de suelo y vegetación*

En el sistema terrestre se tienen los siguientes usos del suelo: asentamientos humanos (3.49 por ciento), áreas agrícolas (25.89 por ciento) y matorral subtropical (70.62 por ciento) y un pequeño porcentaje de bosque. La vegetación de este sistema terrestre está caracterizada por la presencia de matorral subtropical, donde predominan los arbustos, especies que se conocen como indicadores de disturbio o de asociaciones secundarias. Fueron encontradas 16 familias, representadas por 28 especies (Sánchez, 2014).

Características del Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno y sus facetas  
Con el cruce de capas se originó un total de veintidós facetas, de las cuales cuatro pertenecen exclusivamente a áreas urbanas y las otras dieciocho facetas se ubican en el medio rural.

### Aplicación de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en cada faceta

#### *Valores de erosividad de la lluvia (factor R)*

Los valores del factor R son de dimensión MJ mm/ ha hr; en este caso, el valor mínimo fue de 2,152.86 que se ubicó principalmente en la parte norte del sistema terrestre y abarca las facetas 1, 2 y parte de la 3 y la 5.

Los valores que van de 2,193 a 2,225 MJ mm/ha hr se encontraban en las facetas 6, 7, 8, 9, 10,11, 12, 13, 14, parte de la 3, 4, 5, 18, 20 y 21.

Los valores que van de 2,260 a 2,295 MJ mm/ ha hr forman parte de las facetas 12, 16, 17, 18, 19 y 20.

Finalmente, los valores de 2, 295 a 2, 342 MJ mm/ ha hr estaban en las facetas 16,12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

#### *Valores de erosionabilidad del suelo (factor K)*

Los valores de K que encontramos en el sistema terrestre van de 0.007 a 0.026, y el valor de 0.007 abarca las facetas 1, 2, 21 y 22, mientras que los valores de 0.025 abarca el resto de las facetas.

#### *Valores de longitud y grado de pendiente (factor LS)*

Para longitud y grado de pendiente tenemos valores que varían de 0.03 a 8.

Las facetas que menor pendiente presentan y se encuentran en un rango de 3.02 y 0.9 que son las que se encuentran al sur del sistema terrestre a las faldas del Cerro Cuevas de Moreno, entre ellas, la 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

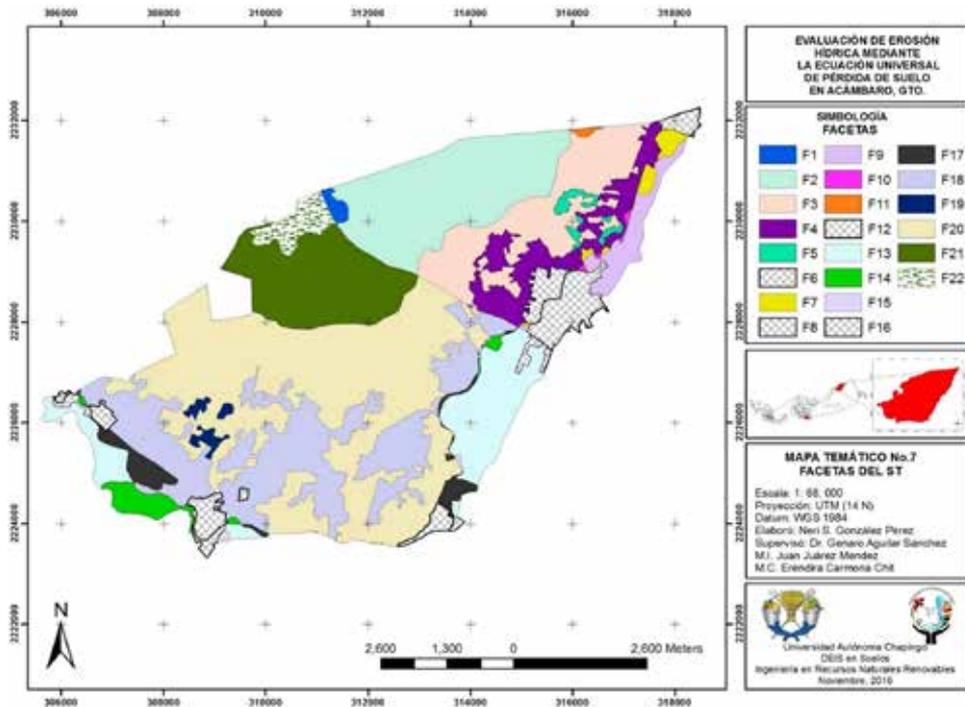


Figura 3. Mapa de facetas del Sistema Terrestre. Elaboración propia.

Las facetas con una longitud y grado de pendiente con valores de 0.9 a 1.8 se encuentran muy dispersas. Sin embargo, están en algunas facetas como la 2, 3, 20, 21. El grado y longitud de pendiente que va de 0.8 a 2.7 se ve en las facetas parte de la 2, 3, 4, 5, 6, 17, 19 y 21.

En el rango de longitud y pendiente que va de 2.7 a 4.0 se encuentran en algunas facetas como la 1, 2, 3, 4, 20 y 21.

Finalmente, el grado más alto de longitud y grado de pendiente que va de 4 a 8, se observa principalmente en dos facetas: la 20 y la 22.

#### *Valores de valor de manejo y cobertura vegetal (factor C)*

Los valores del factor C varían del número 0 a 1, donde los valores más bajos representan una buena cobertura de vegetación y depende de la vegetación que cubre la zona que, en este caso, se manejan seis tipos de uso de suelo y vegetación, entre los que se encuentran el pastizal inducido cultivado, el matorral subtropical, el bosque de encino, la agricultura temporal, la agricultura de riego

y, finalmente, las áreas urbanas. La cobertura que más predomina es el matorral subtropical, como pudimos constatarlo en la salida de campo.

Tabla 3. Valores de C encontrados en las facetas del Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno

Valor	Faceta
0.001	22 y 1
0.001-0.216	2, 3, 4, 5, 11, 18, 19, 20 y 21
0.216-0.54	7, 9, 10, 13, 14, 17 y 20
0.549-1	6, 8, 12, 14, 16 y 18

*Valores de prácticas de conservación (factor P)*

A este factor se le dio un valor de 1, ya que no se observaron prácticas culturales que ayudaran a amortizar el impacto de la erosión hídrica en el área de estudio.

En algunos casos, se pudo observar delimitación de terrenos con algunos arbustos de la zona, lo que retenía el suelo generalmente en las áreas con vegetación densa.

*Obtención de tasa de erosión hídrica*

En el cuadro que vemos a continuación se muestran las toneladas por hectárea de pérdida de suelo que se presentan en el sistema terrestre.

Tabla 4. Rangos de erosión hídrica encontrados en las facetas del ST Cerro Cuevas de Moreno

Pérdida de suelo Erosión hídrica actual (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Facetas
Nula (<2)	1, 2, 3, parte de la 8, 11, 20, 21 y 22.
Ligera (2-10)	7, 9, 5, 10, 12, 14, 15, 18, 17.
Moderada (10-50)	Parte de la 3, 5, 6, 7, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, y parte de la 20.
Alta (50-200)	Donde más se pierde suelo es en la faceta 20, parte de la 12, 15, 16, 6, 5, 5, 6.
Muy alta (>200)	Encontramos pérdidas de suelo muy altas sólo al norte de la faceta 6. Las áreas que presentan este tipo de erosión pierden anualmente más de 200 ha-1. Se asume que sus suelos han perdido todo el horizonte "A", más parte de todo el horizonte inmediatamente inferior. La mayor parte de estas áreas pueden presentar un intrincado patrón de cárcavas.

## Discusión de resultados

Es importante mencionar que para las facetas con superficie más grande era necesario realizar más de dos sitios ya que no podemos generalizar la información y hacer de cuenta que todo se comporta de la misma manera.

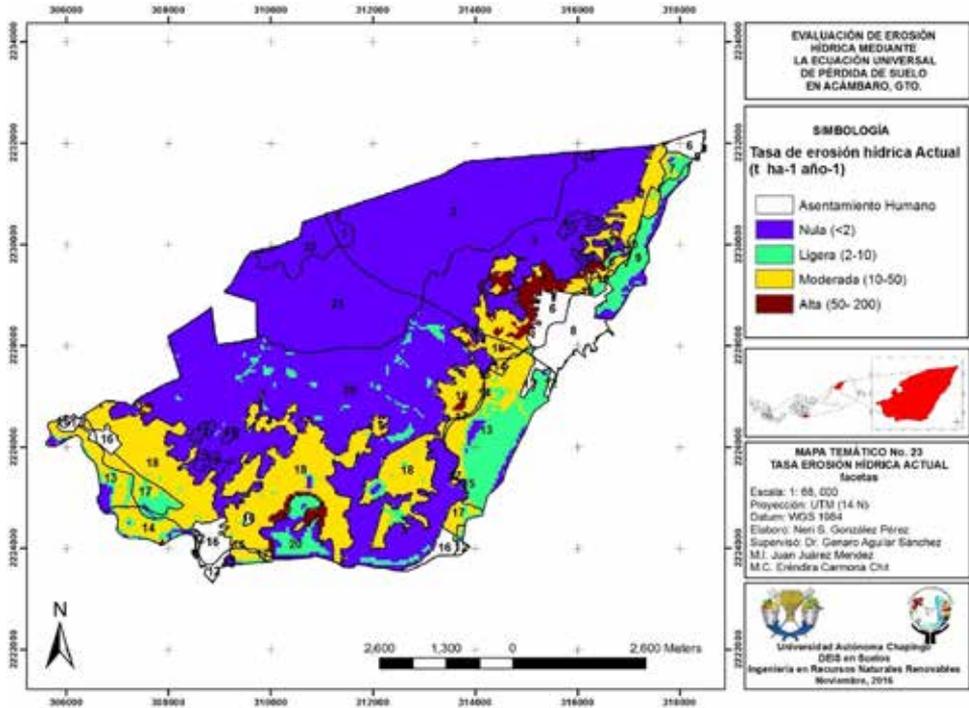


Figura 4. Mapa de Tasa de erosión hídrica actual en el Sistema Terrestre Cerro Cuevas de Moreno. Elaboración propia.

Las cuatro clases de erosión que se presentan dentro del sistema terrestre se dividen de la siguiente manera.

*Erosión hídrica alta:* suelos que han perdido más del 75 por ciento del horizonte A original. En su mayor parte, la capa arable consiste enteramente, o en gran medida, del material que subyace a dicho horizonte. La cantidad de suelo perdido al año va de 50 a 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Encontramos este tipo de erosión en pequeñas áreas donde aumenta la pendiente, pero la cobertura del suelo es, además, mínima, aunque lo encontramos en áreas planas. Las partes pla-

nas que presentan esta condición son aquéllas donde se practica la agricultura, como maíz y sorgo, y en algunas se practica el pastoreo de ganado ovino. Una pequeña proporción le pertenece a matorral subtropical. El área afectada con erosión alta también es mínima, tal como lo muestra el mapa de erosión. Las áreas afectadas se encuentran al sur del sistema terrestre.

*Erosión hídrica moderada:* en este tipo de erosión, se pierden de 10 a 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y se encuentra presente en casi un 20 por ciento de la superficie terrestre del sistema. Los suelos que presentan este tipo de erosión han perdido entre el 25 y el 75 por ciento de la profundidad del horizonte A original. En su mayor parte, el estrato superficial consiste en una mezcla de este horizonte y del estrato subyacente. El área afectada por este tipo de erosión es la parte sur del sistema, donde casi no se presenta pendientes. Sin embargo, se observa pastoreo de ganado, agricultura y, en pequeñas partes, matorral que no supera el 1.5 metros de altura. La superficie es mínima, ya que debido a que, aunque estén en periodo de lluvias, la vegetación que recubre el suelo es constante.

*Erosión hídrica ligera:* en este tipo de erosión se pierden menos de 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en este caso de 2 a 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; agrupa suelos que han perdido parte del horizonte A original, pero en porcentajes inferiores al 25 por ciento. La erosión ligera en el sistema terrestre está presente en las facetas ubicadas al sur y al este. Las características principales de estas facetas, la 7, 9, 12, 18, es que presentan una gran actividad agrícola tanto de riego como de temporal. En la realización del presente estudio los suelos estaban con el cultivo en crecimiento de maíz y sorgo. El trabajo se realizó durante el periodo de lluvias, y se veía claramente las zonas donde estaba el suelo siendo arrastrado. Sin embargo, no era una condición que se viera en todas las facetas, se logró ver esto en aquéllas que estaban en preparación para ser cultivadas.

*Erosión hídrica nula:* de 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, agrupa suelos que han perdido parte del horizonte A original, pero en porcentajes inferiores al 25 por ciento. La mayor parte de la superficie del sistema terrestre se encuentra en esta condición, y esto no quiere decir que no se presente pérdida de suelo por erosión hídrica sino que la pérdida es mínima. Para este caso, asciende a menos de 2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Esta condición se justifica porque los sitios visitados de las facetas 2, 3, 11, 8, 20, 21 y 22 presentaban en su mayoría matorral subtropical con una altura de 1.5 metros a 2 metros y la cobertura del suelo era buena, la profundidad de estos suelos iban de 10 a 30 centímetros y, en algunos casos, de 10 a 50 centímetros, la vegetación era densa en las partes medias. Podría haber cierto grado de error, ya que, al ser facetas más extensas, lo ideal era realizar más sitios,

pero, debido a la falta de brechas para acceder a la zona, no se pudo realizar. Las facetas 1 y 21, que también recaen en esta condición, fue observada desde la distancia, puesto que era posible subir a la montaña. Me apoyé también en la revisión de la literatura, además de en imágenes satelitales que permitían ver la calidad del bosque de encino. Otra de las condiciones a destacar es que, aun cuando estas facetas también presentan terrenos agrícolas y esperaríamos un mayor grado de erosión, la realidad es que la pendiente no es muy pronunciada, lo que, al hacer el cálculo, nos arroja un menor grado de erosión. Cabe destacar que el grado de pendiente más alto que se encontró, usando el *software ArcGIS*, fue de 27 grados, lo cual indica que, si bien se observa una montaña, la subida no es muy inclinada. Por otro lado, en lugares donde la pendiente tiende a ser alta, el factor que influye demasiado en el control de la erosión es la cobertura que se encuentre en el lugar, que, como podemos ver, en casi todo el sistema terrestre predomina el matorral subtropical. Otro factor determinante y que impide, en gran medida, que nos arroje una erosión alta, es la erodabilidad de los suelos, pues en la parte norte encontramos litosoles y éstos tienen los más bajos valores de erodabilidad, lo cual se ve potenciado por las partículas características de los suelos en el sistema, tales como la textura, que es fina en toda la superficie.

## Conclusiones

Este estudio permitió ver cómo influyen los diferentes factores de EUPS en el cálculo final de erosión. Se obtuvo la tasa de erosión hídrica para el Sistema Terrestre Cuevas de Moreno; a partir de esto se deduce que el 70 por ciento de la superficie presenta erosión nula a ligera.

A pesar de que no se observa gran pérdida de erosión, es necesario seguir manteniendo la cobertura en buen estado, pues las características topográficas, edáficas y de vegetación también son susceptibles a ser dañadas.

La evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en el Cerro Cuevas de Moreno, a escala 1:50000, representa de manera teórica y práctica las metodologías que se emplean en un estudio de erosión a nivel local y, aunque éstas dan un dato cuantitativo de la pérdida de suelo, sería importante calcular los escurrimientos para tener una idea certera de la cantidad de depósito.

Con esta evaluación de erosión y sus objetivos cumplidos, aportamos al conocimiento sobre la pérdida de suelos a nivel local y que podría ser retomada para el ámbito de planeación, además de que marca una pauta para futuras

investigaciones. Los resultados deben orientarse a generar estrategias para el cuidado del ambiente. El hecho de contar con una base cartográfica y de información sobre las características naturales y socioeconómicas de cierta área permiten dirigir los esfuerzos de manera objetiva, ya sea para seguir manteniendo en buen estado el suelo o usar técnicas para reducir las pérdidas en zonas con ese problema.

## Referencias

- FAO (1967), *La erosión del suelo por el agua, algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*, FAO, Roma, pp. 1-177.
- FAO y PNUMA (1980), *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*, FAO, PNUMA, Roma.
- FAO (2005), *Sistema de la clasificación de la cobertura de la tierra*, FAO, Roma, 47p.
- GARCÍA, E. (2004), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México, México, pp. 57-62.
- INEGI (1980), *Síntesis geográfica de Guanajuato*, Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, México, pp. 18-87.
- LUNA, M. D. D. (2013), *Caracterización y diagnóstico para el manejo de recursos naturales en el Municipio de Tecamatlan, Puebla*, tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- MANCILLA, E. G. (2008), *Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en el campo forestal*, Chile, pp. 4-48.
- MORGAN, R.P.C. (1997), *Erosión y conservación del suelo*, México, pp. 33-45.
- ORTIZ, S. C. A. y CUANALO, C. H. E. (1984), *Metodología del levantamiento fisiográfico: un sistema de clasificación de tierras*, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 86 p.
- SÁNCHEZ, A. D. (2014), *Caracterización del uso de la vegetación en el Municipio de Acámbaro, Guanajuato*, tesis, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, pp. 39-42.
- SARH (1991), *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*, SARH, México, pp. 3-109.

- SEMARNAT-UACH (2002), *Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República mexicana, Escala 1:1000000*, SEMARNAT-UACH, México.
- SEMARNAT (2013), *Informe de la situación de medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición, 2012*, México, pp. 121-132.
- INSTITUTO DE ECOLOGÍA DEL ESTADO (2015), *Subsistema de Información Geográfica y Medio Ambiente del Estado de Guanajuato*, en <http://mapas.ecologia.guanajuato.gob.mx/>
- WISCHMEIER, W. H. y SMITH, D. D (1978), “Predicting Rainfall Erosion Losses-A. Guide to Conservation Planning”, *USDA Handbook* N° 537, 58p.

# Reseña histórica de los ciclones tropicales en el Estado de Guerrero, México (1951-2019)

Gabriel Sánchez-Rivera, Adrián Cervantes-Martínez, Óscar Frausto-Martínez  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

## Introducción

El Estado de Guerrero se localiza en las costas del Pacífico suroccidental de la república mexicana; por su ubicación el territorio estatal y, en particular, sus zonas costeras son susceptibles al embate de ciclones tropicales durante los meses de junio a noviembre —temporada de huracanes—, donde la mayor actividad promedio se registra entre los meses de agosto a septiembre. Esta exposición a los efectos asociados a los meteoros, particularmente las lluvias y vientos, de acuerdo con Solow (2017) y Van de Pol *et al* (2017), cobra particular relevancia dado que pueden derivar en grandes costos económicos para la población como consecuencia de las posibles afectaciones a la infraestructura, medios de producción y pérdida de vidas humanas.

Ejemplo de lo anterior son los trabajos publicados por diversos autores en los que se destacan y analizan los efectos y consecuencias de los huracanes *Paulina* [1997] (Villegas-Romero *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2015; Rodríguez Esteves, 2017), *Ingrid* [2013] (Aviña Vega *et al.*, 2018), *Max* [2017] (Bedolla Solano *et al.*, 2021) y las tormentas tropicales *Henriette* [2007] (Palacios Ortega *et al.*, 2015) y *Manuel* [2013] (Rodríguez Esteves, 2017; Aviña Vega *et al.*, 2018), fenómenos que desencadenaron procesos de remoción en masa e inundaciones que provocaron la pérdida de vidas humanas y daños considerables en la infraestructura y en los sistemas socioecológicos de la región.

Durante el período comprendido entre los años 1951 y 2019 se reportó la formación de 1,535 sistemas ciclónicos en el Pacífico nororiental (IBTrACS,

2019), de los cuales el 14% (208) impactaron el territorio nacional, y de los cuales 104 lo hicieron por las costas del suroccidente del país.

Dicho lo anterior, para el presente estudio se plantearon como preguntas de investigación, el identificar el número de ciclones que impactaron el Estado de Guerrero en el período 1951-2019 y la caracterización de los ciclones como eventos en categoría de extremos, en función de la rareza de su ocurrencia —raros, muy raros y extremadamente raros—, tomando como base los criterios de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2018).

La caracterización se realizó a partir de las variables de análisis “velocidad máxima de vientos sostenidos” y “mínima presión atmosférica”, mediante el modelo estadístico “excedente a un umbral relativo (*exceeding a relative threshold*)” (WMO, 2018) y los umbrales de referencia 10.0 y 90.0; 1.0 y 99.0; y 1 y 99.9 percentiles (Sánchez-Rivera *et al.*, 2021).

### *Ciclones tropicales*

Los ciclones tropicales son fenómenos hidrometeorológicos representados por “una circulación atmosférica cerrada que gira en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido horario en el hemisferio sur” (NHC, 2019). Estos fenómenos se caracterizan por ser grandes masas de aire cálido y húmedo con intensos vientos y abundantes precipitaciones alrededor de una zona de baja presión (Rosengaus-Moshinsky *et al.*, 2002), los cuales pueden representar una amenaza para las poblaciones y los sistemas socioecológicos de las zonas costeras del país.

Para comprender la dinámica y los patrones que permitan explicar la ocurrencia de ciclones tropicales, diversos autores —entre los que destacan Holland y Bruyère (2014) y Doval, Pérez, Acosta y Rodríguez (2013)— han realizado estudios en los que correlacionan diversas variables, como las siguientes: la temperatura de la superficie oceánica, la actividad de las manchas solares y ENOS (El Niño-Oscilación del Sur).

### *Eventos extremos*

En cuanto a la caracterización de los eventos perturbadores en categoría de extremos, ésta resulta compleja, debido a que no existe un consenso en cuanto a su definición. Stephenson (2008) propone que los ciclones categorizados como extremos serían aquéllos cuya ocurrencia es “rara”, con efectos “severos” y “graves”, donde “raro” queda definido como aquellos eventos con baja probabilidad de ocurrencia. La WMO (2018) establece que los eventos considerados

como “raros”, serían aquéllos que superan los percentiles 90 y 95, mientras que los considerados como “muy raros” excederían el rango de 1 y 99 o superiores. Otros autores como Décamps (2008) proponen que los eventos en categoría de extremos serían aquéllos que exceden algún tipo de límite en función de su magnitud, duración y frecuencia.

En la literatura científica no se encontró una definición única y consensuada para definir y clasificar eventos hidrometeorológicos en categoría de extremos. Entre los principales métodos y técnicas identificadas destacan los siguientes: *a)* Pico por encima del umbral (IPCC, 2012); *b)* Teoría del valor extremo (Tiago de Oliveira, 1986); *c)* Excedente a un umbral relativo (IPCC, 2014); *d)* Excedente a un umbral y un período de retorno (WMO, 2018); y *e)* Efectividad: eventos que desencadenan un desastre o emergencia (IPCC, 2014) y que puede ocasionar la pérdida de vidas, lesiones, etc. (WMO, 2018).

Si bien, existen diversas propuestas para categorizar los eventos como extremos, en el caso particular de los ciclones tropicales, la mayoría de los estudios consultados se centran en la clasificación en términos de la “escala Saffir-Simpson —S.S.—”, la cual fue desarrollada por los ingenieros Herb Saffir y Bob Simpson, y que toma como base la intensidad de los vientos máximos sostenidos (Schott *et al.*, 2012). Esta escala indica los probables daños materiales que los vientos pudieran provocar y agrupa a los huracanes en cinco (5) categorías en función del aumento de la velocidad de los vientos, sin embargo, esta escala no considera la clasificación de los meteoros en función de su probabilidad de ocurrencia (Schott *et al.*, 2012).

## Materiales y métodos

### *Área de estudio*

El área de estudio corresponde al territorio del Estado de Guerrero, el cual se localiza en la región suroccidental de la república mexicana, junto con los estados costeros de Jalisco, Colima, Michoacán, Oaxaca y Chiapas (figura 1); los cuales en conjunto representan el 18% (2,066.05 km aprox.) de las costas del país. El Estado de Guerrero cuenta con una línea de costa aproximada de 1,950 km (INEGI, 1991).

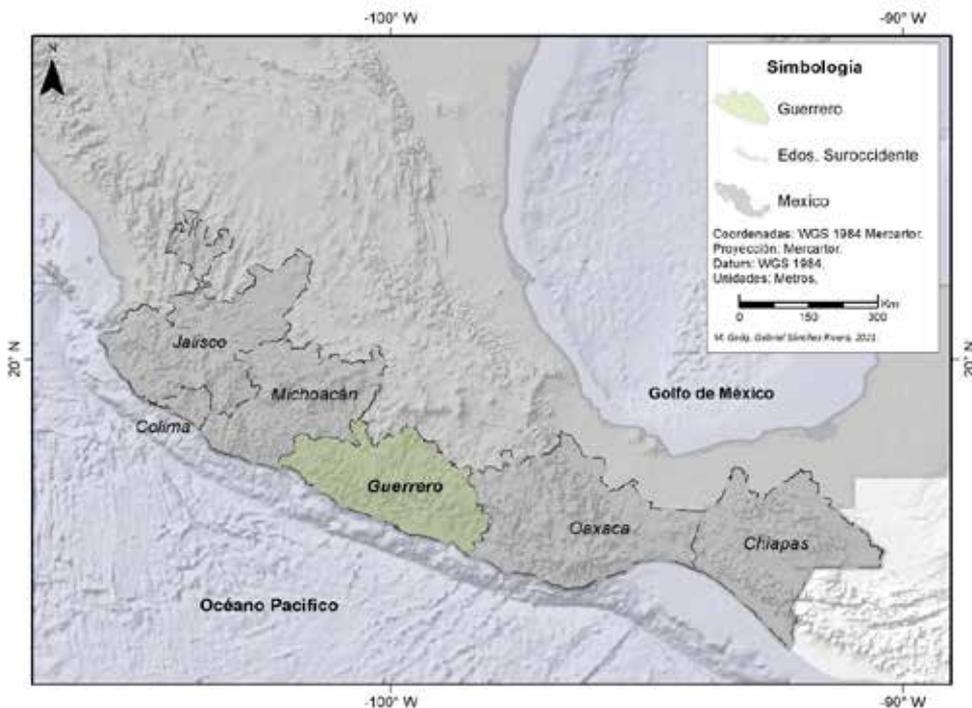


Figura 1: Región suroccidental de la república mexicana. Fuente: elaboración propia con datos de Amante y Eakins (2009), Flanders Marine Institute (2018) e (INEGI, 2019).

### Datos

La información sobre las trayectorias y características físicas de los ciclones tropicales fueron adquiridas a través de los registros de la base de datos de la “mejor trayectoria” (IBTrACS, 2019), de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica —NOAA por sus siglas en inglés—. La información —de acceso público— es producto del reanálisis posterior a la temporada de ciclones, reportada en períodos de 6 h (Kenneth R. Knapp *et al.*, 2009).

Los registros del IBTrACS (2019), de acuerdo con K. R. Knapp *et al.* (2018), presentan variaciones espacio-temporales debido a que éstos son obtenidos de diversas fuentes entre las que se cuentan: observaciones superficiales, barcos, aeronaves e imágenes satelitales. De ahí que, para cada evento en particular, se tengan niveles de incertidumbre heterogéneos, asociados a diversas características como son: localización geográfica, intensidad, permanencia, año de formación, etc.

Para identificar los ciclones que impactaron el Estado de Guerrero se tomó como referencia el polígono que representa el territorio estatal del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2019).

### *Métodos*

Los métodos y procedimientos para alcanzar los objetivos del estudio fueron los siguientes:

*Adquisición y preprocesamiento de datos.* Se homologaron todas las capas vectoriales a la proyección cartográfica UTM-GCS-WGS-1984 y se realizaron —según el caso— las conversiones de unidades al sistema métrico internacional.

*Procesamiento de datos.* Se construyó una base de datos correlacional a partir de la cual se efectuaron las consultas que permitieron identificar los ciclones que tocaron tierra en el país y en el Estado de Guerrero. Las operaciones se efectuaron mediante el lenguaje de programación SQL. Los procesos cartográficos y de análisis espacial se realizaron a través del Sistema de Información Geográfica —SIG— *ArcGis 10.3*.

*Modelos, variables y parámetros de referencia.* Para la identificar y caracterizar los ciclones tropicales como eventos extremos en función de la rareza de su ocurrencia —raros y muy raros—, se aplicó el modelo estadístico “excedente a un umbral relativo —*exceeding a relative threshold*—”, tomado como umbrales de referencia los valores 0.1 y 99.9; 1.0 y 99.0; 10.0 y 90.0 percentiles (WMO, 2018; Sánchez-Rivera *et al.*, 2021). Las variables consideradas fueron la velocidad máxima de vientos sostenidos [km/h] y mínima presión atmosférica [mb].

## Resultados

### *Caracterización de las temporadas 1951-2019*

Los registros del IBTrACS reportan la formación de un total de 1,535 ciclones durante el período 1951-2019. De ellos, 104 (7%) tocaron tierra en los territorios de los estados costeros del suroccidente mexicano y, a su vez, 23 el Estado de Guerrero (cuadro 1), lo que posiciona a la entidad en el segundo puesto con la menor cantidad de impactos directos en su territorio, sólo por delante del Estado de Chiapas, el cual registra el impacto directo en su territorio de 10 eventos durante el mismo período.

De los 23 ciclones que ingresaron por el Estado de Guerrero, 48% (n = 11) alcanzaron la categoría —en escala S.S.— de huracán 1, y 13% (n = 3) la de huracán 4. No se reporta el impacto de ciclones en categorías 3 y 5.

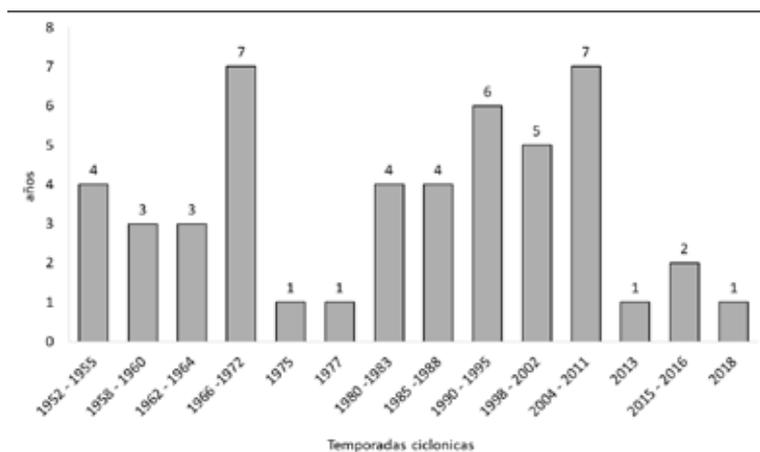
Cuadro 1: Ciclones que impactaron el Estado de Guerrero en el período 1951-2019.

Nombre	Año	Cat. / Dist. Total	Cat. / Dist. Tierra	% Trr / Total
Sin nombre	1951	DT / 939.78	TT / 94.0	10%
Wallie	1965	DT / 528.97	TT / 100.4	19%
Claudia	1973	DT / 1078.55	TT / 197.3	18%
Carlos	2003	DT / 833.51	TT / 132.7	16%
Trudy	2014	DT / 422.48	TT / 99.6	24%
Narda	2019	DT / 1925.67	TT / 18.7	1%
Sin nombre	1951	H1 / 1085.40	H1 / 335.2	31%
Sin nombre	1956	H1 / 894.47	H1 / 109.8	12%
Sin nombre	1957	H1 / 561.13	H1 / 15.8	3%
Iva	1961	H1 / 1124.15	H1 / 30.1	3%
Tara	1961	H1 / 862.64	H1 / 108.5	13%
Dolores	1974	H1 / 843.86	H1 / 130.8	16%
Norma	1974	H1 / 464.56	TT / 58.0	12%
Aletta	1978	H1 / 565.19	TT / 19.0	3%
Cosme	1989	H1 / 2306.67	H1 / 186.0	8%
Boris	1996	H1 / 1659.54	H1 / 86.1	5%
Max	2017	H1 / 423.71	H1 / 115.5	27%
Fifi:orlene	1974	H2 / 5759.72	DT / 86.0	1%
Odile	1984	H2 / 1349.47	H1 / 26.5	2%
Carlotta	2012	H2 / 1478.69	H1 / 282.0	19%
Madeline	1976	H4 / 1993.64	H3 / 25.3	1%
Ignacio	1979	H4 / 2437.71	DT / 42.4	2%
Pauline	1997	H4 / 1581.17	H1 / 461.0	29%

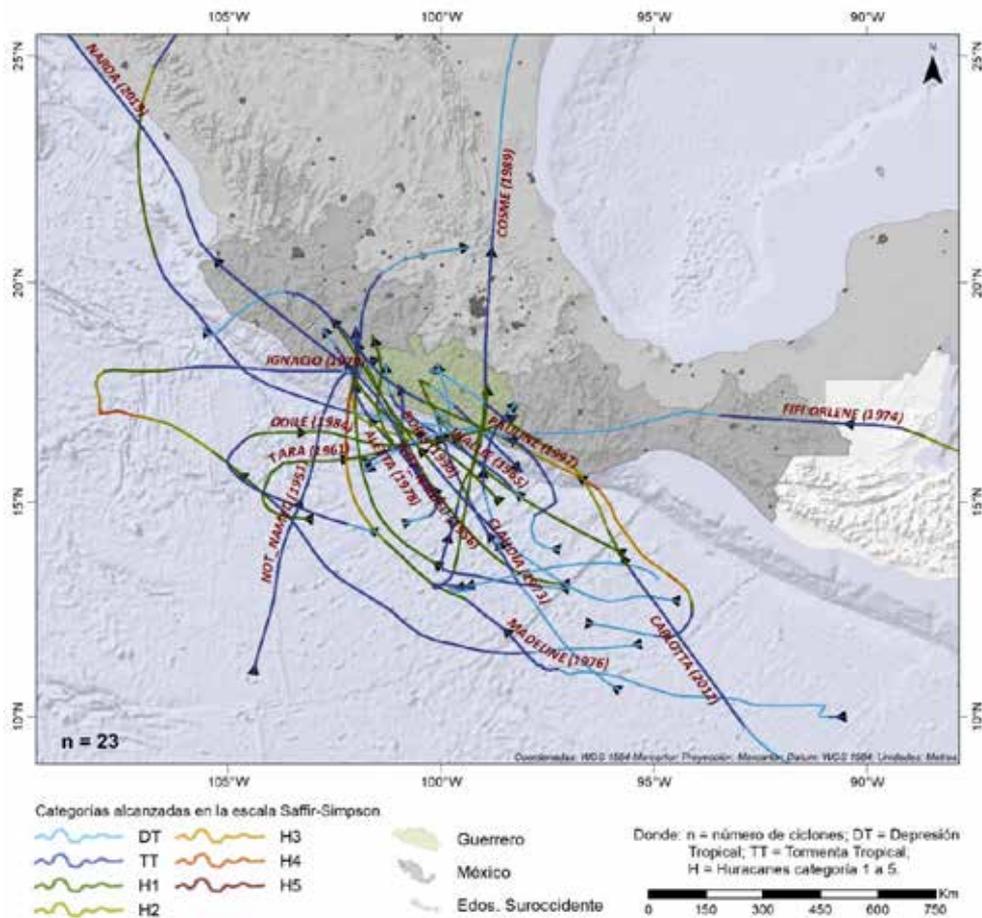
Donde: “Cat./Dist. Total” = Categoría S.S. y distancia total recorrida [Km]; “Cat./Dist. Tierra” = Categoría S.S. al impactar tierra y distancia recorrida en tierra [Km]; “% Trr / Total” = % de la distancia recorrida en tierra con respecto al total de la distancia recorrida por cada evento. Fuente: Elaboración propia con datos del IBTrACS (2019).

Durante el período estudiado (68 años) se identificó que en el 72% (n=49) de las temporadas de ciclones no hubo impactos directos en el territorio estatal, ocurriendo únicamente en el 28% (n= 19) de los casos. Sobresalen las temporadas de los años 1966-1972 y 1998-2002 con el máximo número de años consecutivos (7) sin impactos en tierra, seguido por las temporadas 1990-1995 con 6 años (figura 2).

Figura 2: Temporadas de ciclones sin impactos directos en tierra en el Estado de Guerrero.



Las trayectorias de los ciclones en categoría de huracán que han impactado el Estado de Guerrero, se presentan en la figura 3.



Fuente: Elaboración propia con datos del IBTrACS (2019).

Figura 3: Trayectorias de los ciclones tropicales que impactaron las costas del Estado de Guerrero, agrupados por categorías en la escala Saffir-Simpson.

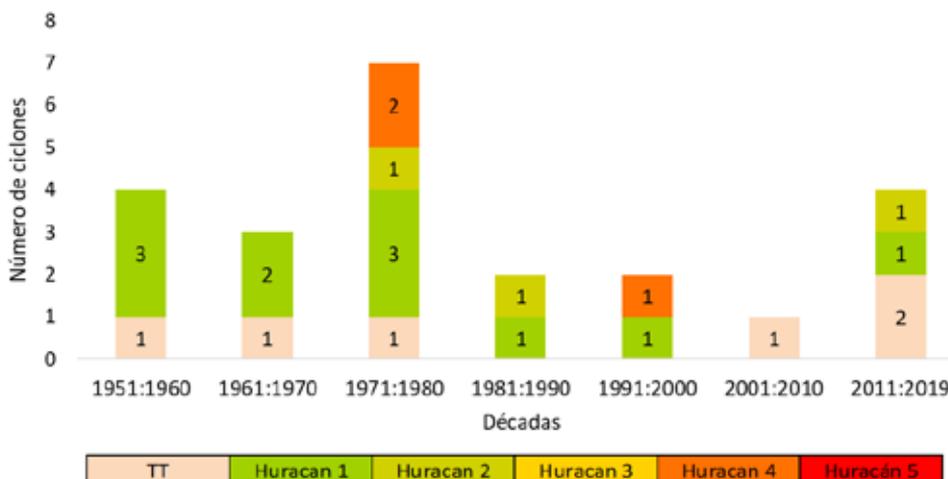
Para identificar los patrones de ocurrencia de los ciclones que han impactado la zona de estudio, se agruparon en función de décadas y categorías —escala S.S.—. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento no homogéneo en la cantidad e intensidad de los eventos que han tocado tierra, no identificándose tendencia al alza tanto en cantidad como en intensidad. La década de los 70 del siglo XX, sobresale por presentar el mayor número de eventos registrados (7), seguida por las décadas de los 50 del mismo siglo y la segunda

del siglo XXI, con un máximo de 4 eventos cada una. En contraste, es durante la primera década del presente siglo cuando se registra el mínimo impacto de meteoros en el estado, con sólo un evento en categoría máxima de tormenta tropical. Sobresale también el que no existe registro de impactos en territorio guerrerense de ciclones en categorías de huracán 3 y 5 (cuadro 2 y figura 4).

Cuadro 2: Número de ciclones por categoría y década en el período 1951-2019.

Décadas	En escala Saffir-Simpson (SS)						Totales
	TT	H1	H2	H3	H4	H5	
1951:1960	1	3					4
1961:1970	1	2					3
1971:1980	1	3	1		2		7
1981:1990		1	1				2
1991:2000		1			1		2
2001:2010	1						1
2011:2019	2	1	1				4
<b>Totales</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>23</b>

Figura 4: Número de ciclones agrupados por categoría —S.S.— y década en el período 1951-2019.



Donde: TT = Tormenta tropical. Fuente: Elaboración propia con datos del IBTrACS (2019).

*Ciclones categorizados como eventos extremos.*

Los ciclones fueron caracterizados como eventos extremos mediante la aplicación del modelo excedente a un umbral relativo, tomando como base el total de meteoros reportados por el IBTrACS (2019) para el Pacífico nororiental ( $n = 1,535$ ). Los resultados sitúan a los huracanes *Nancy* [H5, 1961] y *Patricia* [H5, 2015] como los de mayor intensidad, superando el umbral de 0.1 y 99.9 percentiles para las variables “mínima presión atmosférica” y “velocidad máxima de vientos sostenidos” respectivamente, lo que los posiciona en la categoría de “extremadamente raros” en función de su probabilidad de ocurrencia. El huracán *Nancy* no alcanzó tierras mexicanas, mientras que el huracán *Patricia* ingresó por el estado de Jalisco con valores extremos de “velocidad de vientos máximos sostenidos” de 342.6 km/h y “mínima presión atmosférica” de 872 mb. Siendo el huracán de mayor intensidad registrado en la zona en el período estudiado, incluso por encima del huracán *Wilma* [H5, 2005] formado en el Atlántico Norte y que impactara el Estado de Quintana Roo, en la península de Yucatán, y que alcanzara una “velocidad máxima de vientos sostenidos” del orden de los 296 km/h y “mínima presión atmosférica” de 882 mb.

En la categoría de eventos “muy raros” se identificaron 15 huracanes en categoría H5, que sobrepasaron los umbrales 1.0 y 99.0 percentiles y de los cuales ninguno impactó las costas de los estados del suroccidente mexicano: *Olive* [1952]; *Lola* [1957]; *Vera* [1959]; *Karen* [1962]; *Ruth* [1962]; *Kit* [1966]; *Irma* [1971]; *Tip* [1979]; *Gay* [1992]; *Joan* [1997]; *Linda* [1997]; *Paka* [1997]; *Dianmu* [2004]; *Rick* [2009]; *Vongfong* [2014].

En el caso del Estado de Guerrero, dos (2) de los tres (3) ciclones que alcanzan tierra con categoría máxima de huracán 4, superaron los límites del umbral 90 percentiles para la variable “velocidad máxima de vientos sostenidos”, cayendo en la categoría de eventos “raros”. Los casos corresponden a los huracanes *Madelin* [H4, 1976] con “velocidad máximas de vientos sostenidos” de 231.5 km/h y “mínima presión atmosférica” de 941 mb e *Ignacio* [H4, 1979] con valores respectivos de 231.5 km/h y 938 mb (figura 5).

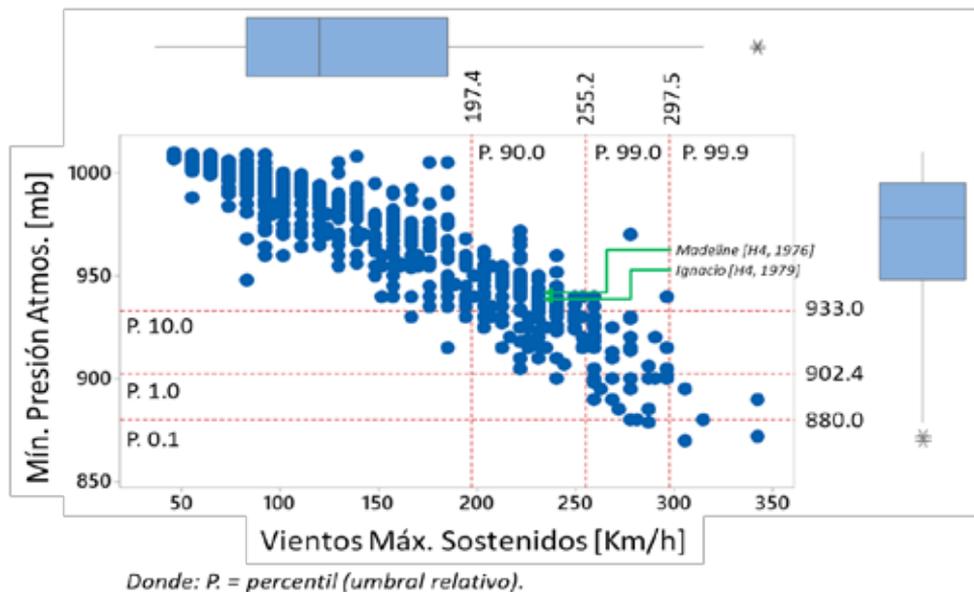


Figura 5: Diagrama de dispersión y valores de referencia del modelo excedente a un umbral relativo para los ciclones formados en el Pacífico nororiental.

## Discusión y conclusiones

De acuerdo con los hallazgos obtenidos, no se identifica una tendencia al incremento en el número e intensidad —magnitud— de ciclones que han tocado territorio guerrerense, esto quizá se deba a como lo afirman Walsh (2004) y Walsh *et al.* (2016), que será hacia la década de los 50 del presente siglo, cuando se ponga de manifiesto un incremento en la intensidad máxima entre el 5% y 10% como consecuencia del calentamiento global derivado del cambio climático.

De la caracterización de los ciclones, como eventos extremos, destaca que de los ocho (8) ciclones en categorías H4 y H5 que han impactado las costas suroccidentales del país, dos (2) de ellos tocaron tierra firme en el Estado de Guerrero en categoría de eventos “raros” al superar los percentiles 10 y 90, no habiendo impactos de ciclones en categoría de “muy raros” o “extremadamente raros”.

La mayoría de los ciclones en categoría de huracán que impactaron el estado alcanzaron categorías máxima de huracán 1.

De la revisión de la literatura científica en torno a concepto de eventos extremos, se constató que no existe un consenso para una definición única, dado que, como lo plantean Stephenson (2008) y la WMO (2018), el concepto es abordado desde diversas disciplinas como la meteorología, las ciencias biológicas y sociales, entre otras.

La caracterización de eventos en categoría de extremos —raros, muy raros y extremadamente raros— permite estimar las capacidades de resiliencia y vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos y de los servicios ecosistémicos de los cuales depende la población de la región.

Los hallazgos del presente estudio pueden ayudar a coadyuvar con información necesaria para llevar a cabo estudios y proyectos que requieran la delimitación de zonas prioritarias de atención ante el impacto de fenómenos de alta intensidad y rara probabilidad de ocurrencia.

Finalmente, es necesario profundizar en el análisis y caracterización de eventos en categoría de extremos en función de la probabilidad de ocurrencia, tomando como referencia otras variables, como son la lluvia y los efectos sobre los sistemas socioecológicos y los servicios ecosistémicos, toda vez que en la literatura se reporta que no existe una relación directamente proporcional entre la categoría que alcanza un ciclón en la escala Saffir-Simpson y la ocurrencia de inundaciones y deslizamientos que ponen en riesgo a la población y sus medios de producción, dado que esto se encuentra vinculado a las condiciones de vulnerabilidad preexistentes.

## Referencias

- AMANTE, C., & EAKINS, B. W. (2009). *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. <<https://doi.org/10.7289/V5C8276M>>.
- AVIÑA VEGA, N. G., MILIÁN ÁVILA, G. M., & GUEVARA ROMERO, M. L. (2018). “Otra respuesta frente a los desastres. Huracán Ingrid y tormenta tropical Manuel, Chilpancingo, Guerrero, México”. *Espacio y Desarrollo*, 54 (32), 29-54. <<https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201802.002>>.
- BEDOLLA SOLANO, R., MIRANDA ESTEBAN, A., BEDOLLA SOLANO, J. J., & SÁNCHEZ ADAME, O. (2021). “Análisis prospectivo-educativo del impacto del

- huracán Max en una comunidad de Guerrero”. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 11(22). <<https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.877>>.
- DÉCAMPS, H. (2008). “Ecosystems and extreme climatic events”. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(9-10), 553-563. <<https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.08.004>>.
- DOVAL, J. P., PÉREZ, M. B., ACOSTA, J. O., & RODRÍGUEZ, E. (2013). “Caracterización de las trayectorias de los ciclones tropicales en la Cuenca Atlántica en relación con la actividad solar y otras variables”. *XI Congreso Cubano de Informática y Geociencias (GEOINFO'2013)*, 18.
- FLANDERS MARINE INSTITUTE. (2018). *IHO Sea Areas, version 3*. <<https://doi.org/10.14284/323>>.
- HOLLAND, G., & BRUYÈRE, C. L. (2014). “Recent intense hurricane response to global climate change”. *Climate Dynamics*, 42(3-4), 617-627. <<https://doi.org/10.1007/s00382-013-1713-0>>.
- IBTrACS. (2019). *IBTrACS v04r00 - Online browsing*. International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS). NOAA. <<https://www.ncdc.noaa.gov/ibtracs/index.php>>.
- INEGI. (1991). *Datos Básicos de la Geografía de México* (segunda). <[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825221218/702825221218_1.pdf)>.
- INEGI. (2019). *Marco Geoestadístico*. <<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/default.html#Descargas>>.
- IPCC. (2012). “Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation”. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, & Q. Dahe (Eds.), *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <<https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>>.
- IPCC. (2014). “Future Climate Changes, Risks and Impacts”. In *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>>.
- KNAPP, K. R., DIAMOND, H. J., KOSSIN, J. P., KRUK, M. C., & SCHRECK III, C. J. (2018, March). *International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) Project, Version 4. Subset: NA - North Atlantic*. NOAA National Centers for Environmental Information. Non-Government Domain. <<https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C01552>>.

- KNAPP, KENNETH R., KRUK, M. C., LEVINSON, D. H., & GIBNEY, E. J. (2009). “Archive Compiles New Resource for Global Tropical Cyclone Research”. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90(6), 46. <<https://doi.org/10.1029/2009EO060002>>.
- NHC. (2019). *Glossary of NHC Terms*. Centro Nacional de Huracanes de Los Estados Unidos de América. <<https://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>>.
- PALACIOS ORTEGA, R., MARTÍNEZ GARCÍA, M., & GUTIÉRREZ ÁVILA, J. (2015). “Planeación urbana, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos hidrometeorológicos, en los espacios periurbanos de Acapulco, Guerrero”. *20° Encuentro Nacional Sobre Desarrollo Regional En México*. <<http://ru.iiec.unam.mx/3053/>>.
- RAMOS, R. N., VÁZQUEZ, R., ROMERO, R., NOVILLO, C. J., ARROGANTE, P., & SÁNCHEZ, S. (2015). “Identificación de deslizamientos de laderas aplicando técnicas de detección de cambios a imágenes Landsat en la zona costera del Estado de Guerrero, México”. *Análisis Espacial y Representación Geográfica: Innovación y Aplicación: Universidad de Zaragoza*, 1(January 2016), 1271-1280. <[https://congresoage.unizar.es/eBook/trabajos/086\\_Ramos-Bernal.pdf](https://congresoage.unizar.es/eBook/trabajos/086_Ramos-Bernal.pdf)>.
- RODRÍGUEZ ESTEVES, J. M. (2017). “Los desastres recurrentes en México: El huracán Pauline y la tormenta Manuel en Acapulco, Guerrero”. *Disertaciones Anuario Electrónico Estudios de Comunicación Social*, 10(2), 133. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6040186>>.
- ROSENGAUS-MOSHINSKY, M., JIMÉNEZ-ESPINOSA, M., & VÁZQUEZ-CONDE, M. T. (2002). *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*. <<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>>.
- SÁNCHEZ-RIVERA, G., FRAUSTO-MARTÍNEZ, O., GÓMEZ-MENDOZA, L., Terán-Cuevas, Á. R., & Hernández, J. C. M. (2021). “Tropical Cyclones in the North Atlantic Basin and Yucatan Peninsula, Mexico: Identification of Extreme Events”. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 16(2), 145-160. <<https://doi.org/10.18280/ij dne.160204>>.
- SCHOTT, T., LANDSEA, C., HAFELE, G., LORENS, J., THURM, H., WARD, B., WILLIS, M., & ZALESKI, W. (2012). “The Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale”. *National Hurricane Center, February*, 1-4. <<http://www.nhc.noaa.gov/pdf/sshws.pdf>>.
- SOLOW, A. R. (2017). “On detecting ecological impacts of extreme climate events and why it matters”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1723), 8-11. <<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0136>>.

- STEPHENSON, D. B. (2008). "Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events". In H. F. Diaz & R. J. Murnane (Eds.), *Diaz, H.F., Murnane, R.J. (Eds.), Climate Extremes and Society*. Cambridge University Press, Cambridge. (pp. 11-23). Cambridge University Press. <<https://doi.org/10.1017/CBO9780511535840.004>>.
- TIAGO DE OLIVEIRA, J. (1986). "Extreme values and meteorology". *Theoretical and Applied Climatology*, 37(4), 184-193. <<https://doi.org/10.1007/BF00867576>>.
- VAN DE POL, M., JENOUVRIER, S., CORNELISSEN, J. H. C., & VISSER, M. E. (2017). "Behavioural, ecological and evolutionary responses to extreme climatic events: challenges and directions". *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1723), 20160134. <<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0134>>.
- VILLEGAS-ROMERO, I., OROPEZA-MOTA, J. L., MARTINEZ-MENES, M., & MEJIA-SAENZ, E. (2009). "Path and Relation Rain-Runoff Caused By Hurricane Pauline in the Sabana River, Guerrero, Mexico". *Agrociencia*, 43(4), 345-356. <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952009000400002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952009000400002&script=sci_arttext)>.
- WALSH, K. J. E. (2004). "Tropical cyclones and climate change: unresolved issues". *Climate Research*, 27(1), 77-83. <<https://doi.org/10.3354/cr027077>>.
- WALSH, K. J. E., MCBRIDE, J. L., KLOTZBACH, P. J., BALACHANDRAN, S., CAMARGO, S. J., HOLLAND, G., KNUTSON, T. R., KOSSIN, J. P., LEE, T., SOBEL, A., & SUGI, M. (2016). "Tropical cyclones and climate change". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1), 65-89. <<https://doi.org/10.1002/wcc.371>>.
- WMO. (2018). *Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events. Final Version*. World Meteorological Organization.



# Acapulco: desarrollo urbano, fenómenos naturales y riesgos

Osbelia Alcaraz Morales, Agustín Carlos Salgado Galarza  
Elsa Patricia Chavelas Reyes  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

## Introducción

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la situación de riesgo que presenta la ciudad de Acapulco por fenómenos naturales, contexto que responde a su ubicación y la forma en que se presentó su desarrollo urbano, por lo que este trabajo se organiza en cuatro partes: el desarrollo urbano de Acapulco, el riesgo en Acapulco, reseña del riesgo por fenómenos naturales y, por último, el riesgo y las políticas urbanas.

Respecto del desarrollo urbano de Acapulco, se analiza el crecimiento de la ciudad desde que el puerto renace como centro turístico. Su extensión urbana se ha desarrollado mediante la expropiación de tierras ejidales cercanas a la localidad, convirtiendo la tierra agrícola en urbana, expulsando a la población original, privilegiando a quienes tienen la capacidad monetaria de adquirir los mejores terrenos y más seguros, obligando a las clases populares a instalarse en las áreas con mayor riesgo. Sin duda, el turismo determinó el crecimiento urbano del puerto. Por tanto, la configuración de la ciudad y sus consecuencias está determinada por esta actividad.

En la segunda sección, y con el propósito de explicar qué se entiende por el término de “riesgo”, se hace una revisión sobre el significado que tiene para las autoridades; en algunos casos existe una visión técnica del vocablo, pero debe enfocarse desde el aspecto social, porque, como se observa en Acapulco, con el cambio de uso de suelo de rural a urbano, surgen áreas donde el riesgo es laten-

te para la población que las habita, como son las partes altas del anfiteatro, los causes de arroyos y barrancos; éstos son lugares donde se establece la población más pobre que, por falta de recursos económicos, tienen que aceptar vivir en sitios bastante vulnerables.

También se hace un recuento histórico de los fenómenos naturales que han afectado al Puerto de Acapulco, con el propósito de que se tenga presente que estos fenómenos pueden ocurrir en cualquier momento. Esto se debe a que la ciudad se localiza en la costa de Guerrero, donde existe actividad ciclónica y de tormentas tropicales provenientes del Océano Pacífico, además de sobre el Cinturón de Fuego y la Falla de San Andrés, por lo que es susceptible de sufrir temblores y tsunamis.

Por último, se hace un recuento de los documentos de planeación urbana del puerto, y se advierte que, aunque la ciudad ha sido objeto de la mayor cantidad de instrumentos de políticas urbanas, se han suscitado varios desastres por falta de previsión y por la ocurrencia de los fenómenos naturales a los que está expuesta.

## El desarrollo urbano de Acapulco

La construcción de la carretera de México-Acapulco, inaugurada el 11 de noviembre de 1927, durante el gobierno del general Plutarco Elías Calles, dio lugar a que iniciara el turismo en Acapulco. El reconocimiento turístico que ha tenido el puerto es la causa por la cual la urbe sufrió una importante transformación. Fue lo que ocasionó su crecimiento poblacional y la ampliación del suelo urbano, invadiendo zonas de riesgo, como las partes altas del anfiteatro, así como barrancas y cauces de ríos.

Las transformaciones que sufrió la vieja ciudad colonial, con la construcción progresiva de residencias y equipamiento turístico, no hubieran sido posible sin las políticas que implementaron los gobiernos, sobre todo ante al insumo básico: el suelo. La tierra próxima a la ciudad era, en gran parte, ejidal y su uso principal agrícola, pero esta finalidad productiva fue perdiendo importancia para los interesados en el desarrollo turístico del puerto, frente a las ganancias que se podían derivar de su utilización como suelo urbano.

Es mediante expropiaciones ejidales que se incorpora la tierra agrícola a urbana y se justifica la expropiación por causas de utilidad pública. En este caso, se trataba de facilitar la actividad turística de la que supuestamente se derivarían beneficios a la ciudad y al conjunto de la población. Bajo esta premisa, en

1928, el ayuntamiento puso a la venta a precios muy bajos —incluso se tiene información de que se regaló a los “vecinos más distinguidos” — los terrenos del antiguo ejido (Salgado, 2007).

El crecimiento urbano de Acapulco ha sido anárquico, y esto se debe principalmente a la manera en que el suelo cambió de rural a urbano mediante las expropiaciones ejidales. En 1932, el gobierno estatal del general Adrián Castrejón expropió los terrenos del litoral de la bahía, llamados Las Huertas, desde el Fuerte de San Diego hasta la Playa de Hornos. Los terrenos que ocupaba esta última fueron vendidos por el gobierno a un precio irrisorio al Secretario de Comunicaciones Juan Andrew Almazán, quien, en sociedad con el presidente Pascual Ortiz Rubio, formaron la Compañía Impulsora de Acapulco, empresa que también llevó a cabo el fraccionamiento de la Península de las Playas y a cuyo favor se realizaron dichas expropiaciones (Salgado, 2007).

Según datos obtenidos respecto de los terrenos del fraccionamiento Hornos, el gobernador Castrejón decretó la expropiación por causa de utilidad pública en 1931. Sin embargo, años después, se vendió esa tierra a la Compañía Impulsora de Acapulco, en la que aparecen como socios Pascual Ortiz Rubio, el gobernador citado, el empresario Emilio Azcárraga, el general Joaquín Amaro y el secretario Almazán (Salgado, 2007).

Las expropiaciones continuaron ininterrumpidamente. En 1940 se realizó la expropiación del ejido Icacos. Durante el periodo presidencial de Miguel Alemán Valdez (diciembre de 1946 a noviembre de 1952), se autorizó la expropiación de catorce ejidos para impulsar el desarrollo turístico en el puerto; en 1947 se aprobó la expropiación del ejido Puerto Marqués (Salgado, 2007). Se tiene información de que, en ese periodo, se construyó el primer equipamiento turístico sobre la playa: el Hotel Continental Plaza Acapulco, propiedad del mandatario Miguel Alemán. Posteriormente, otros inversionistas siguieron su ejemplo, en complicidad de las autoridades estatales y la complacencia de la Junta Federal de Mejoras Materiales, sin ver las consecuencias que esto tendría con la afectación no sólo del paisaje, sino también del libre escurrimiento de las corrientes que bajan del anfiteatro.

El incremento de la actividad turística del puerto y la voracidad inmobiliaria en muy poco tiempo determinó la expropiación de un gran número de ejidos ubicados en las cercanías de Acapulco.

Los elevados costos del suelo urbano impidieron a la clase trabajadora que tuviera acceso al mercado inmobiliario. De ahí que, en 1946, inició la invasión de terrenos baldíos que hoy constituyen la Colonia Progreso, dirigidos por su

líderesa María de la O y, años más tarde, obligaron a la Junta Federal de Mejoras Materiales a urbanizar su colonia (Salgado, 2007).

A falta de suelo urbano accesible para las clases populares, desde esa fecha se construyeron asentamientos irregulares en zonas de riesgo. La segregación socioespacial de estas colonias respecto de la ciudad es manifiesta, con las precarias condiciones del habitante y la carencia de infraestructura y servicios urbanos —en particular del drenaje pluvial y de aguas negras—, ponen en riesgo la salud y seguridad, además de que afectan el medio ambiente.

En la actualidad las cosas no han cambiado. En el área en la cual se realiza el desarrollo urbano de este puerto, llamada Acapulco Diamante, la venta de terrenos antes agrícolas constituye una ventaja para el capital inmobiliario, pues ya adquiridos los terrenos, se multiplican las ganancias con la construcción de viviendas de fin de semana o de segunda residencia. Los conjuntos habitacionales se han establecido asimismo en área inundable, lo que pone en riesgo la seguridad de los habitantes y de su patrimonio adquirido.

A consecuencia del turismo, el desarrollo urbano de Acapulco aumentó considerablemente junto con la cantidad de población. Así, se originó una concentración de población en busca de fuentes de empleo. El estado de Guerrero carece de industria y la agricultura tiene poco desarrollo, motivo por el cual este centro turístico se convirtió en polo de atracción. El crecimiento del puerto se produjo con mayor velocidad que en otras ciudades, de modo que rebasó a la población de otras localidades importantes del estado como Chilpancingo, Iguala, Taxco y Tixtla. A partir de 1990 concentró a la quinta parte de la población total de Guerrero, con una tasa de crecimiento del 3.9 por ciento, superior a la media del estado que era del 2.2 por ciento. Éste es un indicador de la atracción migratoria de Acapulco sobre el resto del estado y de otras entidades de la federación (tabla 1).

Año	Población total de Guerrero (habs)	Población de Acapulco (habs)	Porcentaje de población en Acapulco (%)
1930	641,690	21,239	3.31
1940	732,910	29,312	4.0
1950	919,386	55,892	6.08
1960	1, 186,716.	81,967	6.91
1970	1, 597,000	174,378	10.92

1980	2, 110,000	301,902	14.31
1990	2, 649,000	515,374	19.45
2000	3, 035,000	620,656	20.45
2010	3, 388,768	673,845	19.88

Elaboración propia con datos de los censos de población y vivienda de INEGI.

En 1930 la ciudad tenía 270 hectáreas de área urbana. Con el desarrollo del turismo, en diez años aumentó a 401 hectáreas, creció casi el doble del territorio urbano; para 1960 también se duplicó, pues ya eran 810 hectáreas; en 1990 se extendió a 6,259 hectáreas de suelo urbano, en 2000 a 11,309 hectáreas. De igual manera, la cantidad de población creció abruptamente. Al inicio del turismo, en 1930, contaba con 21,239 habitantes. Sin embargo, en los años cincuenta se duplicó a 55,862 habitantes, cuando gobernaba el licenciado Miguel Alemán y la presidencia municipal la ocupaba Baltasar R. Leyva Mancilla, quienes le dieron un impulso importante a la ciudad, con inversiones en la construcción de hoteles e infraestructura, pero, para 1990, ya rebasaba el medio millón de habitantes, pues contaba con 515,374 personas viviendo en el puerto (tabla 2 y figura 1).

Tabla 2: Crecimiento urbano y poblacional de Acapulco		
Año	Área urbana (has)	Población de Acapulco (habs)
1930	270	21,239
1940	401	29,312
1950	537	55,892
1960	810	81,967
1970	1,044	174,378
1980	3,662	301,902
1990	6,259	515,374
2000	11,309	620,656

Elaboración propia con datos de Salgado, 2007 y censos de población y vivienda del INEGI

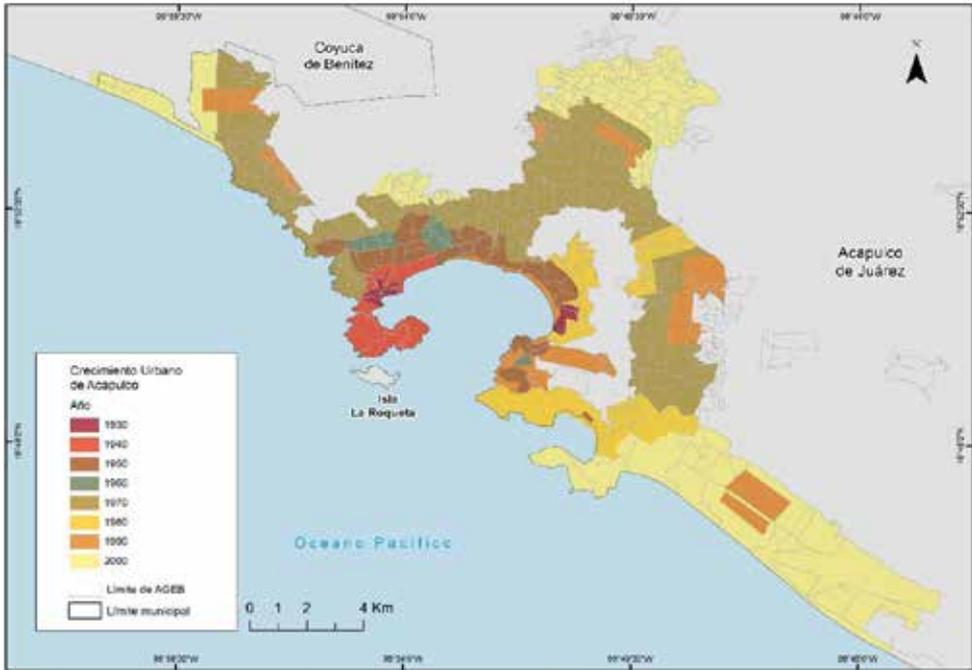


Figura 1. Crecimiento urbano de Acapulco.

En 1960 se suscitó un periodo de estancamiento, por lo que sólo hasta 1970 se dio una etapa de auge —se triplicó la población—, que concuerda con el periodo de gobierno de Luis Echeverría, cuyas políticas de turismo le proporcionaron un importante empuje a los centros turísticos. Así, también surgen los fideicomisos, cuyo objetivo era promover e incrementar el desarrollo turístico, que también sirvió como instrumento jurídico para legalizar la inversión extranjera en las costas y fronteras de México.

Con las expropiaciones y por intereses de gobernantes e inversionistas, muchas personas fueron expulsadas de las zonas bajas de Acapulco, lo que ocasionó que buscaran un lugar donde habitar. He ahí el motivo de los asentamientos en franjas de riesgo, sobre las partes altas de los cerros, en cauces de arroyos y barrancas. En los años setenta, siendo gobernador Rubén Figueroa, fueron desalojadas 12 mil familias de la sección alta del anfiteatro y reubicados en Ciudad Renacimiento, situada fuera del área turística, la que tendría como función evitar los asentamientos que seguían en aumento en las zonas bajas y altas de los cerros. Pero esta área se inunda con facilidad en época de lluvia.

Las repercusiones sociales de las expropiaciones fueron, en gran parte, negativas. La dimensión política de las expropiaciones y concesiones de tierra y playas a comerciantes y funcionarios públicos se presentó en dos niveles: el primero fue que en ellos los representantes del gobierno actuaban como juez y parte, buscando su beneficio o de personas y familiares vinculados con ellos; este mismo comportamiento de las autoridades motivo el segundo nivel de este fenómeno, es decir, las protestas y movilizaciones de los habitantes de Acapulco.

La construcción de la Autopista del Sol a principios de los años noventa tuvo el propósito de dar un nuevo impulso al desarrollo turístico de la localidad, ya que el turismo no sólo sería para la época de vacaciones, sino que pasaría a ser turismo de fin de semana por el ahorro de tiempo desde la Ciudad de México. En su segundo informe, el gobernador José Francisco Ruiz Massieu expresó que como parte de las políticas en materia de comunicaciones era necesaria la construcción de dicha carretera, pero también como parte de la reactivación del turismo en el puerto y entre los planteamientos de las políticas neoliberales actuales. Desde entonces, el desarrollo urbano de Acapulco se extendió hasta la zona Diamante, por lo que el área turística se fraccionó en cuatro zonas: Tradicional, Dorada, Diamante y Pie de la Cuesta (figura 2).



Figura 2. Plano de Acapulco con área turística dividida en cuatro zonas.

La transformación indiscriminada de tierra agrícola para el desarrollo urbano, con la construcción de la infraestructura turística y habitacional, con la invasión de manglares y áreas inundables, ha sido uno de los factores que ha contribuido al crecimiento anárquico de Acapulco, generando el deterioro del medio natural, elemento esencial en un centro turístico; pero que sobre todo pone en peligro a la población asentada en zonas de riesgo urbanizadas.

### *El riesgo en Acapulco*

Es necesario explicar qué se entiende por riesgo, para lo cual se revisa el punto de vista gubernamental de México. El significado de “riesgo”, según la Ley de Protección Civil de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, el Riesgo es:

Daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador.

También emite una definición sobre el Riesgo Inminente:

Aquel riesgo que, según la opinión de una instancia técnica especializada, debe considerar la realización de acciones inmediatas en virtud de existir condiciones o altas probabilidades de que se produzcan los efectos adversos sobre un agente afectable (DOF, 19-01-2018: 6).

Estas definiciones son muy técnicas, como también las ciencias naturales, pues desconocen el impacto que el riesgo ejerce en la población.

Se examinó a su vez la opinión de organismos internacionales especialistas en el tema. Se consultó la página *web* de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) que, con el propósito de manejar un lenguaje común, a través de la Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR), plantea una definición de los términos principales relativos a la reducción del riesgo de desastres. De tal modo que un desastre se conceptúa como:

Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad.

Continúa explicando:

Convencionalmente el riesgo es expresado por la expresión  $\text{Riesgo} = \text{amenazas} \times \text{vulnerabilidad}$ . Algunas disciplinas también incluyen el concepto de exposición para referirse principalmente a los aspectos físicos de la vulnerabilidad. Más allá de expresar una posibilidad de daño físico, es crucial reconocer que los riesgos pueden ser inherentes, aparecen o existen dentro de sistemas sociales. Igualmente es importante considerar los contextos sociales en los cuales los riesgos ocurren, por consiguiente, la población no necesariamente comparte las mismas percepciones sobre el riesgo y sus causas subyacentes (ISDR, 2004).

Como se puede ver, este organismo si considera el contenido social.

El riesgo en las ciudades debe verse desde la perspectiva social, porque, al cambiar el uso del suelo de agrícola a urbano, algunas zonas se vuelven de riesgo para quienes las habitan. Estudiosos del tema en América Latina, como Lavell, Maskrey y Wilches-Chaux, observaron que, en estas sociedades desiguales con marcada pobreza, se magnificaron los daños y destrozos de eventuales fenómenos naturales (Rodríguez y Quintero, 2011: 25).

La voracidad del mercado inmobiliario en las ciudades hace inaccesible para los más pobres las áreas seguras, las cuales pueden ser pagadas por la gente con mayor poder adquisitivo. En cambio, las clases populares se tienen que asentar en zonas de riesgo, como en terrenos muy accidentados o áreas bajas inundables.

La situación de riesgo que ostentan los habitantes de Acapulco por los fenómenos naturales se debe a que las costas de la entidad guerrerense se ubican en una zona con actividad ciclónica y tormentas tropicales provenientes del Océano Pacífico. Además, el puerto se localiza sobre el Cinturón de Fuego y la Falla de San Andrés, por lo que es susceptible de padecer temblores y tsunamis.

El Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, que se caracteriza por ser una de las zonas de mayor actividad sísmica del planeta, donde se libera un 85% del total de la energía producida por los movimientos telúricos o terremotos en el mundo (Ruz y Rodríguez, 2011: 78).

El territorio urbano de Acapulco se sitúa en un área con una topografía accidentada donde llegan las montañas de la Sierra Madre del Sur, al mismo tiempo incorpora, aunque en menor proporción, tierras bajas que forman parte de

la costa del litoral del Pacífico. En ese sentido, se extiende sobre una superficie de suelo mayormente inclinado, atravesado por cauces de ríos y barrancas, por donde se desplazan las aguas recolectadas por lluvias en las partes altas (figura 3). Igualmente, la deforestación de la parte alta de los cerros contribuye a que se produzcan fuertes escurrimientos por las precipitaciones de agua. En estas circunstancias físicas, con la presencia de un fenómeno natural, la ciudad se encuentra en riesgo, especialmente su población más pobre, porque se asienta en las partes más vulnerables de la localidad.



Figura 3. Muestra los cerros del anfiteatro y el área baja de la costa del litoral. Fuente: Archivo Osbelia Alcaraz Morales.

### *Reseña del riesgo por fenómenos naturales en Acapulco*

Se tiene antecedentes de la presencia de fenómenos naturales que han causado varias veces la destrucción de la ciudad. El historiador Vito Alessio Robles, en *Acapulco en la historia y la leyenda* dice que el puerto ha sido víctima de muchos terremotos y huracanes:

Los terremotos intensos y repetidos; las crecientes extraordinarias de la mar, los huracanes devastadores; los temporales que parecen diluvios y los incendios han arruinado muchas veces a la ciudad que se llamó de los Reyes. Orozco y Berra afirma que: Desde 1700 a 1800 ha padecido esta población diez ruinas, tres de ellas por terremotos, otras tres por huracanes y el resto por crecientes del mar. De 1800 a 1842 hubo otras tres ruinas como las anteriores, y una última causada por un temporal en 1842 (Alessio Robres, 1979: 175).

A raíz de la tragedia que ocasionó el Huracán *Paulina* al Puerto de Acapulco, investigadores guerrerenses, preocupados por los acontecimientos, indagaron las causas de este siniestro. Algunos especialistas hablan del “Fenómeno de El Niño”, pero lo realmente importante es nunca olvidar nuestra historia. En varios libros antiguos sobre Acapulco se informa de fenómenos naturales que ocasionaron varias veces la destrucción de la ciudad.

Aun cuando Acapulco nació en el Virreinato y fue por ese tiempo un puerto de gran importancia comercial —porque era el puente mercantil entre Europa, Asia y América del Sur, lo que le dio gran trascendencia mundial—, sólo cuenta con el Fuerte de San Diego como legado del periodo colonial. El puerto carece de un patrimonio arquitectónico de dicha época, en comparación con el de otras ciudades coloniales, como Taxco. Esto se debe fundamentalmente a los fenómenos naturales que causaron la destrucción de sus edificaciones. Uno de los terremotos más intensos fue el de 1776, que causó la destrucción total de Acapulco, incluyendo el Fuerte de San Diego; en la ciudad no quedó una sola casa en pie (Alessio Robres, 1979: 170).

Con respecto de los fenómenos naturales relacionados con la temporada de lluvias, Robles menciona:

A todos estos cataclismos hay que añadir los fuertes temporales: verdaderos diluvios acompañados de huracanes que han destruido varias veces la ciudad de Acapulco. Estas copiosas lluvias, que duran varios días, constituyen para la ciudad un serio peligro, pues rodeada como está de altas montañas, dejan correr sobre ella verdaderos torrentes impetuosos que lo arrasan todo (Alessio Robres, 1979: 176).

La situación que describe el historiador es precisamente lo que pasó con el Huracán *Paulina* el 9 de octubre de 1997.

Rosendo Pintos Lacunza en *Acapulco* menciona que, en la primera mitad del siglo xx, grandes desastres ocasionados por fenómenos naturales, anteceden

al Huracán *Paulina*, entre los que se encuentran cinco terremotos y seis huracanes. Los terremotos sucedieron en las siguientes fechas: el 14 de abril de 1907, el 30 de julio de 1909, repitiendo al siguiente día 31 de julio y el 2 de agosto; con tres terremotos tan seguidos Acapulco quedó en ruinas, destruyendo todos los edificios, incluyendo el templo católico, además cita el terremoto del 28 de enero de 1934 (Pintos, 1985: 193).

Sobre los huracanes Pintos informa que el 30 de octubre de 1912 se suscitó un huracán de gran magnitud, que derribó al llamado “mercado nuevo” ubicado en la Plazuela Zaragoza. Las casas recién construidas después del terremoto de 1909 se desplomaron, los ríos se desbordaron, las calles se inundaron, el Arroyo de El Camarón, junto con el de La Garita, formaron una laguna desde el Fraccionamiento Hornos hasta el campo de aterrizaje, donde hoy se encuentra la Gran Plaza (Pintos, 1985). Cabe recordar que con el Huracán *Paulina*, el área afectada fue nuevamente una de las más dañadas, una de las zonas bajas donde desembocan al mar los arroyos mencionados.

Es importante incorporar la descripción de Pintos Lacunza sobre los desastres que sucedieron en el pasado, causados por fenómenos naturales, para tenerlo presente y evitar que el impacto negativo se repita nuevamente:

Los cerros que en aquella época se vestían con espesas arboledas, quedaron arrasados, sin flora, como si una enorme y gigantesca poda se hubiere llevado a efecto con toda intención. En todas partes se veían enormes árboles arrancados de cuajo. Millares de pájaros de la fauna cercana y aves marinas, así como gallinas y pollos, puercos y hasta perros, flotaban muertos en las ya tranquilas aguas de la bahía [...] Como los caminos estaban obstruidos, nada entraba y no había carne, ni leche, ni manteca, ni cerdos que sacrificar; se habían ahogado. Tales circunstancias mucho más duras para el proletariado (Pintos, 1985: 195).

Años después se suscitaron otros huracanes el 20 de mayo de 1920, el 1 de julio de 1929, el 12 de octubre de 1932, el 25 de mayo de 1937 y el del 26 de mayo de 1938, en este último se cayó la torre inalámbrica y se desbordaron los ríos, esto ocasionó que la carretera sufriera grandes daños (Pintos, 1985: 196). Nos sigue narrando Pintos:

... del 15 de mayo al 31 de octubre, y aún en los primeros días de noviembre, ha habido ciclones en diversas épocas. Pero mayo y junio, septiembre y octubre, son los meses más peligrosos en estas latitudes, para recibir la desagradable visita de un meteoro más o menos duro (Pintos, 1985: 197).

Es importante señalar que lo descrito en párrafos anteriores sucedió antes de que el puerto se convirtiera en la ciudad más grande de la entidad, cuando era una pequeña localidad y, por lo mismo, las afectaciones fueron fundamentalmente materiales. Pero a raíz del desarrollo del turismo, Acapulco extendió ampliamente su área urbana. En tales circunstancias, y con la presencia de fenómenos naturales como los mencionados, se ponía en riesgo a la población ya establecida en la ciudad.

Para tener una idea del peligro que mantiene la población que reside en el puerto, el *Atlas de peligros naturales de la ciudad de Acapulco de Juárez*, de 2004, tiene como antecedentes la presencia de tsunamis que se suscitaron entre abril de 1907 y julio de 1909. En este corto tiempo siete fenómenos naturales afectaron la localidad (tabla 3).

Tabla 3. Tsunamis que afectaron Acapulco 1907-1909	
14 de abril de 1907	Violentísimo temblor, se retiró el mar unos 30 metros de la playa. Doce horas más tarde, volvió embistiendo con una enorme ola, que causó fuertes daños.
14 y 15 abril de 1907 23:10 hrs.	Fuerte temblor que inició a las 23:10 hrs. Duró cinco minutos con ruidos subterráneos; se retiró el mar y a la media hora volvió con una ola muy violenta que inundó la parte baja del puerto. Siguió una serie de temblores de menor intensidad hasta la madrugada del 15 de abril.
15 de abril de 1907 12:30 hrs.	Penetró el agua del mar hasta el jardín público y la Plaza Álvarez, ocasionando fuertes pérdidas.
30 de julio de 1909	Regular sismo; se retiró y luego volvió lentamente a su nivel.
30 de julio de 1909 4:30 hrs.	Al mismo tiempo del temblor se retiró el mar unos 50 metros; volvió a su nivel normal lentamente en el trascurso de muchos días.
30 de julio de 1909 4:30 hrs.	Trepidatorio que se inició a las 9:30 a.m. con fuertes ruidos subterráneos y se retiró el mar unos 50 metros, y volvió lentamente en el transcurso de muchos días a su nivel, destechó casi todas las casas en tiempos de agua, con saldo de dos niños muertos.
31 de julio de 1909	Repitió el sismo y se retiró algo el mar. No pudo apreciarse el regreso a su nivel.

Elaboración propia con datos del *Atlas de peligros naturales de la ciudad de Acapulco de Juárez*, Guerrero, México, 2004: 101

El crecimiento urbano desordenado, así como el incremento de la población asentada en lugares de riesgo por causas económicas, influyeron para que en 1997, cuando se suscitó el Huracán *Paulina*, las pérdidas no sólo fueron materiales, sino una gran cantidad de personas perdieron la vida; algunos amanecieron

cieron flotando en el mar de la bahía y otros fueron aplastados por los escombros. Los daños materiales se resumen en 5 mil casas habitación destruidas, 25 mil afectadas por daños menores; 3 mil viviendas sin techo, doce puentes derribados, 2 mil caminos rurales destruidos, quince torres de energía eléctrica derribadas, pérdidas económicas por 7,500 millones de dólares; las pérdidas humanas fueron 400, según datos de la Cruz Roja y 10 mil familias damnificadas (Ruz y Rodríguez, 2011: 71) (figura 4).



Figura 4. Recorte de periódico que informa de los daños provocados en Acapulco por el Huracán *Paulina*.

Es importante tener presente que, tanto en épocas pasadas como en la actual —es decir en todos los tiempos—, fenómenos naturales han destruido Acapulco, por lo que es de suma importancia considerar los sucesos pasados. Estos antecedentes debe conocerlos la ciudadanía de Acapulco; que se conozcan los riesgos causados por los fenómenos naturales, pero en especial, que las autoridades encargadas de la protección civil, siempre y cuando tengan las

firmer intenciones de evitar otro desastre, tengan presente la historia para que tomen las precauciones pertinentes y no se lamenten los hechos más tarde. Es cierto que los avances técnicos han permitido la construcción de edificios sólidos, con materiales de construcción resistentes, pero la gran mayoría de la población no puede adquirirlos, aunado a la ubicación de las viviendas en terrenos de alta vulnerabilidad, lo cual acarrea, como consecuencia, que las víctimas pertenezcan como siempre a las clases populares.

### *El riesgo y las políticas urbanas*

Desde que renació como ciudad turística, el Puerto de Acapulco se desarrolló hasta convertirse en la más grande e importante del estado de Guerrero, más que la capital. Ello es la causa de que cuente con la mayor cantidad de planes de desarrollo urbano. Sin embargo, no sirvió de mucho cuando se presentó el Huracán *Paulina* (9 de octubre de 1997), porque puso al descubierto los problemas urbanos y sociales, a pesar de tanta planeación del territorio urbano.

Se tiene antecedentes de que el primer documento data de 1931, apenas a cuatro años de que iniciara el turismo en la localidad. Este Plano Regulador de Acapulco fue elaborado por la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, a la cabeza del cual se encontraba el arquitecto Carlos Contreras. Basándose en este documento, se elaboró el segundo Plano Regulador de Acapulco en 1945, durante la gestión del arquitecto Carlos Lazo en la SCOP (Salgado, 2007).

En 1950 al arquitecto Mario Pani se le confiere el cargo de primer director técnico de la Comisión de Planificación Regional de Acapulco, y elaboró el Plano Regulador. Su tarea consistiría en urbanizar el puerto, a fin de impedir los peligros que, para entonces, ya se visualizaban en la ciudad, y crear las condiciones urbanas de un centro turístico (Salgado, 2007).

El Plano Regulador de Acapulco de 1960 fue elaborado por el arquitecto Enrique Cervantes. Se hicieron propuestas para solucionar los problemas, con un manejo armónico y orgánico, a través de la técnica del urbanismo, con carácter nacional. El arquitecto Pedro Moctezuma Díaz Infante, director de la Secretaría del Patrimonio Nacional, se encargó de elaborar el Plan Acapulco de 1970. Focalizado en resolver los problemas originados por la falta de legalización y regularización de los terrenos en las colonias populares —lo que impedía la dotación de los servicios urbanos indispensables—, es uno de los más completos para atender la planeación de la ciudad (Salgado, 2007).

El Plan Director de Desarrollo Metropolitano de Acapulco, de 1975, fue obra del arquitecto Enrique Cervantes. El 6 de febrero de 1980, el gobernador

constitucional de Guerrero, el ingeniero Rubén Figueroa, decretó oficialmente el Plan Director Urbano de Acapulco, del arquitecto Xavier Cortés Rocha, cuyos objetivos básicos eran: *a)* establecer la calidad del medio natural, regenerando los elementos naturales deteriorados; *b)* mejorar las condiciones de vida de la población; *c)* organizar la estructura interna de la ciudad y *d)* prever la expansión urbana física y el desarrollo urbano de la ciudad en el futuro (Salgado, 2007).

Dentro del marco jurídico se crean los fideicomisos que dependían del Fondo Nacional de Turismo (FONATUR), que supuestamente tenían como objetivo promover e incrementar el nivel de vida de los ejidatarios, el desarrollo turístico habitacional, pero, sobre todo, serviría como instrumento jurídico para permitir la legalización de la inversión extranjera en las costas y fronteras de México. El Fideicomiso Acapulco (FIDEACA) se responsabilizó de conformar el Programa de Mediano Plazo de 1985-1988. El ayuntamiento fue el encargado de elaborar el Plan Director de Acapulco Guerrero de 1987, así como del Plan Director Urbano: Acapulco de Juárez de 1993 (Salgado, 2007).

De poco sirvieron los documentos de planeación mencionados. Como se ha dicho, debido a la urbanización de áreas no aptas para el desarrollo urbano, cuando se presentó el Huracán *Paulina* el 9 de octubre de 1997, se evidenciaron los riesgos a los que estaba expuesta la población que habitaba el Puerto de Acapulco, al sufrir la pérdida de vidas humanas y materiales por las severas inundaciones y las fuertes corrientes de agua que bajaron de los cerros, que arrastraron enormes rocas, casas y todo lo que encontraron en su paso.

Después del Huracán *Paulina*, se llevó a cabo el Plan de Desarrollo Metropolitano de la Ciudad de Acapulco en 1998, al que se incorporaron las zonas de riesgo, sobre la base de que, por su topografía, el lugar presenta numerosos escurrimientos y arroyos (Salgado, 2007). Con el Plan de Desarrollo Urbano de la Zona Metropolitana de Acapulco, de 2001, el estado intentó disminuir la vulnerabilidad de la ciudad. Con el mismo fin se elaboró el *Atlas de riesgos de Acapulco* en 2004. Este documento plantea acciones de mitigación ante los desastres, y proporciona información importante sobre los riesgos naturales y antrópicos que afectan el área urbana de Acapulco. Con todo, las tormentas *Henriette* en 2007 y *Andrés* en 2009 fueron desastrosas (Ruz y Rodríguez, 2011).

A pesar de contar con instrumentos, como los planes reguladores o los planes de desarrollo, los intereses políticos y económicos predominaron, por lo que las políticas urbanas no se llevaron a cabo, quedándose en las buenas intenciones, en el papel. Pero, al final, se puso en evidencia la realidad, y cuando

sucedieron acontecimientos por fenómenos naturales, se revelaron las carencias y la falta de sensibilidad de las autoridades, para dar cabida a los reclamos de la población, como fue el caso del Huracán *Paulina*, donde la ineficiencia y el nepotismo de las autoridades se manifestó al salir a relucir los problemas que, durante años, presentó la ciudad, pero que sólo se maquillaron; se mostró la verdad de una planeación urbana atrofiada, donde los instrumentos y las políticas urbanas en muchos de los casos fueron olvidados.

Como otras urbes latinoamericanas, el Puerto de Acapulco presenta en su territorio una gran desigualdad. Es una ciudad excluyente, discriminatoria, donde las clases proletarias se asientan en lugares en riesgo, carente de servicios e infraestructura. Las políticas urbanas aparecieron con el impulso del turismo y dieron como consecuencia la elaboración de una gran cantidad de instrumentos importantes, pero que no han repercutido en la mejora de la calidad de vida y la seguridad para la población. Al parecer, la planeación depende de intereses económicos y políticos de un pequeño grupo, a costa de la mayoría de la población que habita la ciudad de Acapulco.

## Conclusiones

El desarrollo urbano de Acapulco fue determinado por la actividad turística, merced al cual el suelo urbano creció gracias a las expropiaciones ejidales. Los elevados costos del suelo impidieron que el proletariado accediera al mercado inmobiliario, y la falta de suelo urbano asequible para las clases populares es la causa de la fundación de los asentamientos irregulares en zonas de riesgo. El cambio de tierra agrícola en urbana, para la construcción de la infraestructura turística y habitacional con la invasión de cerros, manglares y áreas inundables, es uno de los factores que han contribuido al crecimiento anárquico de Acapulco, poniendo en peligro a la población asentada en zonas de riesgo urbanizadas.

El escenario de riesgo que presenta los habitantes de Acapulco se debe a diversos motivos, que se pueden resumir: la superficie urbana de Acapulco se encuentra en un área con fuertes pendientes y, aunque tiene suelo plano, predomina el terreno inclinado, así como lo traspasan cauces de ríos y barrancos, por donde se desplazan las aguas recolectadas por lluvias en las partes altas, a lo que se añade que se ubica en una zona de actividad ciclónica y tormentas tropicales; además, el puerto está expuesto a soportar temblores y tsunamis.

Es muy importante tener presente la historia de fenómenos naturales, como huracanes y temblores, que han causado desastres en Acapulco. En la antigüe-

dad en varias ocasiones se destruyeron los edificios, se arruinó la ciudad y se perdieron vidas humanas por eventos naturales.

Aun cuando el puerto se inició con el diseño de instrumentos de planeación, casi al mismo tiempo que el desarrollo del turismo, es la localidad guerrerense con la mayor cantidad de documentos de políticas urbanas. Sin embargo, cuando se presentó el Huracán *Paulina* se puso al descubierto los problemas urbanos y sociales y los riesgos a los que se encontraban expuestos los habitantes del puerto a consecuencia de la urbanización de áreas no aptas para el desarrollo urbano. La ineficiencia y el nepotismo de los gobernantes se puso en evidencia al sobresalir los problemas que durante años presentó la localidad, pero que sólo fueron maquillados; se mostró la verdad de una planeación urbana atrofiada donde los instrumentos y las políticas urbanas fueron en gran parte incumplidas.

## Referencias

- ALESSIO ROBLES, V. (1979), *Acapulco en la historia y la leyenda*, Ediciones Municipales de Acapulco, México.
- ATEIZA IRIARTE, T. (1965), *Historia de Acapulco*, México.
- ATLAS DE PELIGROS NATURALES DE LA CIUDAD DE ACAPULCO DE JUÁREZ, Guerrero, México (2004). *Identificación y zonificación*. Consejo de Recursos Minerales y SEDESOL, en <[www.acapulco.gob.mx/proteccioncivil/documentos/atlas2003.pdf](http://www.acapulco.gob.mx/proteccioncivil/documentos/atlas2003.pdf)>.
- HUMBOLDT, Alejandro von (1966), *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, Editorial Porrúa, México.
- LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL (19 de enero de 2018), Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, última reforma publicada en el *Diario Oficial de la Federación*, 19 de enero de 2018.
- MARTÍNEZ CARBAJAL, A. (1996) *Crónica de Acapulco*, Ediciones Municipales de Acapulco, México.
- PINTOS LACUNZA, R. (1985), *Acapulco*, H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco, México.
- RODRÍGUEZ HERRERA, A. y QUINTERO ROMERO, D. (2011), “Notas sobre desastres, gestión y desarrollo”, en Rodríguez Herrera, A. (Coord.), *Las inun-*

*daciones en Llano Largo, Acapulco: riesgo, turismo y desarrollo*, Universidad Autónoma de Guerrero y Plaza y Valdez Editores.

RUZ VARGAS, M. y RODRÍGUEZ HERRERA, A. (2011), “Desarrollo urbano, planeación y construcción de riesgos”, en Rodríguez Herrera, A. (Coord.), *Las inundaciones en Llano Largo, Acapulco: riesgo, turismo y desarrollo*, Universidad Autónoma de Guerrero y Plaza y Valdez Editores.

SALGADO GALARZA, A. C. (2007), *Políticas urbanas en Acapulco 1927-1997*, Universidad Autónoma de Guerrero.

SECRETARÍA DE LA ESTRATEGIA INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES (EIRD) Las Américas (31-03-2004), en <[www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm](http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm)>.



# Vulnerabilidad y riesgo sísmico en construcciones de Chilpancingo, Guerrero

Sulpicio Sánchez Tizapa, Adelfo Morales Lozano  
Alfredo Cuevas Sandoval, Roberto Arroyo Matus  
Gerardo Altamirano de la Cruz

## Introducción

Chilpancingo, capital del estado de Guerrero, está ubicado en la zona de mayor peligro sísmico de acuerdo con la zonificación de la Comisión Federal de Electricidad. La ubicación a menos de 86 kilómetros en línea recta de la Brecha Guerrero y otras zonas epicentrales provocan afectaciones frecuentes por los sismos. El último registro de daños se tiene el 10 de diciembre de 2011, cuando un sismo de magnitud  $M_w$  de 6.5, con epicentro a 62 kilómetros al noroeste de la ciudad, causó daños en tres edificios ubicados en la Plaza Central: el Palacio de Cultura, el Museo Regional y la Catedral de Santa María de la Asunción. Además, se identificó una franja aledaña al cauce de Río Huacapa con afectaciones en edificios y casas-habitación.

Una idea de las altas fuerzas sísmicas actuantes es el valor de 0.80 g del espectro de diseño definido en la norma sísmica vigente. Si en la Ciudad de México sólo se tiene 0.40 g, las fuerzas actuantes en Chilpancingo son dos veces mayor.

En un principio, la ciudad siguió la traza del Río Huacapa que corre de norte a sur. Sin embargo, en las dos últimas décadas se ha suscitado un crecimiento desordenado en esta misma dirección y en la perpendicular, de este a oeste. Se

esperaba que la población aumentara de 187,251 a 234 887 habitantes entre 2010 y 2020, con crecimiento promedio de 12 por ciento. En este mismo orden, la mancha urbana cubría 16 kilómetros cuadrados en 1992 y en 2018 registró 45 kilómetros cuadrados, o sea, en 26 años aumentó 281 por ciento. Al norte, los asentamientos se acercan a los existentes en el municipio próximo de Zumpango de Neri mientras que Petaquillas, al sur, registró una tasa de crecimiento de 28 por ciento en un lustro.

Este crecimiento ha provocado asentamientos en márgenes de barrancas, zonas de alta pendiente o con asentamientos de suelo, con las consiguientes afectaciones a las personas y construcciones. Además, no existe control de calidad en la producción de materiales de construcción, diseño de estructuras y procesos de construcción.

Esta situación genera un alto riesgo sísmico en las construcciones de la ciudad, el cual está asociado a la vulnerabilidad, exposición y peligro sísmico. Los orígenes de la vulnerabilidad e incertidumbre en la evaluación del riesgo sísmico son presentados brevemente en este documento.

### *Definición de términos*

Para comprender la problemática es necesario definir los términos de “peligro sísmico”, “vulnerabilidad” y “riesgo sísmico”.

- *Peligro sísmico*. Es el grado de exposición de un sitio ante movimientos sísmicos. La variable para medir el peligro es la aceleración esperada en el sitio, variable que puede ser analizada en forma determinista o probabilista.
- *Vulnerabilidad sísmica*. Comportamiento de un sistema estructural bajo cierto nivel de peligro sísmico. Para una aceleración de suelo, un sistema es más vulnerable cuando se comporta peor que otro sistema de referencia.
- *Riesgo sísmico*. Es la combinación de peligro y vulnerabilidad de un grupo de estructuras o una región. Se define como el producto de la probabilidad de alcanzar una aceleración del suelo multiplicado por la vulnerabilidad de una o varias estructuras durante un sismo.

La figura 1 muestra la relación entre los conceptos de “peligro”, “vulnerabilidad” y “riesgo sísmico”. El primero está asociado a un área geográfica (sistema 1), y el segundo se refiere a toda la infraestructura con características estructurales definidas construidas en dicha área (sistema 2). Así, el riesgo es el resultado de la exposición donde se combinan las características de ambos sistemas.

Otra forma de representar esta situación es la figura 2. En la figura 2a se presenta una interacción entre los dos sistemas, peligro y vulnerabilidad, donde existe riesgo. La figura 2b muestra el fenómeno de mejor manera donde la cimentación es un espacio físico común a ambos sistemas. Además, debido a las condiciones geológicas del valle de Chilpancingo, se presenta una modificación de la propagación del movimiento del suelo con efectos en la base de la estructura. Este fenómeno se denomina “interacción suelo-estructura”.

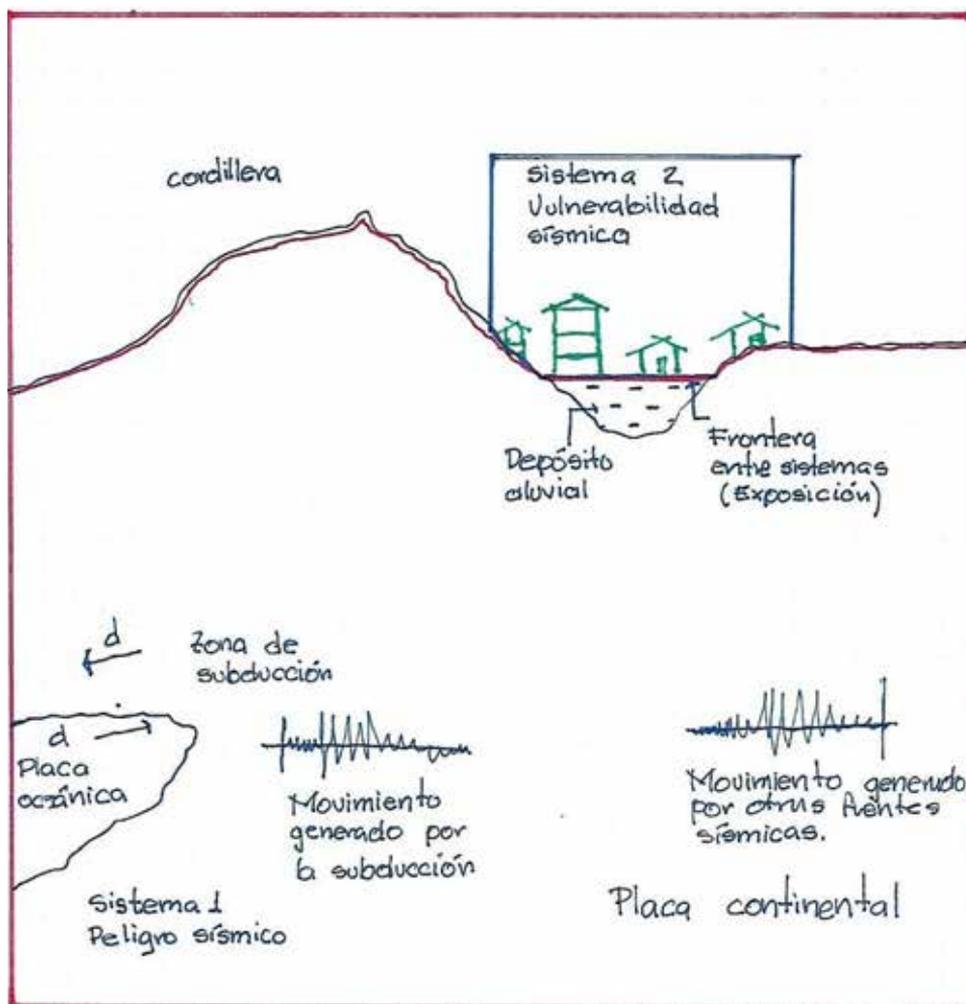


Figura 1. Representación de interacción entre peligro y vulnerabilidad sísmica. Elaboración propia.

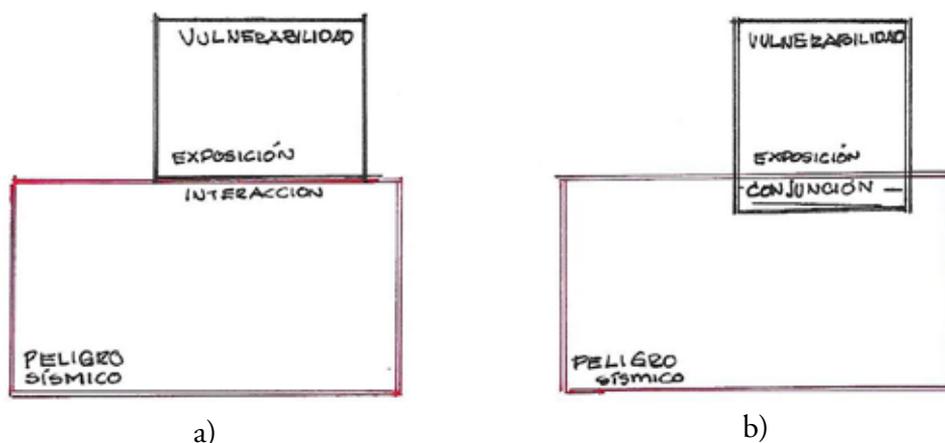


Figura 2. Dos representaciones de riesgo sísmico: *a)* en la zona de contacto entre sistemas, *b)* en la conjunción de ambos. Elaboración propia.

### *Fuentes de vulnerabilidad sísmica*

En cualquier edificación se identifican tres etapas: *a)* conceptualización y diseño, *b)* construcción, y *c)* mantenimiento. En cada una diversos actores desempeñan actividades, las cuales pueden ser fuentes potenciales de vulnerabilidad. Un resumen se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Etapas y actividades en una edificación

Etapa	Actividad
Diseño	Conceptualización
	Propuesta arquitectónica
	Análisis y diseño estructural, catálogo de conceptos y presupuestos
Construcción	Cimentación
	Estructura
	Instalaciones y acabados
Mantenimiento	Impermeabilización, protección contra humedad y corrosión
	Revisión de drenes de agua pluvial
	Revisión de asentamientos y desplomes

## Etapa de diseño

### *Conceptualización y propuesta arquitectónica*

En esta etapa se observan problemas conceptuales fuertes porque los arquitectos carecen de nociones del comportamiento estructural de las edificaciones. Si bien Chilpancingo se ubica en zona de alta sismicidad, los responsables del diseño arquitectónico han ignorado por completo las recomendaciones de la norma.

En forma similar al concepto de ingeniería sismorresistente, debe incorporarse del tema de arquitectura sismorresistente, que está comprometida con la necesidad de optimizar los procesos de diseño y materializar asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo sísmico.

En esta etapa, la falta de comunicación entre los participantes genera propuestas estructurales deficientes y resulta en estructuras vulnerables. Una propuesta ideal de trabajo se muestra en la figura 3, donde interactúan todos los participantes garantizando un proyecto arquitectónico que cumple con los requerimientos normativos. Como se indica, la participación de al menos dos especialistas, el arquitecto y el ingeniero estructurista, garantizan satisfacer de mejor manera los requerimientos del cliente. Los errores más comunes en esta etapa son:

- Discontinuidad de elementos verticales para asegurar el flujo de carga.
- Sistemas de piso a diferentes niveles.
- Falta de elementos estructurales en la dirección corta.
- Materiales muy pesados y con baja resistencia.
- Asimetría de elementos estructurales.
- Formas irregulares en planta y elevación.
- Entrantes, salientes y huecos en los sistemas de piso.
- Muros con doble altura.
- Sistemas de cubiertas flexibles o pesados.
- Relación de forma largo/ancho mayor a 3.

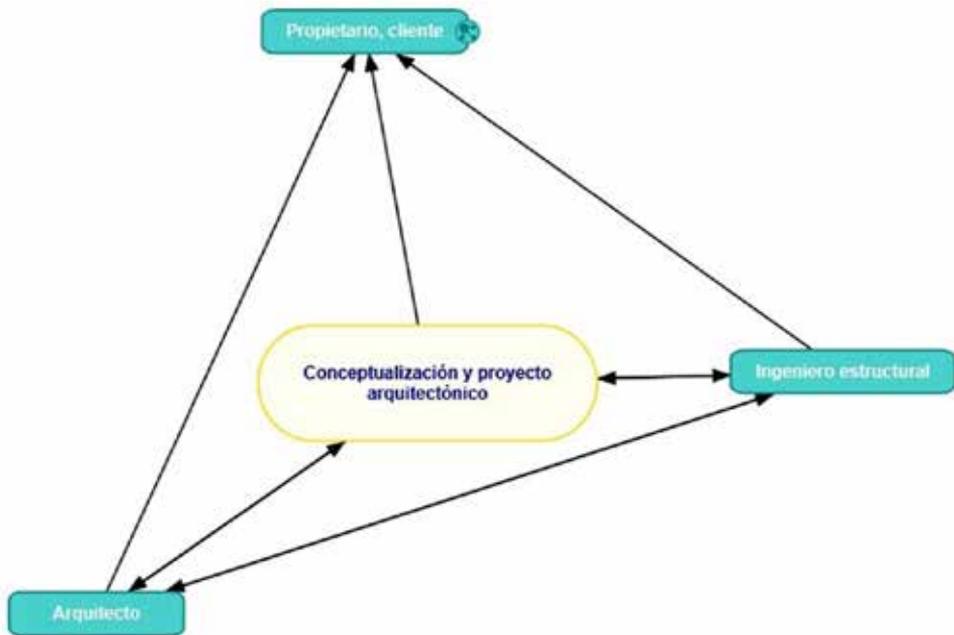


Figura 3 Conceptualización y diseño estructural. Elaboración propia.

Las figuras 4 y 5 muestran un proyecto arquitectónico de una casa-habitación con sistemas de piso a distinto nivel con huecos, muros a doble altura y con planta irregular, lo cual puede afectar el comportamiento estructural provocando una alta vulnerabilidad sísmica.



Figura 4. Vista en corte con sistemas de piso a distinto nivel (Sánchez, 2016).

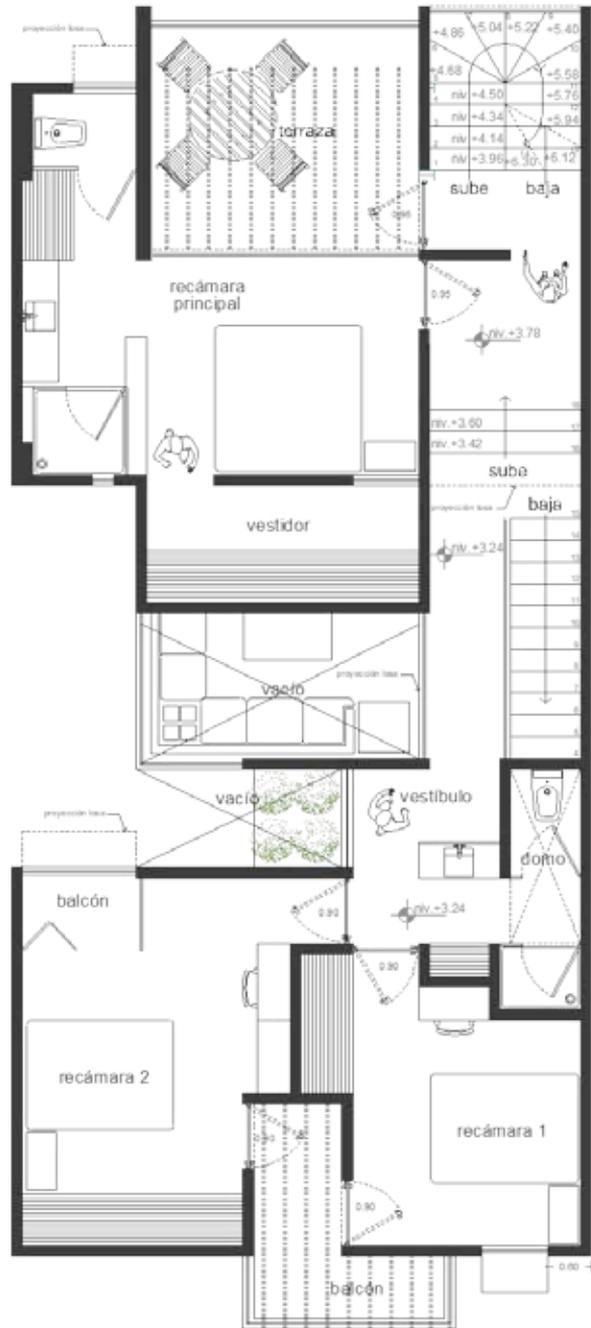


Figura 5. Vista en planta con hueco central en sistema de piso, muro a doble altura y forma irregular (Sánchez, 2016).

Las figuras 6 y 7 muestran otro tipo de irregularidades. En el primer caso, la planta de la figura 6 tiene forma alargada, reducción del sistema de piso en ambos lados de la escalera; por consiguiente, ambos extremos funcionan como salientes. En el segundo caso la construcción tiene cubierta a diferentes niveles y un gran relleno en la cubierta; este material puede saturarse por una deficiente impermeabilización con el consiguiente efecto negativo de aumento de peso.

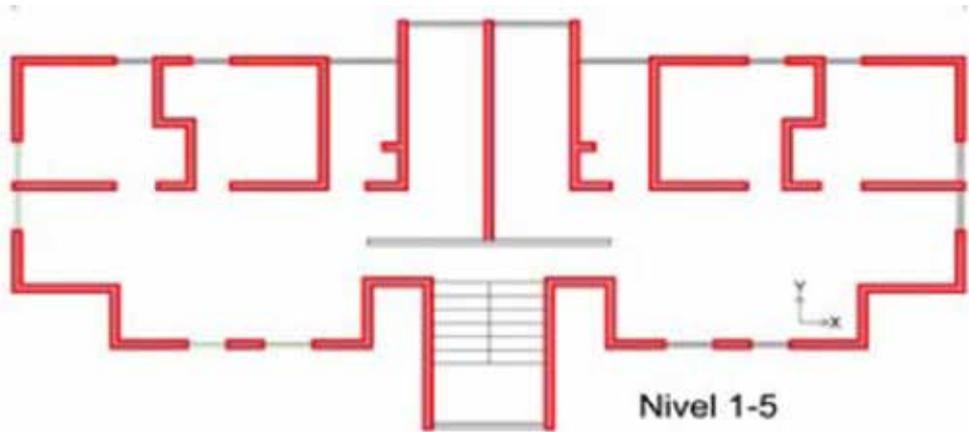


Figura 6. Planta de edificio tipo Infonavit, forma alargada con entrantes y salientes (Peralta, Sánchez y Arroyo, 2014).



Figura 7. Corte con diferentes niveles de losa y material de relleno en azotea (Sánchez, 2019a).

### *Análisis y diseño estructural*

El objetivo de esta actividad es obtener las dimensiones de los elementos estructurales; en caso de elementos de concreto reforzado también se obtiene la disposición y características del acero de refuerzo. El producto final es el proyecto ejecutivo, necesario para la construcción. La figura 8 muestra un diagrama de flujo ideal del proceso.

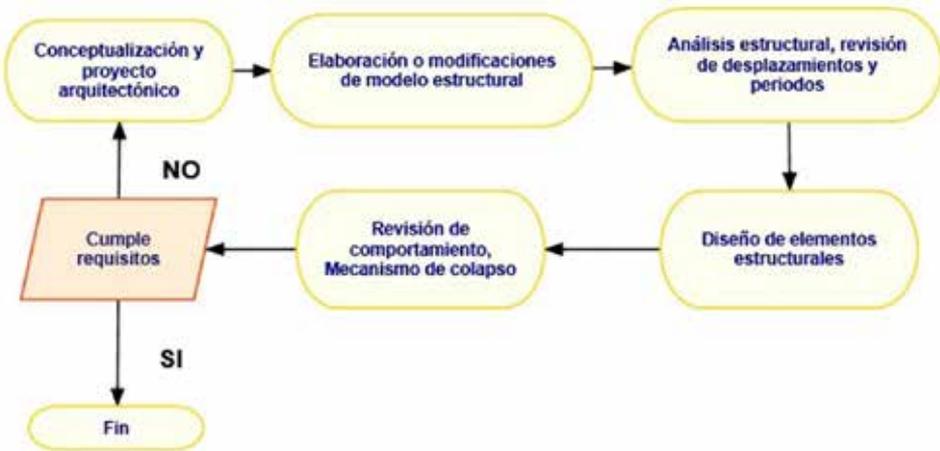


Figura 8. Ciclo de análisis y diseño en una edificación. Elaboración propia.

Para zonas sísmicas, al final del proceso de diseño debe revisarse si el modelo estructural cumple con la formación del mecanismo de colapso definido en la norma. Si no es el caso, el proceso se reinicia y puede incluir la modificación arquitectónica, materiales y reelaboración del modelo estructural. Este procedimiento garantizaría un buen comportamiento y, en consecuencia, una baja vulnerabilidad ante sismos.

Los errores frecuentes que pueden aumentar la vulnerabilidad sísmica son:

- Modelos matemáticos simplistas o equivocados, como, por ejemplo, *a*) pisos de vigueta y bovedilla modelados como diafragmas rígidos, o *b*) cimentación corrida que desprecia la aportación de las zapatas perpendiculares y la interacción suelo-estructura.
- Procesos constructivos complicados o difíciles de realizar en obra.
- Cargas muertas o vivas distintas a las reales.
- Valores de las propiedades físicas y mecánicas diferentes a las reales o altos coeficientes de variación.

- Materiales con alto peso volumétrico y baja resistencia, costo alto o requerimiento de mano de obra calificada.
- Para el caso de elementos de concreto reforzado, las secciones propuestas son insuficientes para alojar la cantidad de varillas calculadas.
- Falta de estudios de mecánica de suelos para conocer la capacidad de carga y asentamientos del suelo.
- Efectos adicionales de torsión generados por muros de retención.
- Incertidumbre en la evaluación de empuje laterales estáticos y sísmicos cuando hay muros de retención.
- Planos con información insuficiente o confusa.

En este orden, el material más común en Chilpancingo es la mampostería confinada construida con piezas de arcilla o concreto. Sin embargo, este material presenta una baja eficiencia estructural (EE). La eficiencia estructural se define como la resistencia a la compresión entre peso volumétrico y es importante para solicitaciones sísmicas. La tabla 2 muestra los valores para materiales comunes de construcción. Como se observa, el adobe es el peor material, seguido por la mampostería; en el extremo opuesto está el acero estructural A36 y el bambú, como se observa en la figura 9.

Tabla 2. Eficiencia estructural (EE) en materiales de la construcción

Material	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Eficiencia estructural (m)
Adobe	10	1,300	77
Mampostería	40	1,700	235
Concreto	250	2,400	1,042
Acero	2,530	7,500	3,373
Bambú	561	920	6,098

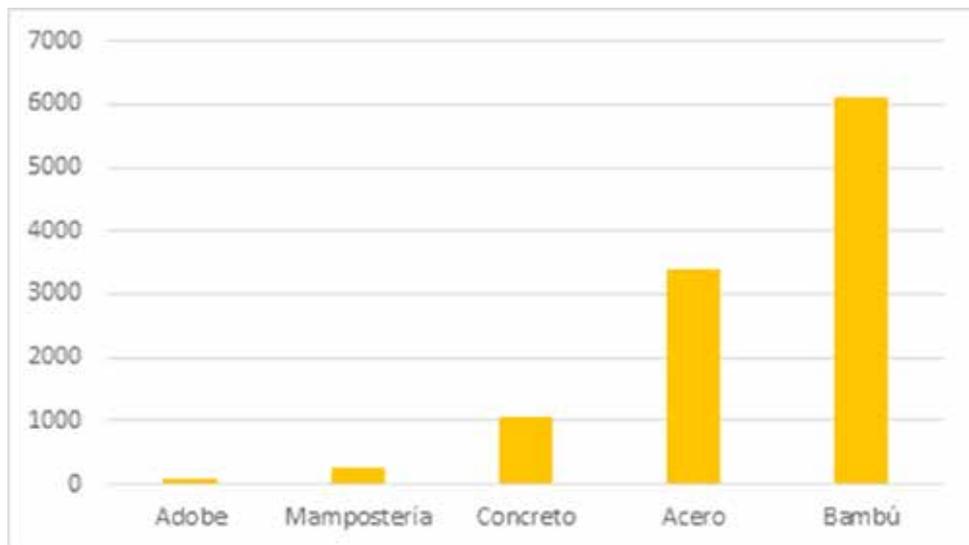


Figura 9. Eficiencia estructural (EE) en materiales sujetos a compresión. Elaboración propia.

Otro problema de la mampostería en Chilpancingo son los altos coeficientes de variación. Para la resistencia a compresión de la pieza, los rangos son 37-49 por ciento y 13-22 por ciento en tabique rojo y piezas de concreto, respectivamente. Los coeficientes de variación de la resistencia a compresión y compresión diagonal oscilan entre 15 y 24 por ciento para el tabique rojo. Como se observa, la amplia dispersión de las propiedades mecánicas impide evaluar en forma exacta su comportamiento estructural en caso de un sismo.

## Etapa de construcción

### *Cimentación y estructura*

En la parte de construcción, las fuentes de la vulnerabilidad o errores son visibles a diferencia de la etapa anterior. Los errores tienen dos orígenes: *a)* procesos definidos en el proyecto ejecutivo, *b)* procesos generados en obra. En una estructura de concreto reforzado se identifican los siguientes errores más comunes:

- En suelos con arcillas de alto poder expansivo no existe o es insuficiente el material de sustitución para colocar la cimentación.
- Nulo o insuficiente recubrimiento del acero de refuerzo.
- Baja resistencia a compresión del concreto.

- Insuficiente espacio entre acero de refuerzo para colocación del concreto.
- Traslape inadecuado del acero longitudinal.
- Ineficiente colocación del acero de refuerzo modificando los peraltes de elementos de concreto.
- Construcción de muros de concreto para retención de suelo en zonas de alta pendiente.
- Modificación del proyecto ejecutivo.
- Falta de conocimiento técnico del personal directivo, técnicos de instalaciones y trabajadores de la construcción.

Las figuras siguientes muestran varios errores constructivos que afectan el comportamiento estructural y al final se convierten en fuentes de vulnerabilidad. Los datos e imágenes corresponden a obras ubicadas en la ciudad.

La figura 10 presenta la separación de estribos en un entrepiso de un edificio. Como se observa, el 60% de los estribos de la columna C-2 no cumplen con el proyecto. En el resto de las columnas y trabes, el 23 por ciento de estribos tienen una separación mayor. Esto implica un confinamiento deficiente del acero longitudinal y disminuye la capacidad de deformación. Como es el caso, la problemática es mayor en las columnas, por lo que es posible que la estructura no alcance el mecanismo de colapso columna fuerte-viga débil deseable en zona sísmica.

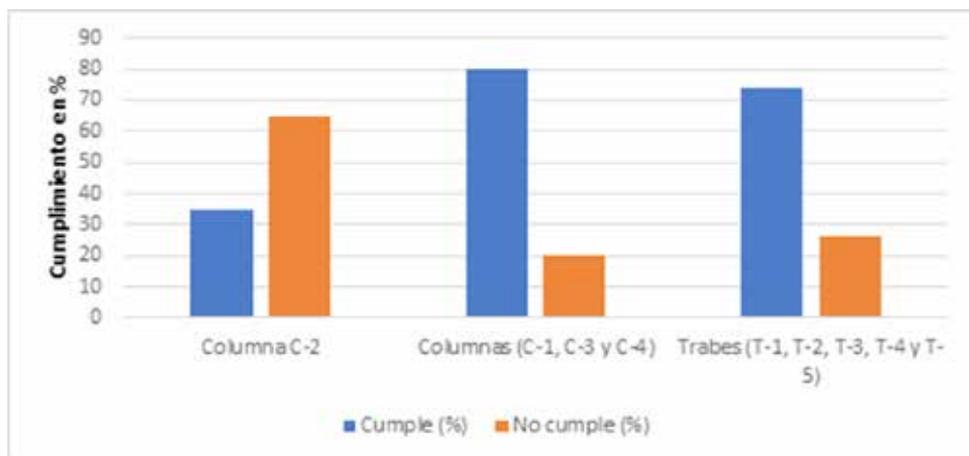


Figura 10. Separación de estribos en columnas y trabes (Santos y Rodríguez, 2018).

La figura 11 muestra la colocación de paquetes de varillas longitudinales con cuatro barras en la zona de traslape; con la idea falsa de reforzar la zona se agregaron dos barras: esto es contraproducente pues impide la adherencia entre concreto y acero. Además, los paquetes de cuatro barras no están autorizados en la norma.

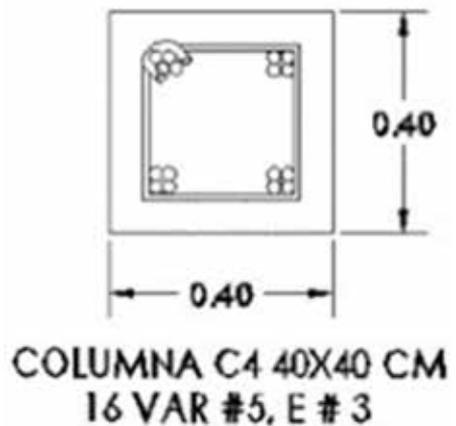


Figura 11. Traslapes de acero (Santos y Rodríguez, 2018).

Las figuras 12a y 12b muestran la falta de recubrimiento en columnas y trabes de dos edificios distintos. En un tercer edificio se realizaron mediciones de este parámetro; en la figura 13, se observa que la cimentación (zapatas y contratraves) tiene una situación crítica porque el 70 por ciento del acero no tiene recubrimiento suficiente, y en columnas y trabes los porcentajes son 50 y 28 por ciento, respectivamente. El escaso recubrimiento del acero provoca un acortamiento en la vida útil de la construcción. La capa de recubrimiento

es delgada y se inicia la reacción química del acero de refuerzo con el medio ambiente; a continuación, el acero de refuerzo aumenta de volumen por la oxidación y la delgada capa de concreto estalla agravando el problema, como se aprecia en la figura 12c.



a)



b)



c)

Figura 12. *a)* y *b)* falta de recubrimiento de acero en columnas y traves, *c)* oxidación del acero y estallamiento del recubrimiento (Santos y Rodríguez, 2018; Flores y Justo, 2020; Sánchez, 2019b).

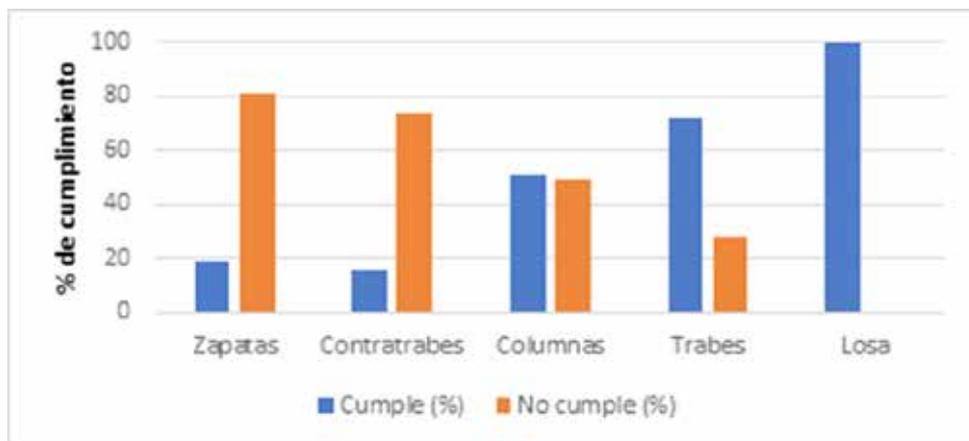


Figura 13. Recubrimiento del acero (Santos y Rodríguez, 2018).

En la mayoría de los edificios de mediana altura (cuatro a siete niveles) no existe un control de calidad de la resistencia a compresión del concreto. La figura 14 presenta el valor registrado en los diferentes elementos hasta el primer nivel. Como se observa, la elaboración del concreto fue manual y premezclado. En esta parte de la construcción se realizaron ocho colados, mezclando ambos tipos de concreto. Por ejemplo, en la losa de planta baja, las traves se colaron en forma manual y la losa con concreto premezclado. Considerando un valor de diseño de la resistencia a compresión igual a  $250 \text{ kg/cm}^2$ , existen cuatro colados realizados en forma manual con menor valor de diseño; en caso contrario, los tres colados de concreto premezclado cumplieron la especificación. Lo preocupante es que los elementos verticales son menos resistentes y pueden afectar el mecanismo de colapso.

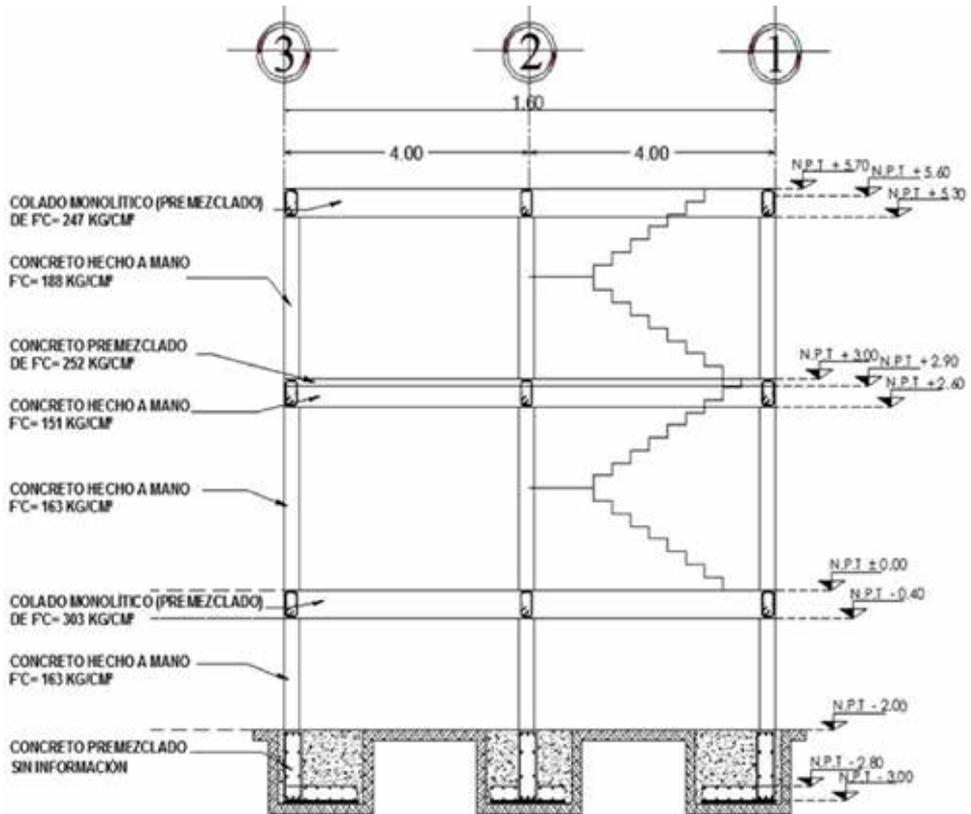


Figura 14. Variación de la resistencia a compresión del concreto (Santos y Rodríguez, 2018).

Detalles adicionales en la colocación del acero de refuerzo se muestran en la figura 15. En construcciones de mampostería confinada, los castillos tienen dimensiones mínimas iguales al espesor del muro (12-13 centímetros); esto obliga a construir estribos con 8 centímetros por lado donde el doblez extremo del acero de refuerzo debe tener una longitud de 6 centímetros. Esto implica la existencia de dos barras en las diagonales del estribo con suficiente longitud para evitar el paso del agregado grueso, que, adicional al deficiente colado, provocan huecos, como el mostrado en la figura 15a. Además, la falta de conocimiento técnico del personal de instalaciones eléctricas provoca la situación mostrada en la figura 14b. Para colocar la caja de la lámpara se levantó el acero de refuerzo del lecho inferior de la losa reduciendo el peralte efectivo, lo cual puede generar problemas en claros grandes o con altas cargas de servicio.



a)



b)

Figura 15. *a)* Combinación de sección pequeña de castillo y deficiente colado; *b)* reducción del peralte en un tablero de losa. Fotografía: Sulpicio Sánchez Tizapa.

En otro orden, el alto crecimiento de la ciudad ha provocado la construcción en zonas con alta pendiente, obligando a la construcción de muros de concreto con dos funciones: *a)* resistir el empuje estático y dinámico del suelo en dirección perpendicular al plano, y *b)* resistir los elementos mecánicos en el plano generados por el sismo sobre la estructura. Sin embargo, la colocación excéntrica de los muros puede generar torsión con el consiguiente daño estructural. En la actualidad no existe evidencia experimental del comportamiento de este tipo de construcciones, como se ve en la figura 16.

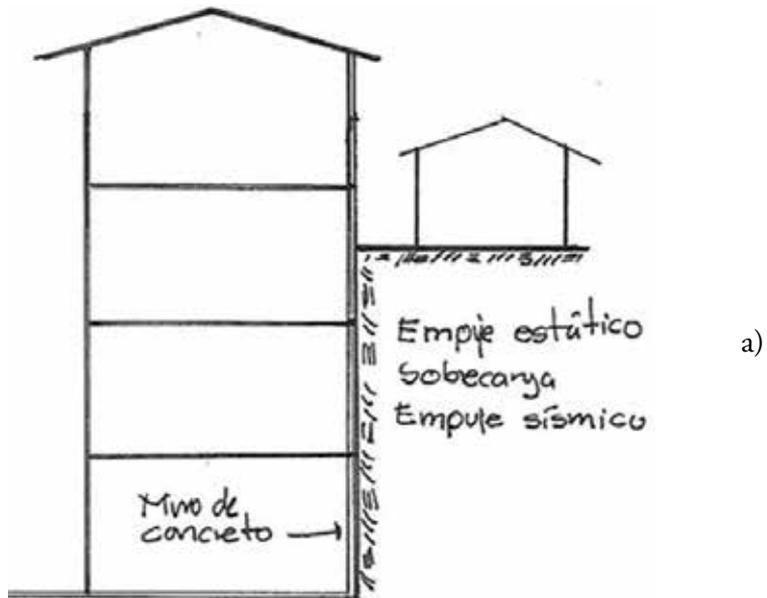
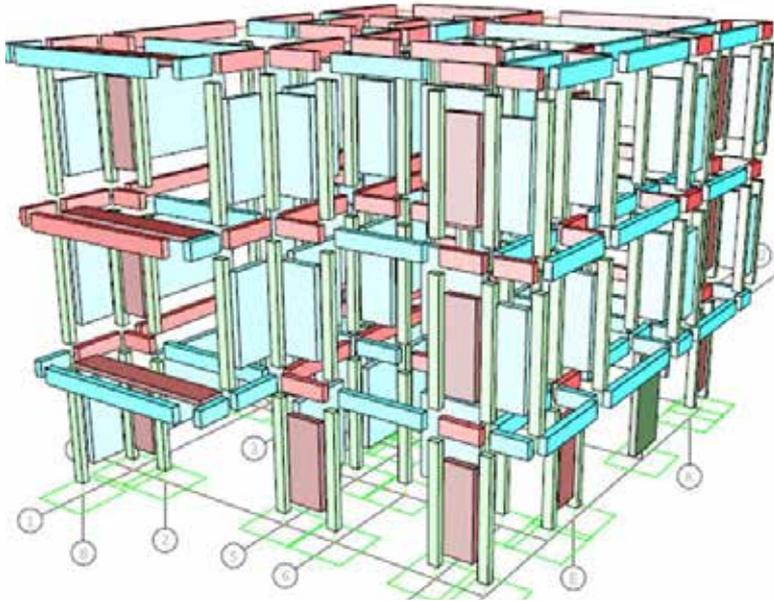


Figura 16. *a)* Corte en desnivel (elaboración propia), *b)* muro de retención. Fotografía: Sulpicio Sánchez Tizapa.

A causa de la alta demanda de las construcciones, se busca optimizar los espacios. Una solución es ampliar la superficie de las losas superiores respecto de la planta baja generando volados (figura 17). Los volados funcionan con masas libres y pueden generar un comportamiento estructural desfavorable, aumentando la flexibilidad o torsión de la estructura. Debe tenerse especial cuidado en la construcción de los elementos verticales (muros, columnas) y horizontales (trabes) que garanticen el flujo de cargas en condiciones normales o por efecto sísmico.

### *Instalaciones y acabados*

La parte final en la construcción son las instalaciones o acabados. En zona sísmica, lo ideal es utilizar acabados ligeros, porque toda masa se transforma en una fuerza inercial ante la presencia de sismos. Como se observa en figura 17, existe un relleno de 35 centímetros en azotea; si bien la probabilidad de utilizar un material ligero, como el tezontle, no garantiza una correcta impermeabilización durante la vida útil, que puede saturar el material y aumentar la masa. La figura 18 presenta tres casos adicionales que pueden causar problemas a la estructura; en el primero se muestra la falta de drenaje pluvial que provoca un almacenamiento de agua en la azotea con posibles daños posteriores en el acero. Los dos restantes muestran el daño en elementos confinantes por el paso de instalaciones sanitarias y eléctricas, pues al quedar descubierto el acero de refuerzo se provoca exposición y daño a su recubrimiento; nuevamente se puede iniciar la oxidación y afectar la función estructural.



a)



b)

Figura 17. *a)* Edificación con volados en dos direcciones en todos los niveles (elaboración propia); *b)* construcción con volado en una dirección. Fotografía: Sulpicio Sánchez Tizapa.

*Etapa de mantenimiento*

De acuerdo con la norma, las construcciones de concreto deben durar al menos cincuenta años. Sin embargo, para que esto ocurra es necesario brindar mantenimiento continuo, lo cual no es parte de la cultura de la gente. Los problemas más comunes son: *a)* falta de impermeabilización, *b)* acumulación de basura y plantas en azotea y muros, *c)* corrosión del acero, *d)* fallas en el sistema de drenaje de aguas pluviales en azotea y *e)* infiltración del agua pluvial en el suelo con afectaciones en la cimentación. La figura 18a muestra la acumulación de agua en azotea por falta de mantenimiento; en las 19a y 19b se observa basura y arbustos en azotea, y las 19c y 19d presentan la falta de encauzamiento de aguas pluviales. Todo lo anterior provoca daños estructurales que se pueden agravar en caso de sismo. En el edificio de la figura 19d, el drenaje insuficiente o inadecuado de las aguas pluviales generó asentamientos y desplomes considerables.



a)



b)



c)

Figura 18. Errores en instalaciones: *a)* falta de drenaje pluvial, *b)* y *c)* daño en elementos confinantes por el paso de instalaciones. Fotografía: Sulpicio Sánchez Tizapa.



a)



b)



c)



d)

Figura 19. *a)* y *b)* Falta de limpieza, *c)* y *d)* Inexistencia de drenaje del agua pluvial. Fotografía: Sulpicio Sánchez Tizapa.

### *Incertidumbre en la evaluación del riesgo sísmico*

Aceptando que el riesgo sísmico de cualquier estructura es función de tres variables independientes entre sí: *a)* peligro sísmico, *b)* vulnerabilidad y *c)* cantidad y exposición, cualquier situación que afecte dichas variables impacta en el nivel de seguridad estructural. En el proceso de diseño, el peligro sísmico está representado por el espectro sísmico, mientras que la vulnerabilidad queda definida por el factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ), redundancia ( $\rho$ ), sobre resistencia ( $R_o$ ) y condición de regularidad.

La figura 20 presenta el espectro de diseño sísmico reducido, utilizado para evaluar las fuerzas sísmicas actuantes y calculado con dos métodos hasta periodos de dos segundos, a saber: *a)* reglamento de construcciones para el municipio de Chilpancingo (PCCM 1994) y *b)* norma de la Comisión Federal de Electricidad (CFE-2015). Para el ejercicio se propone un edificio de siete niveles ubicada en suelo tipo II y zona D. En el primer caso sólo se requiere el factor de comportamiento sísmico,  $Q=2$ . En el segundo deben proponerse el factor de redundancia,  $\rho=1.0$ ; factor de sobrerresistencia,  $R_o=2.0$ ; factor de regularidad,  $R=1.0$ . El periodo fundamental de la construcción es  $T_o=0.67$  segundos.

Como se observa, hay una gran disparidad entre ambas propuestas normativas. Aun cuando toma en cuenta otras características de las estructuras adicionales al factor de comportamiento sísmico, la norma CFE-2015 considera mayor riesgo sísmico que la norma municipal. Al final, el coeficiente sísmico de diseño es  $0.68g$  para CFE-2015 y  $0.4g$  para el RCMCH 1994; la variación es importante y existe un incremento de 70 por ciento en las fuerzas sísmicas actuantes.

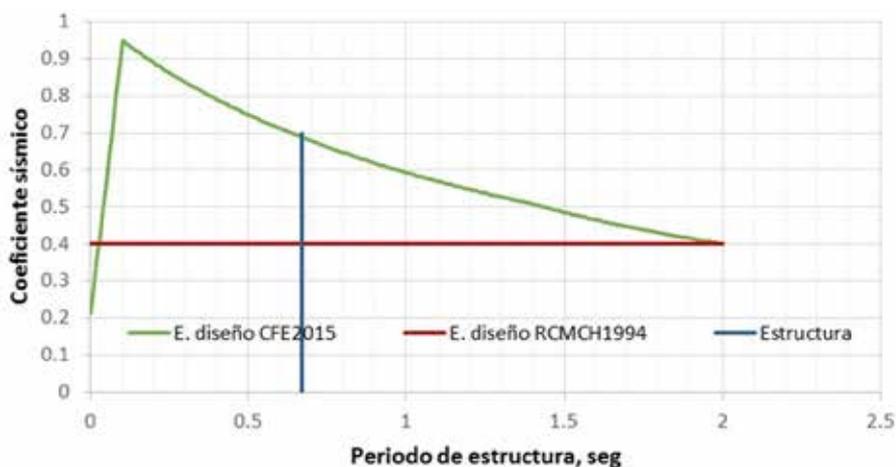


Figura 20. Variación de espectro de diseño. Elaboración propia.

## Conclusiones

En la planeación, construcción y mantenimiento de cualquier edificación pueden identificarse errores o procedimientos inadecuados que pueden afectar su comportamiento sísmico. Los errores empiezan en la fase de conceptualización con sistemas estructurales discontinuos para la transmisión horizontal o vertical de cargas, continúan con la utilización de materiales estructuralmente ineficientes, modelos estructurales no realistas, falta de revisión del comportamiento estructural. En la mayoría de los casos, durante la construcción falta control de calidad en procedimientos, materiales y colocación de instalaciones, a lo que se suma la experiencia de aprovechar al máximo el terreno de construcción.

El peligro sísmico es una variable aleatoria incontrolable para el ser humano. En el caso de Chilpancingo se tiene el mayor valor de la República Mexicana. Al contrario, la vulnerabilidad es posible de controlar disminuyendo los errores en las etapas de la vida útil de una construcción, incluyendo la fase de diseño o conceptualización, y brindando mantenimiento adecuado. Así es posible reducir el riesgo sísmico en las construcciones de la ciudad.

## Referencias

- BAZÁN E. y MELI, P. R. (1998), *Diseño sísmico de edificios*, Editorial Limusa, Noriega Editores.
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD E INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS (2015), *Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo, sección C. Tema 1: Criterios generales de análisis y diseño*, CFE, IIE, México.
- CORTÉS N, Á. (2019), “Propuesta de microzonificación sísmica de la zona urbana y conurbada de Chilpancingo, Guerrero”, tesis de Maestría en Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero.
- FLORES A, R., y JUSTO R, A. A. (2020), “Crítica sobre un edificio a base de muros de concreto sujeto a empuje lateral y flexocompresión”, tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero.
- H. AYUNTAMIENTO MUNICIPAL CONSTITUCIONAL DE CHILPANCINGO DE LOS BRAVO, GUERRERO (1999), “Reglamento de construcciones para el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero”, Chilpancingo de los Bravo, agosto de 1999, *Gaceta Municipal*.

- HONG, H. (2012), *Peligro, riesgo y diseño sísmico óptimo*; abril; Especialidad: Ingeniería Civil, Academia de Ingeniería, México.
- MELI P, R. (1991), *Diseño estructural*, Editorial Limusa, Noriega Editores.
- PERALTA G, H., SÁNCHEZ T. S, y ARROYO M. R. (2014), “Incertidumbre en la evaluación de periodos en edificios de mampostería tipo INFONAVIT ubicados en Chilpancingo, Guerrero”, *Investigación y Ciencia*, Vol. 22, N° 63, septiembre-diciembre, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, pp. 32-39.
- SÁNCHEZ, S. (2016), “Memoria de cálculo de una edificación de dos niveles, ubicada en Chilpancingo, Gro”, Chilpancingo.
- SÁNCHEZ, S. (2019). “Revisión estructural a las instalaciones de la Unidad Deportiva (crea) ubicada en Chilpancingo, Gro”, Chilpancingo.
- SÁNCHEZ, S. (2019), “Dictamen estructural de edificio ubicado en la Avenida Benito Juárez esquina con Galo Soberón y Parra de la Colonia Centro en Chilpancingo, Gro.”.
- SANTOS G, G., y Rodríguez P. A. E. (2018), “Detalles de construcción y criterios de análisis estructural de cimentación de un edificio de cuatro niveles”, tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero.
- SOUSA O, C., ROCA, A., GOULA X. (eds.) (2008), “Assessing and Managing Earthquake Risk”, *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, Volume 2, Series Atilla Ansal, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Bogazici University, Istanbul, Springer, Dordrecht.

# Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería confinada de uno a tres niveles ubicadas en Chilpancingo, Guerrero

Omar Barrios Vázquez, Esteban Rogelio Guinto Herrera

Roberto Arroyo Matus

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

## Introducción

El estado de Guerrero se encuentra en la Región Sur de la República Mexicana. Por su ubicación geográfica, de acuerdo con el reglamento de construcción para los municipios de Guerrero, se encuentra en las zonas sísmicas catalogadas como C y D, cuyo peligro sísmico asociado es alto y severo, respectivamente. De manera particular, el 85 por ciento de sus municipios se ubican en la zona de peligro severo. Este peligro se asocia de manera directa a la brecha sísmica que se extiende a lo largo de la franja costera del estado, extendiéndose desde la Ciudad de Petatlán hasta los límites con el estado de Oaxaca (Arroyo, 2010).

Chilpancingo de los Bravo, capital del estado de Guerrero, es una de las ciudades que más afectaciones ha registrado a consecuencia de los sismos, como el del 11 de diciembre de 2011, de magnitud 6.5 en la escala de Richter, con epicentro en Zumpango del Río, Guerrero, que causó daños catalogados como moderados y severos en las viviendas ubicadas en la región noroeste de la ciudad, en una franja aledaña al Río Huacapa, el cual atraviesa la ciudad de norte a sur (Arroyo, 2014) y cuyos efectos posteriores dieron paso a la realización del presente trabajo.

Derivado de los daños generados a las viviendas ubicadas en la Ciudad de Chilpancingo de los Bravo, por la ocurrencia del sismo antes citado, es meri-

torio definir sus condiciones estructurales actuales, razón por la cual se han elegido como objeto de evaluación de su vulnerabilidad sísmica a las viviendas ubicadas en las zonas aledañas al cauce del Río Huacapa, particularmente las viviendas ubicadas en la parte noroeste de la ciudad, que actualmente ocupa el Barrio de la Santa Cruz.

La valoración se realizó a una muestra representativa de la población y consistió una evaluación cualitativa basada en las condiciones de regularidad en planta y elevación de la estructura, establecidas en las NTCCDMX, 2017, para diseño por sismo. De los resultados de la evaluación se determinaron los grados de vulnerabilidad sísmica de las viviendas y, mediante el uso de un sistema de información geográfica, se elaboró el mapa de vulnerabilidad sísmica de la zona de estudio.

Lo anterior, con la finalidad de ubicar las zonas más vulnerables ante la ocurrencia de un sismo de determinada magnitud y prever un plan de acción para prevenir futuros desastres por sismos, mediante la rehabilitación de las viviendas muy vulnerables, la ubicación de zonas seguras, entre otras, además de que podrá emplearse como una herramienta en la toma de decisiones para la aplicación de programas sociales de mejoramiento de viviendas a nivel municipal.

## Zona de estudio y Metodología

### *Zona de estudio*

La zona de estudio se ubica en Chilpancingo de los Bravo, en los márgenes del Río Huacapa, a una altitud de 1,250 metros sobre el nivel del mar, en un valle con un relleno de material aluvial de la era Cuaternaria, periodo Holoceno, que está bordeado por una unidad de roca sedimentaria de marga arenosa de edad Terciario Plioceno y a su vez yace a rocas sedimentarias compuestas de conglomerado polimíctico y limolita de era Terciaria, periodo Paleoceno (Cortés, 2017).

El municipio de Chilpancingo, como se muestra en la figura 1, se localiza en el centro del estado, en las coordenadas 17°10" de latitud sur y 17°37" de latitud norte y los 99°23" de longitud este y 100°04" de longitud oeste, respecto del meridiano de Greenwich. Colinda al norte con Leonardo Bravo y Eduardo Neri (antes Zumpango del Río); al sur con Juan R. Escudero y Acapulco; al este con Mochitlán y Tixtla, y al oeste con Coyuca de Benítez y Leonardo Bravo (INEGI, 2005).

Chilpancingo actualmente se encuentra dividido en cinco barrios tradicionales: San Mateo, San Francisco, San Antonio, Tequicorral y Santa Cruz, siendo este último uno de los barrios con más afectaciones a consecuencia del multicitado sismo y en el que se centra este estudio.



Figura 7. Ubicación de Chilpancingo: *A)* en México, y *B)* en el estado de Guerrero. Fuente: INEGI, 2005.

De acuerdo con la información disponible en la base de datos del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2019), el área de estudio de este barrio consta de veinte manzanas que abarcan aproximadamente un área de 0.33 kilómetros cuadrados y un total de 408 estructuras de uno a tres niveles de mampostería confinada; se encuentra delimitada al norte por el Paseo Alejandro Cervantes Delgado, la Calle A. Elizondo de Calvo y la Calle Moisés Guevara; al sur por la Calle Nicolás Bravo; al oriente por la Avenida Benito Juárez, y al poniente por el Paseo Alejandro Cervantes Delgado y la Carretera Chilpancingo-Cuernavaca, como se muestra en la figura 2.

El Barrio de la Santa Cruz se ubica en un suelo tipo II y presenta periodos de vibración del terreno que oscilan entre los 0.57 y 0.66 segundos (Cortés, 2017).

Mediante la aplicación de un muestreo estadístico se determinó el tamaño de la muestra para un nivel de confianza del 95 por ciento que, de acuerdo con estudios realizados en la Colonia Roma de la Ciudad de México, este nivel de confianza garantiza una muestra representativa de la población (Guillén, 2005).



Figura 8. Zona de estudio, barrio de la Santa Cruz. Elaboración propia con información obtenida de INEGI, 2018.

### *Metodología*

Seleccionada la zona de estudio y determinado el tamaño de la muestra (92 viviendas), la metodología empleada en la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica se describe a continuación.

### *Evaluación cualitativa*

Consiste en aplicar una evaluación basada en la técnica de inspección y puntaje, donde, en función de su contribución a la vulnerabilidad sísmica de la vivienda, se califican criterios de regularidad en planta y elevación de la estructura, establecidas en las NTCCDMX, 2017, así como el año de construcción, tipo de suelo en el que se ubique la estructura, daños asociados a sismos previos: antiguos y recientes y espectacular en azotea. En la tabla 1 se muestran los parámetros a evaluar y el porcentaje de vulnerabilidad asignado a cada uno de ellos.

Tabla 1. Parámetros a evaluar

Bloque	Parámetros a evaluar	% de vulnerabilidad
I	Año de construcción	25
	Daños por sismos pasados	5
	Espectacular en azotea	2
II	Tipo de Suelo	15
	Piso débil	15
III	Geometría en planta; entrantes y salientes	10
	Vacios en el sistema de piso	10
IV	Geometría en elevación	3
	Elemento sismo-resistente no ortogonal	3
	Relación alto-ancho: $h_1/b_1$	3
	Relación alto-ancho: $h_2/b_2$	3
	Relación largo-ancho: $L_1/b_1$	3
	Relación largo-ancho: $L_2/b_2$	3
	Total % vulnerabilidad:	100

El grado de vulnerabilidad sísmica está en función del porcentaje obtenido de la evaluación: para un porcentaje comprendido entre 0 y 40 por ciento se propone una baja vulnerabilidad sísmica de la vivienda; se tendrá una vulnerabilidad sísmica media cuando el porcentaje obtenido de la evaluación se encuentre en un rango de 41 a 50 por ciento, mientras que si el porcentaje obtenido se encuentra entre el 51 y el 100 por ciento se asignará a la vivienda un alto grado de vulnerabilidad sísmica, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Determinación del grado de vulnerabilidad sísmica de la vivienda

% de vulnerabilidad	Grado de vulnerabilidad	Simbología
0-40	Bajo	
41-50	Medio	
51-100	Alto	

Se recomienda que las viviendas de mampostería confinada de uno a tres niveles de  $51\% \leq \% \text{ de vulnerabilidad} \leq 100\%$ , se sometan a un examen más exhaustivo, a una evaluación cuantitativa.

Con la finalidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la zona en estudio, se llevó a cabo una recopilación de información mediante un formato impreso; por medio de este formato se recopilaron los datos necesarios para llevar a cabo la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda; el formato consta de siete páginas, la primera para recopilar datos generales de la vivienda, la segunda para realizar un bosquejo de la planta arquitectónica de la vivienda con el fin de conocer su geometría en planta y elevación, de la página 3 a la página 7 se encuentran agrupados en cuatro bloques los parámetros a evaluar; adicional a las siete páginas se proporciona una más en la cual se verá reflejado el resultado de la evaluación. En las figuras 3 a 10 se muestra el formato empleado en la evaluación cualitativa y, a manera de ejemplo, se muestra la evaluación de una de las viviendas que forma parte de la muestra seleccionada. Se trata de una vivienda de dos niveles estructurada con muros de mampostería confinada a base de piezas de tabique rojo recocido, con un área de construcción aproximada de 91 metros cuadrados, la cual se identificó con el número de registro ESC E302. A continuación, se describen los resultados de la evaluación de esta vivienda.

### Evaluación cualitativa de la vivienda ESC E302

#### Bloque I

- *Año de construcción:* la vivienda fue construida antes de 1985, por lo que probablemente haya sido construida sin apego a algún código de construcción. Vulnerabilidad = 25%.
- *Daños por sismos pasados:* la vivienda no ha sufrido daños por sismos antiguos ni recientes. Vulnerabilidad = 0%.
- *Espectacular en azotea:* la vivienda presenta un espectacular en azotea. Vulnerabilidad = 2 %.

#### Bloque II

- *Tipo de suelo:* la vivienda se ubicada en la zona sísmica D, de acuerdo con el Reglamento de Construcción para los municipios del estado de Guerrero; se ubica en un suelo mediamente blando; tipo II. Vulnerabilidad= 15 %.

- *Piso débil*: los elementos sismo resistentes en la dirección X y en la dirección Y, no son menores en un rango del 50 por ciento del entrepiso inmediato inferior. Vulnerabilidad = 0 %.

### Bloque III

- *Geometría en planta; entrantes y salientes*: se presenta una entrante ( $L_e$ ) de 4 metros de longitud, siendo la longitud paralela ( $L_p$ ) a ésta de 9 metros, por lo que la longitud de la entrante es mayor a 20 por ciento de la longitud paralela;  $L_e = 4 \text{ m} > 20\% L_p = 1.8 \text{ m}$ . La longitud de la entrante no es adecuada. Vulnerabilidad = 10 %.
- *Vacios en el sistema de piso*: no existen vacíos en el sistema de piso. Vulnerabilidad = 0 %.

### Bloque IV

- *Geometría en elevación*: en cada dirección en ningún piso hay una dimensión en planta mayor que 110 por ciento del piso inmediato inferior y ninguno tiene una dimensión en planta mayor que 125 por ciento de la menor de las dimensiones de los pisos inferiores en la misma dirección. Vulnerabilidad = 0 %.
- *Elemento sismo resistente no ortogonal*: la simetría ortogonal de los elementos sismo resistentes es adecuada. Vulnerabilidad = 0 %.
- *Relación alto-ancho*: la razón de esbeltez de la vivienda es igual a 0.6, considerando una altura máxima (nivel de azotea) de 5.4 metros y el lado en planta más corto = 9 m. El factor es adecuado por no ser mayor a 4. Vulnerabilidad = 0 %.
- *Relación largo-ancho*: la relación de esbeltez obtenida fue de 1.22, la cual es adecuada, ya que este parámetro es menor de 4. Vulnerabilidad = 0 %.

De la sumatoria del porcentaje obtenido en cada parámetro, se tiene una vulnerabilidad del 52 por ciento por lo que, de acuerdo con la tabla 2, la vivienda tiene un grado de vulnerabilidad sísmica alto.

		Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda			
Fecha: 25-04-2019		Número de registro: ESCED02		Página: 1 de 7	
<b>Datos del inmueble</b>					
Calle y número: Arturo Martínez Adams		Entre: Nicolás Catalán		T: Arturo Alvaradojo	
Colonia: Barrio de la Santa Cruz		Población: Chilpancingo, Gro.		Pieza de mampostería: TR	
Coordenadas: Latitud: 17°32'16.22"N		Longitud: 99°39'31.15"O		No. De manzana: 14	
Ubicación: Aislado		Medio		Esquina: x	
				Número de niveles: 2	
<b>Croquis de localización</b>					
					
Observaciones:					
<b>Bitácora fotográfica</b>					
					

Figura 1. Formato de evaluación; datos del inmueble.

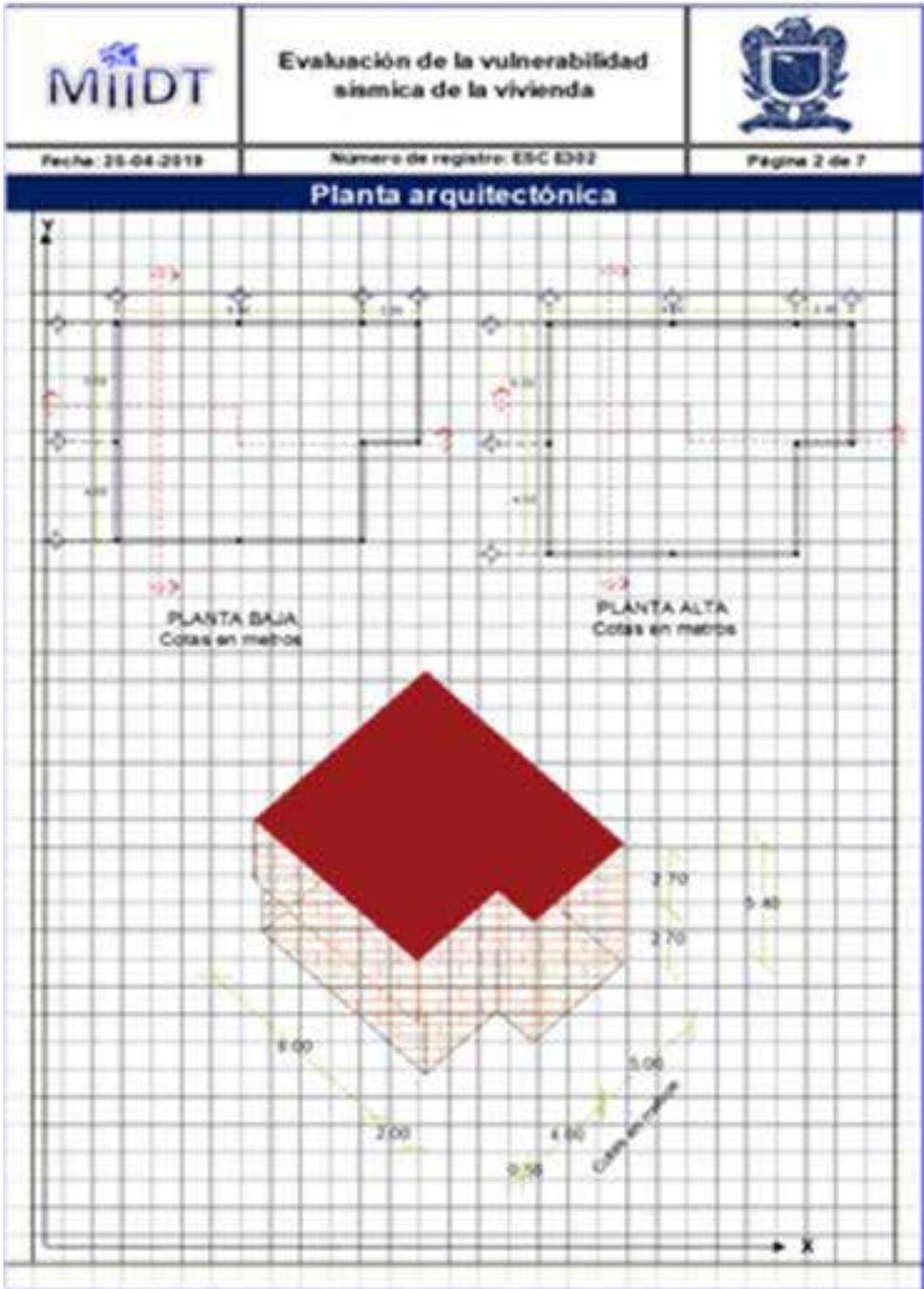


Figura 1. Formato de evaluación; planta arquitectónica

	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda	
Fecha: 25-04-2019	Número de registro: ESC E302	Página 3 de 7

BLOQUE I

**Año de construcción:**

Año	Vulnerabilidad (%)	Vulnerabilidad asignada (%)
Antes de 1985	25	25
Después de 1985	0	

**Daños por sismos pasados:**

Daños	Vulnerabilidad (%)	Vulnerabilidad asignada (%)
Si	5	0
No	0	

**Espectacular en azotea:**

Espectacular	Vulnerabilidad (%)	Vulnerabilidad asignada (%)
Si	2	2
No	0	

BLOQUE II

**Tipo de suelo:**

Tipo	Vulnerabilidad (%)	Vulnerabilidad asignada (%)
1	0	15
2	15	

Tipo 1 - Terreno firme, tal como lepedero, arcilla medianamente cementada, arcilla muy compacta de incluye la zona basalice

Tipo 2 - Suelo de baja rigidez, tal como arenas no cementadas o limos de mediana o alta capacidad, arcillas de mediana capacidad. Depósitos aluviales.

**Piso débil:**

Piso débil	Vulnerabilidad (%)	Vulnerabilidad asignada (%)
Si	15	0
No	0	

Se considera planta débil cuando los elementos sísmo resistentes de un piso sean menor en un rango de 50% respecto a otro, en uno o ambos sentidos.

Figura 1. Formato de evaluación; Bloques I y II.

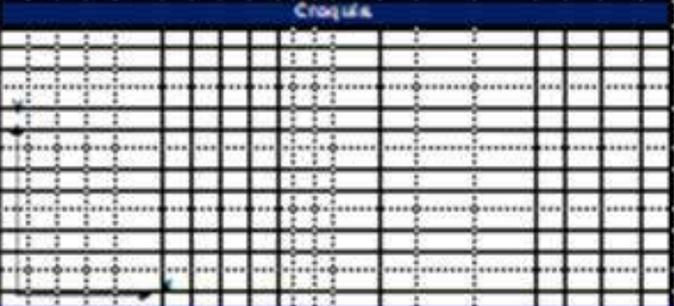
	<b>Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>				
Fecha: 25/04/2019	Número de registro: 1594 2019	Página 4 de 7			
<b>BLOQUE III</b>					
<b>Geometría en planta; entranbas y salientes:</b>					
Longitud exterior ( $L_e$ ) en metros ( $L_e$ )	Longitud paralela ( $L_p$ ) a $L_e$ en metros ( $L_p$ )	$L_p > 0.3 L_e$ en metros	$L_e > 1.2 L_p$ en metros	Vulnerabilidad	Vulnerabilidad asignada (%)
(Sí/No)	(Sí/No)	Sí/No	Sí/No	(%)	(%)
<b>Croquis</b>					
					
Si la dimensión de la entrante o entrante es mayor del 20% de la dimensión de la pared paralela paralelamente a la dirección en que estas se consideran, asignar una vulnerabilidad del 10%, en caso contrario la vulnerabilidad tendrá un valor del 0%.					
<b>Vació en el sistema de piso mayor de 20% de su área en planta:</b>					
$L_p$	$A_p$	$L_e$	$A_e$	$A_p > 20\% A_e$	Vulnerabilidad
(Sí/No)	(Sí/No)	(Sí/No)	(Sí/No)	(Sí/No)	(%)
<b>Croquis</b>					
					
Si el área total de la abertura en el sistema de piso es mayor al 20% del área total en planta del mismo nivel, se asignará una vulnerabilidad del 10%, en caso contrario el valor de la vulnerabilidad es de 0%.					

Figura 1. Formato de evaluación; Bloque III.

	<b>Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>					
Fecha: 25-04-2019	Número de registro: ESC E302	Página 5 de 7				
<b>BLOQUE IV</b>						
<b>Geometría en elevación:</b>						
DIRECCIÓN "X".						
Dimensión	110% del piso inmediato inferior	125% de la menor de las dimensiones de los pisos inferiores	Dimensión mayor del 110%		Dimensión mayor del 125%	
			Si	No	Si	No
L1	11	12.1		*		*
L2	11					
L3						
L4						
L5						
DIRECCIÓN "Y".						
Dimensión	110% del piso inmediato inferior	125% de la menor de las dimensiones de los pisos inferiores	Dimensión mayor del 110%		Dimensión mayor del 125%	
			Si	No	Si	No
L1	8	11.25		*		*
L2	8.5					
L3						
L4						
L5						
Vulnerabilidad asignada (%)						
0						

Figura 1. Formato de evaluación; Bloque IV

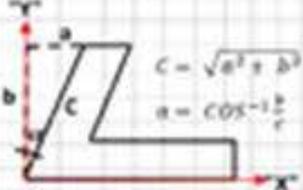
	<b>Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>	
Fecha: 25-04-2019	Número de registro: ESC E202	Página 6 de 7

BLOQUE IV

Elemento sísmo-resistente no ortogonal:

a	b	c	$\alpha$	$\alpha > 15^\circ$	
(M)	(R)	(M)	(°)	Si	No

Vulnerabilidad asignada (%)
0



Croquis
<div style="position: relative; width: 100%; height: 100%;"> <span style="position: absolute; top: 0; left: 0;">y</span> <span style="position: absolute; bottom: 0; right: 0;">x</span> </div>

Quando el elemento sísmo-resistente no sea sensiblemente paralelo a uno de los ejes ortogonales, es decir, cuando el ángulo que forma en planta con respecto a dicho eje sea mayor de 15°, se asignará una vulnerabilidad del 3%, de lo contrario tomará un valor del 0%.

Figura 1. Formato de evaluación; Bloque IV

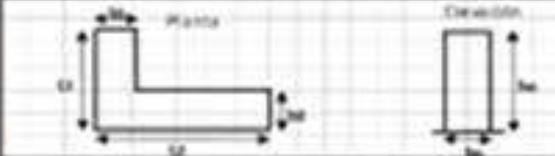
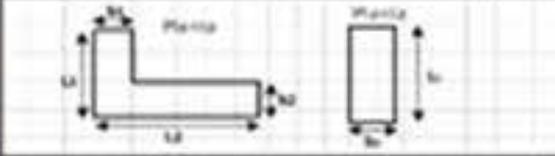
	<b>Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>																																													
Fecha: 28-04-2019	Número de registro: ESC 8302	Página 7 de 7																																												
<b>BLOQUE IV</b>																																														
<b>Relación alto/ancho:</b>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>h1</th> <th>h2</th> <th>h1</th> <th>h2</th> <th>h1/h2 &gt; 4</th> <th>h2/h1 &gt; 4</th> </tr> <tr> <th>(m)</th> <th>(m)</th> <th>(m)</th> <th>(m)</th> <th>Si</th> <th>No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>3.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	h1	h2	h1	h2	h1/h2 > 4	h2/h1 > 4	(m)	(m)	(m)	(m)	Si	No	3		3.4																<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Vulnerabilidad asignada (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>h1/h2</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>h2/h1</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td><b>% total</b></td> <td style="text-align: center;"><b>0</b></td> </tr> </tbody> </table>		Vulnerabilidad asignada (%)		h1/h2	0	h2/h1	0	<b>% total</b>	<b>0</b>						
h1	h2	h1	h2	h1/h2 > 4	h2/h1 > 4																																									
(m)	(m)	(m)	(m)	Si	No																																									
3		3.4																																												
Vulnerabilidad asignada (%)																																														
h1/h2	0																																													
h2/h1	0																																													
<b>% total</b>	<b>0</b>																																													
	Si la relación de la altura de la vivienda con respecto a la dimensión menor de su base es mayor a 4 metros, asignar una vulnerabilidad del 2%, en caso contrario la vulnerabilidad tomará un valor de 0%.																																													
<b>Croquis</b>																																														
																																														
<b>Relación largo/ancho:</b>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>b1</th> <th>b2</th> <th>L1</th> <th>L2</th> <th>L1/b1 &gt; 4</th> <th>L2/b2 &gt; 4</th> </tr> <tr> <th>(m)</th> <th>(m)</th> <th>(m)</th> <th>(m)</th> <th>Si</th> <th>No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>11</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.3</td> <td></td> <td>11</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	b1	b2	L1	L2	L1/b1 > 4	L2/b2 > 4	(m)	(m)	(m)	(m)	Si	No	3		11				3.3		11																<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Vulnerabilidad asignada (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L1/b1</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>L2/b2</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td><b>% total</b></td> <td style="text-align: center;"><b>0</b></td> </tr> </tbody> </table>		Vulnerabilidad asignada (%)		L1/b1	0	L2/b2	0	<b>% total</b>	<b>0</b>
b1	b2	L1	L2	L1/b1 > 4	L2/b2 > 4																																									
(m)	(m)	(m)	(m)	Si	No																																									
3		11																																												
3.3		11																																												
Vulnerabilidad asignada (%)																																														
L1/b1	0																																													
L2/b2	0																																													
<b>% total</b>	<b>0</b>																																													
	Si la relación de largo a ancho de la base de la vivienda es mayor a 4 metros, asignar una vulnerabilidad del 2%, en caso contrario la vulnerabilidad tomará un valor de 0%.																																													
<b>Croquis</b>																																														
																																														

Figura 1. Formato de evaluación; Bloque IV

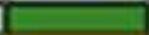
	<b>Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>	
Fecha: 29-Oct-2019	Número de registro: ESO 0302	Página 1 de 1
<b>Datos de generales</b>		
Calle y número: Arturo Martínez Adame	Entre: Nicolás Cabello	V: Arturo Alvarado
Colonia: Barrio de la Santa Cruz	Población: Chiguaningo, Dns.	Foja de mancomunera: 18
Coordenadas: Latitud: 17°32'14.22"N	Longitud: 89°32'11.16"O	Nº. De manzana: 14
Ubicación: <input type="checkbox"/> Alameda <input type="checkbox"/> Wendo <input type="checkbox"/> Estación <input type="checkbox"/> Número de Alveos: <input type="checkbox"/>	2	
<b>Resultado de la evaluación</b>		
<b>Elloque</b>	<b>Condiciones de Irregularidad</b>	<b>Vulnerabilidad %</b>
<b>I</b>	Año de construcción antes de 1955	25
	Daños por sismos pasados	0
	Espectacular en azotea	2
<b>II</b>	Tipo de Suelo	15
	Piso débil	0
<b>III</b>	Geometría en planta; entrantes y salientes	10
	Vacios en el sistema de piso mayores del 20% de su área en planta	0
<b>IV</b>	Geometría en elevación	0
	Elemento sismo-resistente no ortogonal	0
	Relación alto-ancho: $h_u/b_u > 4$ m	0
	Relación alto-ancho: $h_v/b_v > 4$ m	0
	Relación largo-ancho: $L_u/b_u > 4$ m	0
	Relación largo-ancho: $L_v/b_v > 4$ m	0
<b>Puntaje total (%)</b>		<b>52</b>
<b>Grado de vulnerabilidad:</b>		
<b>% de vulnerabilidad</b>	<b>Grado de vulnerabilidad</b>	<b>Simbología</b>
0-40	Baja	
41-50	Media	
51-100	Alta	
<b>Observaciones:</b>		

Figura 1. Resultado de la evaluación.

Bajo esta metodología se evaluaron las 92 viviendas que integran la muestra de la zona en estudio, los resultados de la evaluación se muestran a continuación.

### *Resultados*

De la aplicación de la evaluación cualitativa se observa que de las 92 viviendas evaluadas predominan las estructuras de dos niveles y como pieza de mampostería el tabique rojo recocado, como se muestra en las tablas 3 y 4 y las figuras 11 y 12, respectivamente.

Tabla 3. Distribución de estructuras por número de niveles

Distribución de estructuras por número de niveles		
N° de niveles	Barrio de la Santa Cruz	
	N° de estructuras	%
1	7	7.61
2	66	71.74
3	19	20.65
Total	92	100

Tabla 4. Distribución de estructuras por pieza de mampostería

Distribución de estructuras por pieza de mampostería		
Pieza de mampostería	Barrio de la Santa Cruz	
	N° de estructuras	%
Tabique rojo recocado	91	98.91
Tabicón	1	1.09
Block ligero	0	0.00
Otro	0	0.00
Total	92	100.00



Figura 11. Distribución de estructuras por número de niveles.

Respecto de los parámetros evaluados, los que tienen mayor influencia en la vulnerabilidad sísmica de la vivienda son el año de construcción, espectacular en azotea, tipo de suelo, piso débil y la geometría en planta en lo referente a entrantes y salientes, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Distribución de estructuras por pieza de mampostería.

Del análisis de la información que arrojó la evaluación cualitativa aplicada, se puede apreciar que el 69.57 por ciento de las viviendas de esta zona es acreedora a una vulnerabilidad sísmica baja, el 18.48 por ciento a una vulnerabilidad sísmica media y únicamente el 11.96 por ciento a una vulnerabilidad sísmica alta, como se muestra en la tabla 5 y las figuras 13 y 14.

Tabla 5. Grados de vulnerabilidad sísmica: Barrio de la Santa Cruz

Grado de Vulnerabilidad Sísmica	Barrio de la Santa Cruz	
	Nº de estructuras	%
Alto	11	11.96
Medio	17	18.48
Bajo	64	69.57
Total	92	100.00

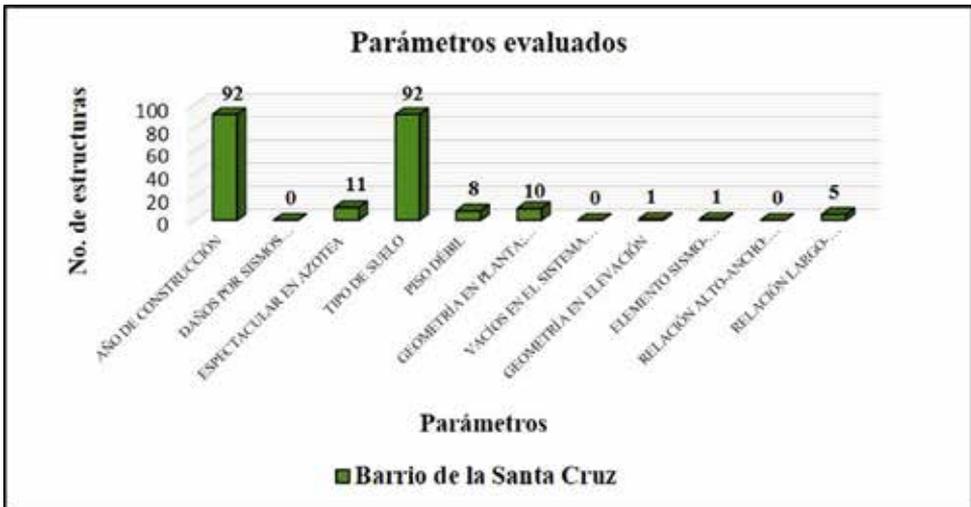


Figura 13. Influencia de los parámetros evaluados en la vulnerabilidad sísmica de la estructura.

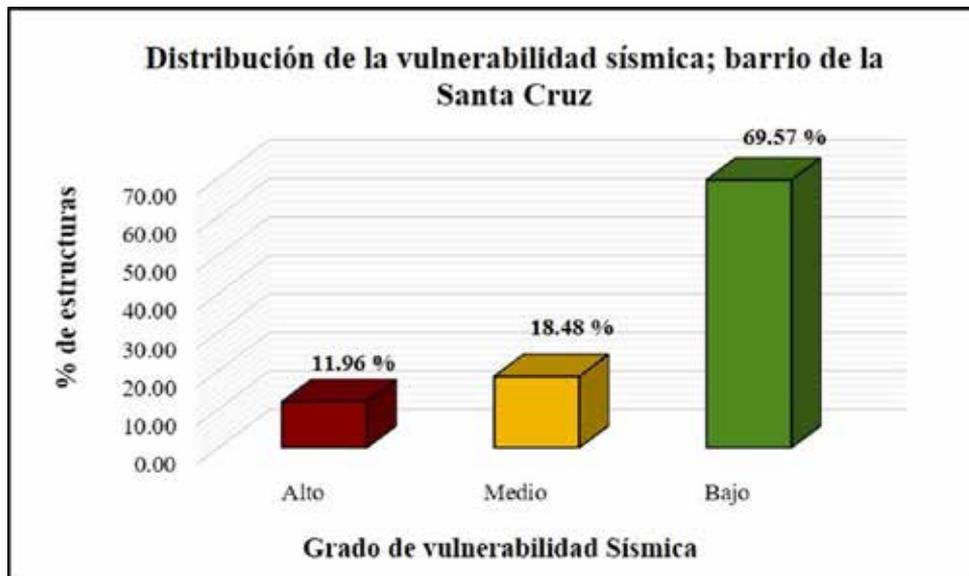


Figura 14. Distribución del grado de vulnerabilidad sísmica.

A manera de resumen, en la tabla 6 se muestra la ubicación de las once viviendas calificadas con vulnerabilidad sísmica alta mediante la aplicación del método cualitativo.

Tabla 6. Viviendas detectadas con vulnerabilidad sísmica alta

N/P	Estructura	N° de manzana	Latitud	Longitud	Pieza de mampostería	N° de niveles	Vulnerabilidad total (%)
1	ESC E023	1	17°33'5.25"N	99°30'10.66"O	TR	2	55
2	ESC E041	1	17°33'2.63"N	99°30'15.15"O	TR	3	55
3	ESC E073	3	17°33'7.78"N	99°30'11.36"O	TR	2	52
4	ESC E082	3	17°33'5.64"N	99°30'14.99"O	TR	2	58
5	ESC E154	6	17°33'9.17"N	99°30'9.90"O	TR	3	55
6	ESC E172	7	17°33'7.72"N	99°30'18.33"O	TR	2	53
7	ESC E199	7	17°33'11.83"N	99°30'15.12"O	TR	2	55
8	ESC E217	7	17°33'7.81"N	99°30'22.73"O	TR	2	58
9	ESC E275	11	17°33'16.16"N	99°30'16.64"O	TR	3	55
10	ESC E302	14	17°33'15.23"N	99°30'21.15"O	TR	2	52
11	ESC E316	15	17°33'38.80"N	99°30'36.12"O	TR	2	70

*Elaboración del mapa de vulnerabilidad sísmica de la zona de estudio*

En los últimos años el desarrollo de herramientas SIG ha puesto de manifiesto su potencial para la gestión de datos. Permite el almacenamiento de información de características y levantamientos de edificios, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y la predicción de escenarios de daños y riesgos, así como la actualización y mejora de los datos. Esta herramienta integrada puede ser útil para el desarrollo de estrategias de fortalecimiento, análisis de costo-beneficio, protección civil y planificación de emergencias (Vicente, 2010).

El almacenamiento y la gestión adecuados de los datos requieren un SIG para obtener una visión espacial de los problemas asociados con un área de estudio determinada. La vulnerabilidad sísmica se cartografió utilizando un *software* SIG conectado a una base de datos con un enfoque particular en los parámetros evaluados en cada una de las viviendas.

El ejemplo presentado aquí representa la implementación de una plataforma viable y progresiva, que integre los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la zona en estudio. Para la elaboración del mapa de vulnerabilidad sísmica se hizo uso de:

- *ArcGIS* 10.3
- Traza urbana de la Ciudad de Chilpancingo.

El proceso de elaboración consistió, a grandes rasgos, primeramente en cargar la traza urbana de la ciudad en *ArcGIS* para luego delimitar la zona de estudio mediante la elaboración de un polígono, como se muestra en la figura 15. Con la información disponible y con una rutina en *ArcGIS*, a nivel de manzana, se asignó el grado de vulnerabilidad sísmica obtenida de la evaluación cualitativa, mediante el uso de atributos mostrados en la figura 16.



Figura 15. Trazo urbana de Chilpancingo y elaboración de polígono en ArcGIS.

OBJETOID *	Shape *	CODIGO	CVEGED	GEOGRAFICO	FECHAACT	GEOMETRIA	INSTITUCIO	Shape_Length	Shape_Area	VULNERABILIDAD
1	Polygon	LA_6635	1202900010044040	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	591.950557	9613.276334	3
2	Polygon	LA_6635	1202900010054030	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	178.030323	1827.216113	0
3	Polygon	LA_6635	1202900011029020	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	2011.732795	34154.003056	1
4	Polygon	LA_6635	1202900010044034	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	203.103604	3750.000967	2
5	Polygon	LA_6635	1202900010044039	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	776.277171	19045.923373	3
6	Polygon	LA_6635	1202900010044038	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	766.347718	27228.036913	2
7	Polygon	LA_6635	1202900010044033	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	737.146136	19188.075443	3
8	Polygon	LA_6635	1202900010044033	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	716.816117	23211.122063	3
9	Polygon	LA_6635	1202900010044010	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	984.724742	14376.071523	2
10	Polygon	LA_6635	1202900010044003	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	837.67901	34331.016317	1
11	Polygon	LA_6635	1202900010044096	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	317.02253	1791.009596	3
12	Polygon	LA_6635	1202900010044020	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	262.052038	4586.992357	1
13	Polygon	LA_6635	1202900010044019	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	266.464126	3793.932725	1
14	Polygon	LA_6635	1202900010044002	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	956.125409	52334.570193	3
15	Polygon	LA_6635	1202900010054039	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	248.066292	3756.389195	1
16	Polygon	LA_6635	1202900010054040	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	242.76623	3662.190111	3
17	Polygon	LA_6635	1202900010054041	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	306.446317	5706.096546	1
18	Polygon	LA_6635	1202900010054042	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	332.662964	6533.777076	1
19	Polygon	LA_6635	1202900010054043	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	293.687321	5348.677967	1
20	Polygon	LA_6635	1202900010064021	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	255.450443	3764.687152	1
21	Polygon	LA_6635	1202900011029043	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	37.790504	80.046023	1
22	Polygon	LA_6635	1202900011029045	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	65.981753	193.642592	1
23	Polygon	LA_6635	1202900011029044	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	65.981661	193.642764	1
24	Polygon	LA_6635	1202900011029042	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	65.951748	193.642154	1
25	Polygon	LA_6635	1202900011029041	MANZANA	12/2007	IREA	REGI	65.951813	193.642913	1

Figura 16. Tabla de atributos; asignación del grado de vulnerabilidad sísmica por manzana.

Finalmente, en la figura 17 se muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de mampostería confinada de uno a tres niveles ubicadas en el Barrio de la Santa Cruz. A partir del análisis de dicha figura, las viviendas más vulnerables se encuentran en el noreste del área de estudio, relacionándose con su proximidad a la colonia del centro de la ciudad, donde gran parte de las viviendas son acondicionadas para establecimientos comerciales o estacionamientos públicos, disminuyendo con esto la cantidad de elementos sismorresistentes y, por consiguiente, la rigidez de la vivienda, además de colocar espectaculares en azotea, presentar plantas de formas irregulares y de haber sido construidas antes de 1985.

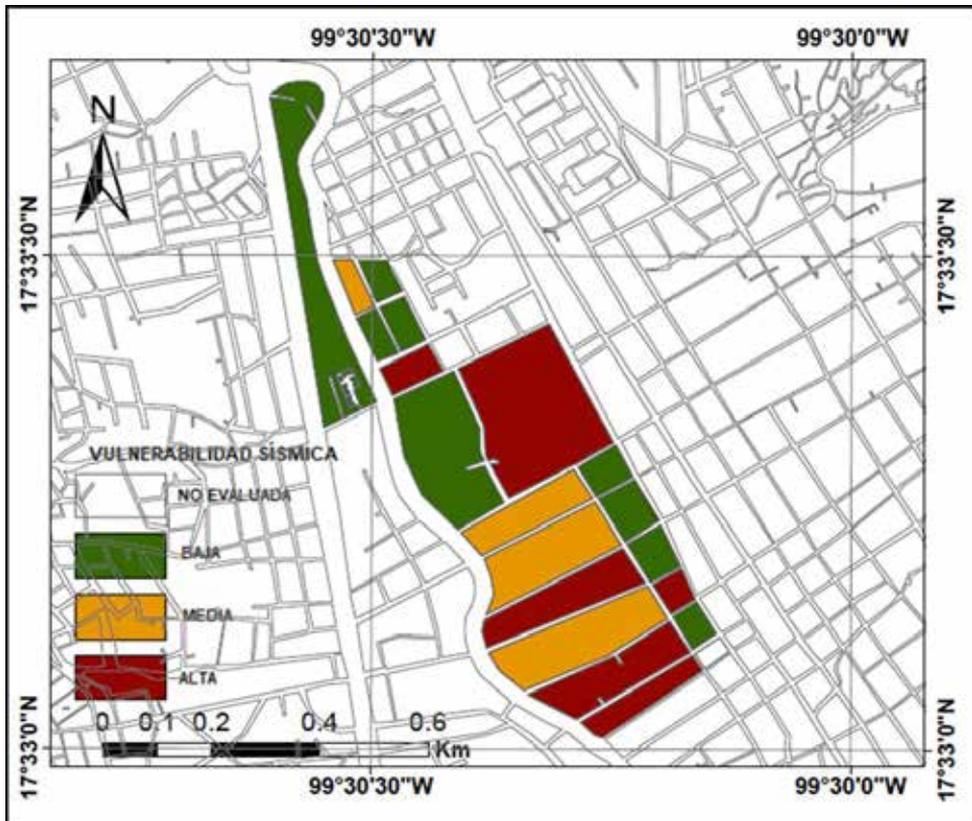


Figura 17. Distribución espacial de la vulnerabilidad sísmica: Barrio de la Santa Cruz.

## Conclusiones

La vulnerabilidad sísmica de las viviendas de mampostería confinada de uno a tres niveles ubicadas en el barrio de la Santa Cruz, de acuerdo con los parámetros evaluados, es relativamente baja (69.57 por ciento) en comparación con las once viviendas (11.96 por ciento) calificadas con vulnerabilidad sísmica alta. Además del año de construcción y tipo de suelo, los parámetros que en esta zona de estudio contribuyen más particularmente a la vulnerabilidad sísmica de la vivienda son su geometría en planta, la presencia de entrantes y salientes de longitudes inadecuadas y la falta de rigidez de la vivienda debido a la eliminación, por decisión del propietario, de elementos sismorresistentes y muros estructurales, con la finalidad de acondicionar espacios como locales comerciales o estacionamientos públicos, principalmente en zonas próximas al centro de la ciudad.

La vulnerabilidad sísmica de cada vivienda se determinó a partir de un método cualitativo. Sin embargo, se considera importante comprobar los resultados de la evaluación a partir de un método cuantitativo, a través de pruebas experimentales no destructivas, principalmente en aquellas viviendas calificadas con un alto grado de vulnerabilidad sísmica.

Por otra parte, en muchos casos, la gestión del riesgo de las zonas urbanas se lleva a cabo sin una herramienta de planificación. Una consecuencia primaria de la ausencia de tal herramienta es que los técnicos y los responsables de la toma de decisiones —ayuntamientos o autoridades regionales— no tienen una visión global del sitio analizado, lo que puede llevar a que se tomen decisiones inadecuadas en términos de estrategias de rehabilitación y medidas de mitigación de riesgos. Esto justifica la necesidad de una herramienta conectada a una base de datos dentro de un entorno SIG, para generar, en este caso, mapas de vulnerabilidad sísmica que permitan la identificación de las viviendas más vulnerables, lo que puede ser muy útil para la planificación de estrategias de gestión y protección civil.

## Referencias

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN PARA LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE GUERRERO (1994), Reglamento publicado en el *Periódico Oficial del Gobierno del Estado*, N° 37, Alcance I, 10 de mayo de 1994.

- ARROYO, MATUS, R. *et al* (2010), *La vivienda guerrerense de adobe, características geométricas y estudio de vibración ambiental*, Universidad Autónoma de Guerrero, UNAM, PUCP.
- ARROYO MATUS, R., SÁNCHEZ TIZAPA, S., TÉLLEZ TAPIA, C., y GUINTO HERRERA, R. E. (2014), “Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México (Mw =6.5) del 11 de diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural”, *Tlamati*, 5(2), pp. 22-30.
- LÓPEZ GAMA, R. (2018), “Propuesta práctica de evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica para la rehabilitación de hoteles en la zona tradicional de Acapulco, Guerrero”, *México*, tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero.
- GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO (2017), “Normas técnicas complementarias para diseño por sismo”, *Gaceta oficial de la Ciudad de México*, en <<http://www.smie.org.mx/layout/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>>.
- CORTÉS NIÑO, Á., SÁNCHEZ y TIZAPA, S. (2017), “Elaboración de un mapa de isoperiodos para el valle de Chilpancingo basándose en el análisis de microtemores”, XXI Congreso de Ingeniería Sísmica, Guadalajara, Jalisco.
- INEGI (2005), *Marco geoestadístico*.
- INEGI (18 de diciembre de 2018), “Instituto Nacional de Geografía y Estadística”, en <<https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>>.
- GUILLÉN LÓPEZ, LELIA B. (2005), “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones por muestreo estadístico”, tesis de Maestría en Ingeniería Estructural, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Posgrado en Ingeniería Estructural, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.
- ROMEU, VICENTE, PARODI, S., LAGOMARSINO, S., VARUM, H., y SILVA MENDES, J. A. R. (2011), “Seismic Vulnerability and Risk Assessment: Case Study of the Historic City Centre of Coimbra, Portugal”, *Bulletin of Earthquake Engineering*.

# Mejoramiento del concreto no estructural, mediante el empleo de fibras económicas

Fausto Ávila-Barrientos, Roberto Arroyo Matus

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

Sulpicio Sánchez Tizapa, Esteban Rogelio Guinto Herrera

Lenin Ávila-Barrientos

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA (CICSE)

## Introducción

Debido a su naturaleza el concreto presenta una serie de defectos y fisuras internas desde sus primeras horas e incluso antes de ser sometido a cargas. El comportamiento del concreto frente a diferentes condiciones de carga está regido por la propagación de esos defectos y fisuras (Malatesta, 2009, figura 1). La corrosión, el agrietamiento y otros defectos que presenta el concreto han resultado en la búsqueda de nuevos elementos que pudieran sustituir o mejorar sus propiedades físico-mecánicas. Uno de los elementos que ha contribuido a mejorar estas propiedades son las fibras; entre ellas figuran las fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras metálicas, el humo de sílice y fibras sintéticas (Zarco, 2010). Diversas investigaciones se han dedicado a comprobar la hipótesis de que las fibras aumentan las propiedades del concreto a los esfuerzos a los cuales son sometidos (González, 2012; Barreda, 2000; Martínez, 2009; Cortés, 2006), concluyendo que los efectos de las fibras sobre el comportamiento del concreto plástico y endurecido varían dependiendo de los materiales del concreto, las proporciones de la mezcla, el tipo, la longitud de la fibra y la cantidad de fibra agregada.

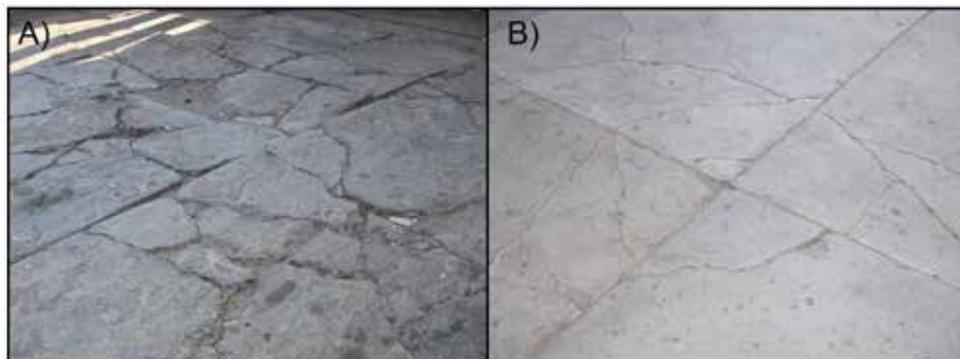


Figura 1. Concreto sometido a cargas: *A)* Sobreelevación, disgregación y ruptura. *B)* Fisuras y hundimientos.

Las fibras sintéticas ofrecen las características de mejorar la resistencia a la fisuración por la contracción plástica y contracción por secado, reducen la porosidad e incrementan las resistencias al impacto, a la fatiga, a la abrasión, a la compresión y es más accesible económicamente, a diferencia de las demás fibras. Con una distribución tridimensional, ayudan a mejorar el ciclo de vida y durabilidad del concreto. Estas fibras se pueden clasificar en poliamidas, poliésteres, poliacrílicas, polivinilos y polipropilénicas.

Las fibras de polipropileno (PP) tienen cualidades como la baja densidad, alta dureza y resistencia a la abrasión, alta rigidez, resistencia al calor, excelente resistencia química y excelente versatilidad; el PP es un producto inerte, totalmente reciclable, cuya incineración no tiene ningún efecto contaminante y la tecnología de su producción es la de menor impacto ambiental. Ésta es una característica atractiva en los materiales alternativos, ya que pueden ser sustraídos mediante su reciclado y así contribuir a disminuir el daño ecológico que trae consigo la explotación de la materia prima.

Un producto fabricado con este polímero termoplástico es la rafia, un tipo de hilo que se utiliza para la fabricación de telas, costales, bolsas y una serie de productos derivados de manualidades con un costo relativamente más bajo. La intención de crear una fibra a base de rafia común, y aplicarla como refuerzo al concreto, es la de comprobar que puede sustituir las fibras a base de polipropileno existentes en el mercado, con un mejoramiento al desempeño del concreto y una reducción en su costo de elaboración.

## Metodología

Con fundamento en la norma mexicana NMX-C-191-2004, se determinó la máxima resistencia a la flexión del concreto con una fibra sintética de polipropileno (rafia) integrada a su composición y se compararon con los resultados del concreto reforzado con fibras comerciales, con la proporción que sugieren sus especificaciones, con la finalidad de obtener un incremento en las propiedades físico-mecánicas del concreto, sin afectar en lo más mínimo las características requeridas para su correcta funcionalidad. Las fibras empleadas en este trabajo se mencionan a continuación:

### *Quimicret Fibra o Fiberquim de Imperquimia*

Es una micro fibra de polipropileno modificado que mejora la compatibilidad con mortero o concreto, proporcionándoles un refuerzo polidireccional, aumentando la resistencia y reduciendo las grietas por contracción en el concreto (<https://imperquimia.mx>).

### *Fibrafest de Fester*

Se trata de una fibra de polipropileno en forma de filamentos, empleada como refuerzo secundario en el concreto y morteros. Reduce agrietamientos por contracción, incrementa la resistencia a la flexión y reduce la permeabilidad (<http://www.fester.com.mx/>).

### *Sika®Fiber*

Se trata de una fibra de polipropileno en forma de multifilamentos elaborada con polipropileno 100 por ciento virgen. Su uso principal es como refuerzo secundario en concretos y morteros, que reduce los agrietamientos por contracción plástica en estado fresco y por temperatura en estado endurecido (<https://mex.sika.com>).

### *Fibra de rafia*

La rafia es un hilo de fibra sintética, obtenido por extrusión de poliolefinas (polietileno y polipropileno). La rafia es tenaz y gruesa. Se usa en la industria del cordado y en la textil como materia prima en sustitución del yute. Esta fibra, particularmente tratada, queda con un aspecto lucido, rígido, ligero y resistente. Para este trabajo se elaboró de manera artesanal, dándole las dimensiones más cercanas a las de las fibras comerciales (figura 2).



Figura 2. Elaboración artesanal de la fibra a partir de un rollo de rafia de 900 gramos.

El concreto para la elaboración de las probetas de ensayo tuvo las siguientes características de diseño: una resistencia a la compresión  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  hecho en obra y un revenimiento  $7.5 \text{ cm} \pm 2.5$ , empleando cemento marca Cemex-Tolteca CPC30R RS, con el fin de evaluar el módulo de ruptura ( $M_R$ ) en vigas de concreto simple y vigas de concreto adicionado con porcentajes de fibra comercial y fibra de rafia. Para lograr esto y que la mezcla sea la más óptima, se realizaron pruebas de control de calidad (IMCYC, 2008) a los materiales de la región (Guerrero).

La importancia de los agregados finos y gruesos recae en que las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Los resultados de las pruebas a los materiales se muestran en la tabla 1. Con base en ellos se determinó la dosificación necesaria para un metro cubico ( $\text{m}^3$ ) del concreto a utilizar (tabla 2).

Tabla 1. Resultado de pruebas a los agregados para determinar la dosificación

Pruebas	Grava	Arena	Cemento
Pvss ( $\text{Kg/m}^3$ )	1,436	1,594	1400
Pvvs ( $\text{Kg/m}^3$ )	1,564	1,686	-
Densidad o peso específico ( $\text{gr/cm}^3$ )	2.62	2.50	2.99
% de absorción	1.32	2.35	-
TMNA (mm)	19	-	-
mf	-	3.01	-

Tabla 2. Dosificación para un m<sup>3</sup> de concreto con f'c= 200 kg/cm<sup>2</sup>

Materiales	Kg
Cemento	292.86
Agua	205.00
Grava	938.40
Arena	797.20
Total	2233.46

Se elaboraron 72 vigas (15 x 15 x 60 cm) y 32 cilindros (15 x 30 cm) para efectuar las pruebas experimentales de compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión.

Los elementos fueron realizados con diversas proporciones de fibra (tabla 3), resultando nueve vigas y cuatro cilindros por cada ensaye, considerando que el resultado de una prueba de resistencia siempre es el promedio de, al menos, dos especímenes probados a la misma edad (IMCYC, 2006). Las vigas y cilindros fueron descimbrados a las veinticuatro horas y se colocaron en recipientes para su curado de veintiocho días (figura 3).

Tabla 3. Número de muestras por ensaye y proporción de fibra (gr) utilizada en cada uno

Ensaye	Concreto-fibra	Proporción de fibra (gr/m <sup>3</sup> )	N° de muestras
1	Concreto/sin fibra	0	9 vigas y 4 cilindros
2	Imperquimia/Concreto	600	
3	Fester/Concreto	600	
4	Sika/Concreto	600	
5	Rafia/Concreto	200	
6	Rafia/Concreto	400	
7	Rafia/Concreto	600	
8	Rafia/Concreto	900	
Total		72 vigas y 32 cilindros	

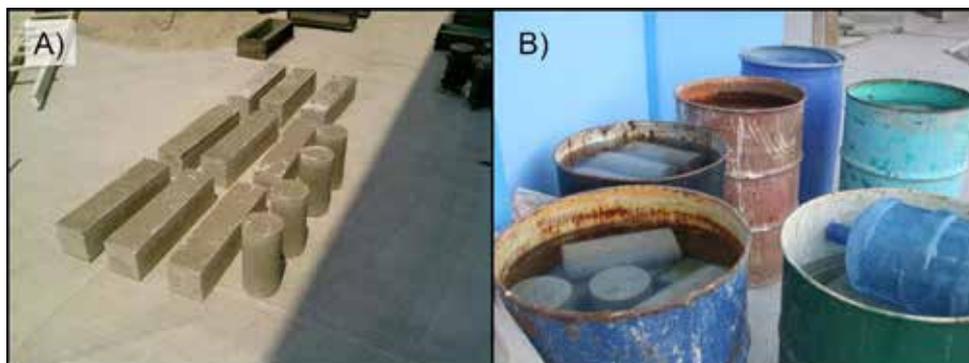


Figura 3. A) Descimbrado de muestras a las veinticuatro horas de ser coladas; B) Curado de las muestras durante veintiocho días.

### Resultados de las pruebas experimentales (compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión)

La determinación de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto se llevó a cabo con apego a la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE 2002, empleando una prensa manual (figura 4). Por su parte, la aplicación de la carga se realizó a una velocidad uniforme y continua, sin producir impacto, ni pérdida. La resistencia a la compresión del espécimen se calculó dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal.



Figura 4. Ensayo de cilindros en prensa manual para la determinación de la resistencia a la compresión.

Los resultados de los especímenes ensayados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resistencia a la compresión de cilindros para un concreto  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  a veintiocho días, con diferentes proporciones de fibra

Ensaye	Concreto-fibra	Proporción de fibra (gr/m <sup>3</sup> )	Promedio de $F'c / \text{kg cm}^2$	% W ( $F'c=200\text{kg/cm}^2$ )
1	Concreto/Sin fibra	0	193.91	96.95
2	Imperquimia/Concreto	600	230.69	115.34
3	Fester/Concreto	600	312.5	156.25
4	Sika/Concreto	600	297.19	148.59
5	Rafia/Concreto	200	271.72	135.86
6	Rafia/Concreto	400	309.28	154.64
7	Rafia/Concreto	600	290.93	145.47
8	Rafia/Concreto	900	259.47	129.74

Para la determinación del módulo de elasticidad, se empleó la prensa universal (figura 5), de acuerdo con los procedimientos que indica la norma NMX-C-128-1997-ONNCE. En primer lugar, se determinaron las curvas de esfuerzo-deformación de cada uno de los ensayos. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 6.



Figura 5. Ensaye de cilindros en prensa universal para la determinación del módulo de elasticidad.

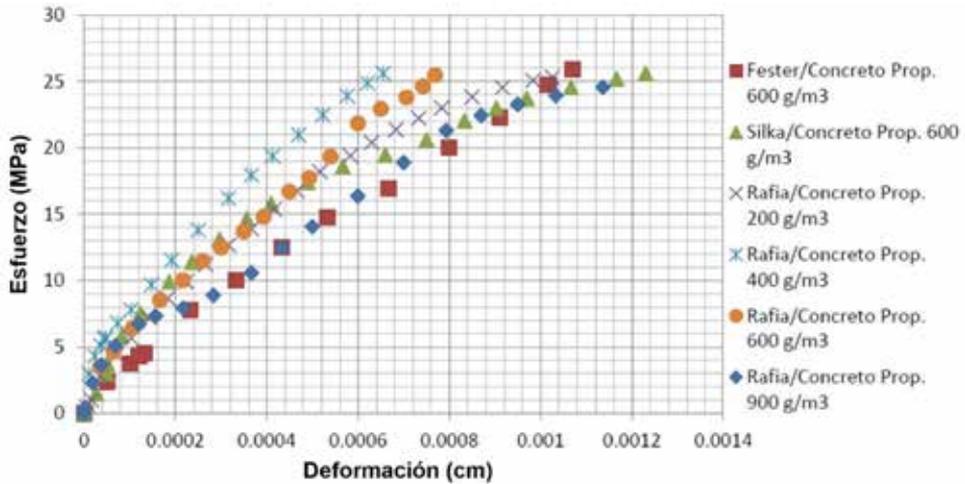


Figura 6. Curva de esfuerzo-deformación para cilindros de concreto  $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ a veintiocho días, con diferentes proporciones de fibra.

Posteriormente, se determinó el módulo de elasticidad de los especímenes:

$$E_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $E_2$  es el módulo de elasticidad ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $\sigma_1$  es el esfuerzo axial ( $\text{kg/cm}^2$ ) correspondiente a 0.00005 cm de deformación,  $\sigma_2$  es esfuerzo axial ( $\text{kg/cm}^2$ ) correspondiente al 40 por ciento de la carga máxima y  $\varepsilon_2$  es la deformación producida por el esfuerzo  $\sigma_2$  (IMCYC, 2009). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Módulo de elasticidad para cilindros de concreto  $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días, con diferentes proporciones de fibra.

Ensaye	Concreto-fibra	Proporción de fibra ( $\text{gr/m}^3$ )	Deformación (cm)	Esfuerzo (MPa)	$E_2$ (MPa)
1	Concreto/Sin fibra	0	0.0019	19.5743846	10302.3077
3	Fester/Concreto	600	0.001070967	25.9071467	24190.4323
4	Sika/Concreto	600	0.001230326	25.5908123	20800.0233

5	Rafia/Concreto	200	0.001026061	25.3090962	24666.257
6	Rafia/Concreto	400	0.000655302	25.6132783	39086.206
7	Rafia/Concreto	600	0.000768924	25.4748678	33130.5287
8	Rafia/Concreto	900	0.001136589	24.5618549	21610.1423

Para la elaboración de los ensayos de resistencia a la flexión, se tomaron en cuenta las recomendaciones que ofrecen las normas mexicanas NMX-C-191-1986, NOM-C-159 y la NMX-C-160-1987, en las que se indican las especificaciones con las que deben cumplir los especímenes a ensayar. El espécimen debe permitir un claro entre apoyos de tres veces su peralte con una tolerancia de  $\pm 2\%$ , la viga tipo debe ser de 15 por 15 centímetros de sección transversal y debe usarse para concreto con un tamaño máximo del agregado hasta de 50 milímetros. Cada muestra debe consistir de cuando menos tres especímenes de un mismo colado y se ensayan a la edad del proyecto.

La resistencia a la flexión o Módulo de Ruptura ( $M_R$ ) del concreto es un indicador de la resistencia a la tensión y puede ser definido como el esfuerzo máximo a tensión para que ocurra la ruptura durante un ensayo de flexión de una viga de concreto simplemente apoyada (figura 7), la resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Ruptura ( $M_R$ ) en  $N/mm^2$  (MPa; NRMCA, 2014). El  $M_R$  ejerce un profundo efecto sobre el potencial de agrietamiento por fatiga de las losas de concreto para cualquier magnitud dada (Garnica, 2002). El módulo de ruptura fue determinado a través de:

$$R = \frac{P L}{b d^2} \quad E_c (2)$$

donde  $R$  es el módulo de ruptura del espécimen (kPa),  $P$  es la carga máxima aplicada (N),  $L$  es la distancia entre apoyos (cm),  $b$  es el ancho promedio del espécimen (cm) y  $d$  (cm) es el peralte del espécimen (IMCYC, 2008). La figura 8 muestra la comparación de los resultados obtenidos para cada uno de los especímenes ensayados, mientras que la tabla 6 muestra los módulos de ruptura determinados para cada espécimen mediante la Ec (2).



Figura 7. Ensayo de una viga de concreto  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  a veintiocho días, con diferentes proporciones de fibra. A) Colocación de los sensores para evaluar el espécimen; B) Falla del espécimen después de aplicar las cargas.

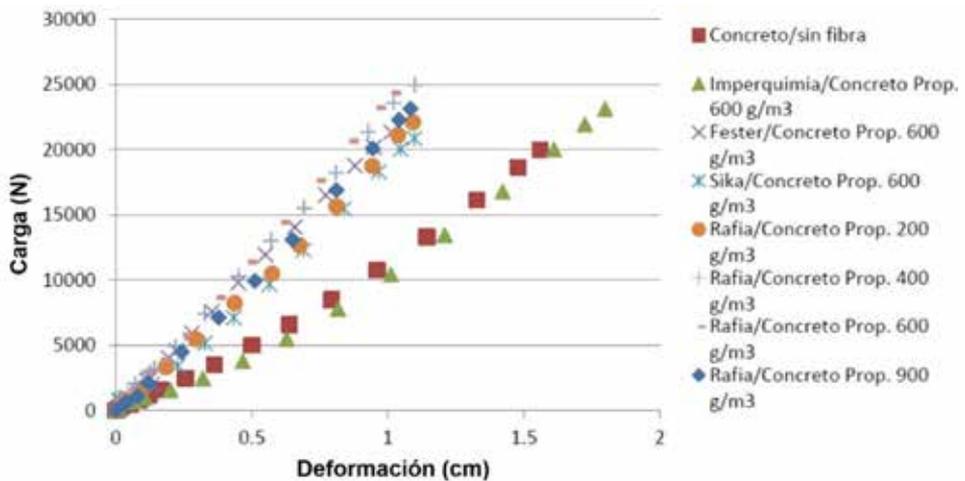


Figura 8. Ensayo de las vigas de concreto  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días, con diferentes proporciones de fibra.

Tabla 6. Módulo de ruptura de las vigas de concreto  $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$  a veintiocho días, con diferentes proporciones de fibra

Ensaye	Concreto-fibra	Proporción de fibra ( $\text{gr/m}^3$ )	Flexión (cm)	Fuerza (N)	Módulo de Ruptura (KPa)	Módulo de Ruptura ( $\text{Kg/cm}^2$ )	% del Módulo de Ruptura
1	Concreto/sin fibra	0	1.56111	20003.68	266.71	27.18	100
2	Imperquimia/Concreto	600	1.79888	23142.88	308.57	31.45	115.69
3	Fester/Concreto	600	1.01333	21343.29	284.57	29.00	106.69
4	Sika/Concreto	600	1.09777	20870.23	278.26	28.36	104.33
5	Rafia/Concreto	200	1.09233	22124.82	294.99	30.07	110.60
6	Rafia/Concreto	400	1.1	24966.45	332.88	33.93	124.80
7	Rafia/Concreto	600	1.01666	24336.43	324.48	33.07	121.65
8	Rafia/Concreto	900	1.08333	23148.33	308.64	31.46	115.72

### Discusión de resultados

Los resultados de las pruebas de compresión indican que las fibras en el concreto elevan su resistencia a la compresión según su tipo y porcentaje (tabla 4). Las fibras comerciales reflejan porcentajes muy diferentes, a pesar de tener la misma proporción ( $600 \text{ gr/m}^3$ ) y características físicas similares. El uso de la fibra de la marca Fester presenta el mayor incremento a la resistencia del concreto, sobresaliendo de manera notable ante el resto de las marcas comerciales. Sin embargo, el uso de la fibra de rafia compite directamente ante la marca Fester (tabla 4). Con una proporción menor ( $400 \text{ gr/m}^3$ ) la fibra de rafia ocupa el segundo lugar en dar el mayor incremento a la resistencia del concreto, quedando por encima de las marcas Imperquimia y Sika.

Se puede observar que las proporciones empleadas de la fibra de rafia muestran su máxima resistencia a la compresión en la proporción de  $400 \text{ gr/m}^3$ ; proporciones menores o mayores a ésta disminuyen notablemente la resistencia a la compresión del concreto.

El concreto reforzado con fibras ofrece mayor resistencia a la deformación. En la obtención del módulo de elasticidad, los resultados muestran que el uso de una mayor proporción de fibras puede afectar el comportamiento del concreto (figura 8).

De los resultados obtenidos, las fibras de rafia con las proporciones de 200 gr/m<sup>3</sup> y 900 gr/m<sup>3</sup>, así como las fibras Silka y Fester (600 gr/m<sup>3</sup>) muestran las mayores deformaciones conforme se incrementa el esfuerzo aplicado (figura 8).

Las proporciones de la fibra de rafia de 400 gr/m<sup>3</sup> y 600 gr/m<sup>3</sup> muestran mayor resistencia a la deformación, pero la proporción de 400 gr/m<sup>3</sup> alcanza resistencias mayores, estando por encima de las fibras comerciales. El empleo de proporciones menores o mayores a 400 gr/m<sup>3</sup> de la fibra de rafia reduce notablemente la resistencia del concreto a la deformación (figura 8).

De la figura 8 puede observarse el comportamiento de las muestras ensayadas a flexión. En ella se aprecia que las vigas de concreto simple y las vigas compuestas de concreto con fibra Imperquimia (600 gr/m<sup>3</sup>) presentan una mayor deformación, mientras que el resto de las fibras comerciales y las proporciones de fibra de rafia analizadas presentan una menor deformación. La fibra de Imperquimia, a pesar de presentar la mayor deformación, también presenta una mayor resistencia (figura 8) junto con la proporción de 400 gr/m<sup>3</sup> de la fibra de rafia, esta última presenta una menor deformación y una mayor resistencia a las cargas aplicadas quedando por encima del resto de las marcas y de las diferentes proporciones.

En cuanto a las vigas de concreto con fibras de rafia, con sus diferentes proporciones propuestas (200 gr/m<sup>3</sup>, 400 gr/m<sup>3</sup>, 600 gr/m<sup>3</sup> y 900 gr/m<sup>3</sup>), Fester y Sika (600 gr/m<sup>3</sup>), se muestran en competitividad con las fibras comerciales (figura 8).

Con la intención de obtener un mejor comportamiento físico-mecánico del concreto destinado a pisos y/o pavimentos, y tal vez, para otro tipo de estructura, mediante la incorporación de fibras a su composición como refuerzo no estructural, tenemos que las fibras comerciales con la cantidad que sugieren sus especificaciones, incrementan el módulo de ruptura (MR) en cierto porcentaje (tabla 6).

La fibra propuesta de rafia, no comercial y fabricada artesanalmente, muestra resultados que compiten directamente con las fibras comerciales como refuerzo del concreto en este tipo de estructuras. Con una proporción menor (400 gr/m<sup>3</sup>) a la especificada por las fibras comerciales, muestra mejores resultados a la flexión y a la elasticidad, y una competencia en la resistencia a la compresión quedando por debajo de la marca Fester, por lo que el uso de la rafia proporciona resultados similares o mejores comparada con las marcas comerciales (tabla 4).

Destacando las proporciones de la fibra de rafia, el concreto elaborado con una proporción de 400 gr/m<sup>3</sup>, muestra los mejores resultados en las propieda-

des físico-mecánicas del concreto, ya que presenta una mayor resistencia a las cargas aplicadas y menor deformación.

### *Costos del concreto reforzado con fibras por m<sup>3</sup>*

Para mejorar el comportamiento de los concretos, en ocasiones es necesario adicionar la fibra como refuerzo no estructural, haciéndolo más costoso. Con el fin de tener en cuenta el costo de las fibras comerciales y la fibra de rafia se realizó un análisis comparativo.

Se obtuvo el costo por metro cúbico de concreto  $f'_c=200$  kg/cm<sup>2</sup> hecho en obra, utilizando el programa *Neodata* (<https://neodata.mx/>). Los resultados muestran que la fibra de rafia, en sus diferentes proporciones, ofrece un menor costo con respecto de las fibras comerciales (tabla 7). La proporción de la fibra de rafia que muestra las mejores características (400 gr/m<sup>3</sup>) presenta un costo intermedio entre el resto de las proporciones utilizadas.

Tabla 7. Tabla comparativa de costos por metro cúbico de concreto de fibras comerciales y fibra de rafia

Concreto-fibra	Proporción de fibra (gr/m <sup>3</sup> )	Costo del concreto por m <sup>3</sup>	Costo de la fibra según la proporción	Costo total por m <sup>3</sup>
Concreto/sin fibra	0	\$1,395.00	\$0.00	\$1,395.00
Imperquimia/Concreto	600	\$1,395.00	\$82.00	\$1,477.00
Fester/Concreto	600	\$1,395.00	\$81.00	\$1,476.00
Sika/Concreto	600	\$1,395.00	\$82.00	\$1,477.00
Rafia/Concreto	200	\$1,395.00	\$10.67	\$1,405.67
Rafia/Concreto	400	\$1,395.00	\$21.33	\$1,416.33
Rafia/Concreto	600	\$1,395.00	\$32.00	\$1,427.00
Rafia/Concreto	900	\$1,395.00	\$48.00	\$1,443.00

## Conclusiones

La evaluación destaca el desempeño de la rafia para mejorar las propiedades del concreto como elemento no estructural. Ofrece resistencias mayores en dos de las tres pruebas realizadas. En una proporción de 400 gr/m<sup>3</sup> de fibra de rafia se logra obtener un incremento a la resistencia en el módulo de elasticidad de un

68.42 por ciento, comparado con un concreto sin refuerzo (sin fibra)  $f'c = 200 \text{ kg/m}^2$  a veintiocho días (100 por ciento). En la resistencia a la flexión usando fibra de rafia, se incrementa en un 24.8 por ciento y en los resultados de resistencia a la compresión, la fibra de rafia presenta un incremento del 57.7 por ciento, quedando por debajo de la fibra Fester que, con una proporción  $600 \text{ gr/m}^3$ , presenta un incremento 59.3 por ciento.

Debe señalarse que, al incrementar las proporciones de la fibra rafia, se ven disminuidos las características físicas-mecánicas del concreto evaluado, siendo la proporción ideal como refuerzo no estructural la de  $400 \text{ gr/m}^3$ , mientras que el costo de un metro cúbico de concreto con fibras comerciales (proporción de  $600 \text{ gr/m}^3$ ) se incrementa en 5.9 por ciento comparado con un concreto sin refuerzo (sin fibra, 100%). Los costos de un metro cúbico de concreto con la fibra de rafia, aumentan entre 0.8 y 3.4. En la proporción de  $400 \text{ gr/m}^3$ , la que presenta un mayor incremento al desempeño del concreto, el costo por metro cúbico es de tan sólo el 1.5 por ciento.

La evaluación determina que el uso de la fibra rafia se destaca sobre las fibras comerciales en la resistencia a la flexión, módulo de elasticidad y compite fuertemente en la resistencia a la compresión, además de que presenta un costo más accesible en la elaboración del concreto. Por lo que puede concluirse que es posible elaborar concretos de mejor desempeño y económicos para pavimentos y pisos, utilizando fibras no comerciales, en nuestro caso, con rafia como elemento no estructural en la producción de concreto y elaborada de una manera artesanal.

## Referencias

- CEMEX, CONCRETOS (2013), *MR, Módulo de Ruptura*, en [www.cemexmexico.com](http://www.cemexmexico.com), y <http://www.cemexmexico.com/Concretos/mr.aspx>.
- Científicos.com, T (s.f.), en [www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno](http://www.textoscientificos.com/polimeros/polipropileno).
- CORTÉS, L. (2006), *Contribución de fibras PP provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del concreto en pavimentos portuarios de Veracruz*, Universidad Veracruzana, Veracruz.
- CUACENETL, J. R. (2002), *Más resistentes, pero menos robustos*, IMCYC.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal* (6 de octubre de 2004), *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto*, Gobierno del Distrito Federal, México.

- GARNICA ANGUAS, P. J. A. (2002), *Mecánica de materiales para pavimentos*, Sanfandila, Querétaro.
- GONZÁLEZ, I. G (2012), *Mejoramiento del módulo de ruptura del concreto reforzado mediante el empleo de fibras sintéticas de polipropileno*, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo.
- ICONTEC (s.f.), “Explorando el concreto reforzado con fibras (CRF)”, *Materia y producto*, 1.
- IMCYC (2004), *Conceptos básicos del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Capítulo 1.
- IMCYC (2006), “Elaboración de cilindros de concreto en el campo”, *El concreto en la obra: problemas, causas y soluciones*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, N° 3.
- IMCYC (2006), “Pruebas de resistencia a la compresión del concreto”, *El concreto en la obra: problemas, causas y soluciones*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, N° 5.
- IMCYC (2008), “Concreto premezclado vs concreto hecho en obra”, *Tecnología*, 1.
- IMCYC (2008), *Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto-Método de prueba, segunda parte. El concreto en la obra: problemas, causas y soluciones*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, N° 15.
- IMCYC (2008), *Determinación de la resistencia a la flexión del concreto. El concreto en la obra: problemas, causas y soluciones*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, N° 16.
- IMCYC (2009), “Concreto sometido a presión. Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson, NMX-C-128-1997-ONNCCCE, Primera parte”, *El concreto en la obra: problemas, causas y soluciones*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, N° 17.
- INDUSTRIAL, (s.f.), *Industria de construcción-concreto. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro*.
- M. BARREDA, C. L. (2000), *Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón*, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- MALATESTA, S. C. (2009), “Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero”, *Revista Ingeniería de Construcción*, pp. 74-94.
- MARTÍNEZ MOLINA, J. C. (2009), *Concreto hidráulico reforzado con fibras de polipropileno conservando constante la relación  $f_c/f_t$  de diseño*, UMSNH.
- NEWS, L. (2008), Nuevos materiales para construir el futuro. *El blog de la industria*, 1.

- NRMCA (2014), “CIP 16. Resistencia a flexión del concreto”, *El concreto en la práctica ¿Qué, Por qué y cómo?*, 1.
- PEMEX, Subdirección de Ingeniería, Gerencia de Normatividad Técnica (diciembre de 2004), *Pavimentos de concreto*, México.
- ROMO PROAÑO, I. M. (2010), “Diseño a flexión basado en curvas esfuerzo-deformación”, *II Congreso, ciencia y tecnología*, 5.
- SANDOVAL, M. (2006), *Tecnología del concreto. Parte 2*, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo.
- SCT (2006), “04 pavimentos, Capítulo 009. Carpetas de concreto hidráulico”, en *CTR. Construcción. Parte 1, Conceptos de Obra*.
- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (s.f.), Norma Mexicana, NMX-C-191. *Industria de construcción-concreto. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro*, Dirección General de Normas, México.
- ZARCO, G. N. (2002), “Un concreto con fibra”, *Construcción y Tecnología*.



# Red social participativa para obtener información sobre intensidad de sismos

Rubén Rodríguez Camargo, Alma Villaseñor Franco  
Sulpicio Sánchez Tizapa  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

## Introducción

La participación del ciudadano para obtener —en este caso en particular— información sobre la intensidad sísmica basada en la Escala de Mercalli Modificada es primordial en el proceso de obtención de información. Dicha escala se basa en la percepción humana de las fuerzas de oscilación y el grado de daños ocasionados a edificios: cuanto mayor es el daño, mayor es el número asignado a la intensidad del sismo.

En este capítulo se analiza la participación de una red social por medio de una representativa cantidad de personas que contestó un cuestionario para determinar la intensidad de un sismo según la Escala Mercalli Modificada, así como el sitio de los eventos sísmicos. A partir de la información obtenida de los cuestionarios, se analiza la posibilidad de conocer el estado de las personas tras un sismo de magnitud mayor a seis. Se parte de la premisa de que existe una resistencia natural de las personas a participar en proyectos científicos para obtener datos georreferenciados acerca de eventos sísmicos. A su vez, los asistentes recibieron un reconocimiento por su participación, con el propósito de mantener y ampliar la base de datos de encuestados. A partir de esta prueba, se implementó el uso de las redes sociales en la participación para proyectos específicos.

## Acciones con el propósito de reducir los desastres

A nivel mundial se intenta reducir los desastres. Tal es el caso del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 analizada en la III Conferencia Mundial de las Naciones Unidas en marzo de 2015. Anteriormente se había establecido el Marco de Acción de Hyogo, para los años 2005-2015, pues durante ese periodo:

...más de 700,000 personas perdieron la vida, más de 1,4 millones han sufrido heridas y alrededor de 23 millones se han quedado sin hogar como consecuencia de los desastres (United Nations 2015-2030: 10).

En este marco se establece como prioritario el enfoque preventivo del riesgo de desastres más amplio y centrado en las personas. Para que sean eficientes y eficaces, las prácticas de reducción del riesgo de desastres deben contemplar amenazas múltiples y ser multisectoriales, inclusivas y accesibles. Una de las prioridades de acción es adoptar medidas específicas en todos los sectores, en los planos local, nacional, regional y mundial.

En México han ocurrido desastres de diferentes magnitudes. De acuerdo con la base de datos EM-DAT, durante el periodo de 1950 a 2019 se registraron 371 desastres, de los cuales las tormentas desencadenaron 139 eventos, es decir, 37.5 por ciento del total, mientras que 162 inundaciones representaron 43.7 por ciento. En un porcentaje menor se registraron 37 desastres detonados por sismos (9.9 por ciento); veinticuatro por procesos de remoción en masa (6.5 por ciento) y nueve por actividad volcánica (2.4 por ciento).

### *Redes sociales, tecnología y peligro*

Una parte fundamental en esta preparación para la reducción de desastres es la comunicación —merced a aplicaciones con tecnología avanzada, como los teléfonos celulares inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles—, con la sociedad, la cual requiere estar informada y no sólo enterada por medio de los medios informativos. Una forma de obtener información en tiempo real es mediante la cada vez mayor interacción de la sociedad con la tecnología, especialmente con la móvil, y con ello contribuir a la prevención y a la toma de medidas de emergencia. Martínez sugiere:

La finalidad de estas aplicaciones es prevenir a los usuarios para que estén preparados ante eventuales situaciones extremas (tormentas eléctricas, tornados o huracanes), y que con ello puedan tomar las respectivas precauciones (Martínez 2014).

Las redes sociales son definidas por Lozares como:

...un conjunto bien delimitado de actores —individuos, grupos, organizaciones, comunidades, sociedades globales, etcétera— vinculados unos a otros a través de una relación o un conjunto de relaciones sociales (Lozares 1996: 108).

Con el desarrollo tecnológico, tanto de Internet como de la telefonía móvil, las redes sociales “se han convertido en grandes potenciales tecnológicos, ofreciendo una gran variedad de servicios para sus usuarios”. García (2013) considera que las redes sociales constituyen “un cambio fundamental en la forma de comunicarnos y se constituyen como herramienta de comunicación básica en la sociedad global en la que nos encontramos” (Cabero, 2016).

Este potencial de las redes sociales puede ser utilizado tanto en la investigación de peligros de origen natural, en la prevención de desastres, como en la comunicación de “los daños de una gran cantidad de eventos de origen natural, inundaciones, sismos, procesos de remoción. Estos eventos varían en magnitud y frecuencia, muchas veces causan daños y desastres” (García 2013: 16).

La tecnología avanzada permite la participación de la sociedad a través de las redes sociales, para comunicar y entender de manera detallada los aspectos cualitativos relacionados con el desastre. En este sentido, investigaciones como las de Lozares (1996) y García (2013), Suárez (2019), destacan la importancia de que mediante las redes sociales se pueden obtener datos e información georreferenciada de un área específica, así como un papel destacado en el mundo virtual y en el real.

En este trabajo se propone una metodología que combina procedimientos cuantitativos y cualitativos utilizados para comunicar y reportar peligros y desastres, utilizando las redes sociales, la tecnología *web* y la telefonía móvil, como se muestra en el siguiente apartado.

## Metodología

Se realizó un trabajo de investigación, cuyo propósito fue realizar una propuesta de diseño para un aplicativo móvil para reportar riesgos y desastres. Se utilizó la metodología RUP para la creación de actividades de levantamiento de información, análisis y diseño del *software*; y se empleó SCRUM para la gestión del proyecto, dando como producto las historias de usuario, *Sprints* y Producto Backlog. En entrevistas orales a un personal de Protección Civil de Chilpancin-

go se utilizó el cuestionario para el levantamiento de información sobre la atención de riesgos y desastres, empleando la técnica de juicio experto. Además, se revisaron fuentes de entidades del estado para conocer la situación actual de la atención de emergencias ante un riesgo o desastre.

La participación del encuestado puede verse influida a medida que transcurre el tiempo al intercambiar opiniones con otras personas. El número de encuestas depende de que las personas conozcan dónde pueden acudir a contestar, independientemente del grado de participación de cada persona. Por otro lado, el tamaño de la muestra propuesto por Murray y Larry (2005), para obtener un valor real de la intensidad para la zona de estudio donde ocurrió el sismo, está dada por un valor que conocemos fácilmente por la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{i^2(N-1) + Z^2 \sigma^2}$$

Donde:

n: tamaño mínimo de muestra.

N: tamaño de la población.

Z: nivel de confianza para 95% = 1.96 para 99% 2.58

El estudio se realiza para Chilpancingo, Guerrero, por lo que, al utilizar los datos de la población, con una muestra aleatoria estratificada, con un nivel de confianza del 95 por ciento, un error muestral del 10 por ciento y una población del 213,106, según el censo poblacional de 2015 (INEGI (2015), se tuvo una muestra de 81 personas.

### *Encuesta*

Para la elaboración de la encuesta se utilizaron preguntas cerradas (Grande & Abascal, 2005) con la finalidad de que las personas encuestadas no tuvieran ninguna dificultad para contestar y proporcionaran hechos concretos, comparables y factibles de procesarse estadísticamente.

Con el fin de que la encuesta fuera anónima y abierta a todo público, no se requirió preguntar el nombre ni ningún otro dato de su identidad, sino únicamente la ubicación geográfica del encuestado al momento de ocurrir el sismo. Además de que el sistema de encuestas elige por defecto el último sismo registrado, el usuario puede cambiar este hecho eligiendo el sismo sobre el cual va a responder la encuesta.

Para el caso de un simulacro —como el anual del 19 de septiembre—, cualquier administrador puede dar de alta el sismo con una descripción que lo identifique: la fecha y hora en que ocurrió, así como una descripción breve de la distancia al punto conocido más cercano; por ejemplo: 2019-09-19 01:16:20 simulacro 19's 2018.

La encuesta consta de catorce preguntas en total, suficientes para obtener información sobre la intensidad del sismo. Las primeras cuatro preguntas se mostrarán finalmente al encuestado según su situación, ocultando aquéllas que por su situación no deben responderse.

Tabla 3. Preguntas para determinar el estado del usuario al momento del sitio

Pregunta	Respuestas
1. ¿Sintió el sismo?	1. Sí. 2. No
2. ¿Usted estaba?	1. Dormido. 2. Despierto.
3. ¿Estaba usted?	1. En reposo. 2. En movimiento.
4. ¿Otras personas cercanas a usted, lo sintieron?	1. Nadie lo sintió. 2. Sólo yo lo sentí. 3. Algunas lo sintieron, la mayoría no. 4. La mayoría lo sintió. 5. Todos lo sintieron.

Tabla 4 preguntas que recogen la experiencia del usuario ante el sismo

N°	Pregunta	Respuestas	
5	¿Cuándo ocurrió el sismo, en qué lugar se encontraba usted?	En un vehículo estacionado o en reposo. En un vehículo en movimiento. En el interior de una casa/edificio. En el exterior.	
6	Si estaba durmiendo. ¿Despertó usted por el sismo?	No, seguí durmiendo. Desperté pero no me alarmé. Desperté y me levanté, pero no salí. Desperté y me dirigí hacia la puerta.	
7	¿Cómo describiría usted el movimiento?	No se sintió. Muy débil. Leve.	Moderado. Fuerte. Violento.
8	¿Cuál fue su reacción?	No reaccioné, no lo sentí. Reacción muy leve. Emoción, excitación.	De alguna forma asustado. Muy asustado. Extremadamente asustado.

9	De los objetos a su alrededor ¿alguno sufrió alguna de estas acciones?	Los objetos colgados oscilaban levemente. Los objetos colgados oscilaban visiblemente. Los líquidos se movían y se podían derramar. Los muebles se movían y algunos de cayeron. Las paredes se agrietaron, las tejas se cayeron. Hubo grietas en el terreno. Algunas casas de material se colapsaron. La mayoría de las construcciones fueron dañadas.
10	Si estaba usted en movimiento. ¿Tuvo alguna dificultad para mantenerse en pie o caminar?	No, caminaba perfectamente. Caminaba pero no estable, tenía que sostenerme. Tuve dificultad para sostenerme en pie. No pude caminar, tuve que agacharme o sentarme.
11	Si usted estaba en un vehículo ¿Sintió o percibió alguna de estas acciones?	No sentí el sismo. Vi que los vehículos estacionados se bamboleaban. Percibí el sismo con el vehículo en marcha. Se dificultaba conducir el vehículo.
12	¿Los objetos a su alrededor, sufrieron alguna de estas acciones?	No, se movieron. Ruido de puertas, ventanas, vidrios o porcelanas. Golpeteo de porcelana, frascos o vasos. Vaivén de puertas o ventanas. Oscilación o derrame de líquidos. Caída o desplazamiento de objetos pequeños. Desplazamiento o volcamiento de objetos pesados o muebles. Caída de objetos pesados como televisores, computadores, refrigeradores, etcétera.
13	¿Las edificaciones sufrieron alguno o más de los siguientes daños?	Algunas grietas pequeñas en paredes. Pocas grietas en paredes de calidad intermedia. Muchas grietas grandes en paredes. Caída de algún revoque. Caída de revoque y de algunas paredes de mampostería. La mayoría de las construcciones de mampostería y algunas a base de marcos destruidos.
14	¿Observó alguna de estas situaciones?	Grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados. Ruptura de tuberías enterradas. Grietas significativas en el terreno. Grandes desplazamientos de tierra.

Las preguntas enlazadas según el estado del usuario sirven, además, de preguntas de control para verificar la coherencia entre las respuestas proporcionadas por el encuestado. En una primera etapa del sistema no se ocultaban, pero disminuía el valor de confianza de la encuesta, por lo que, finalmente, se optó por ocultar dichas preguntas enlazadas.

Las preguntas dicotómicas utilizadas para determinar el estado del encuestado sirven para determinar otras preguntas sobre la experiencia del usuario. De tal modo, si el encuestado selecciona que estaba dormido durante el sismo, por ejemplo, entonces la pregunta 6 “¿Despertó por el sismo?” es válida; mientras que si el encuestado, por otro lado, selecciona que estaba despierto, entonces esta pregunta no tiene razón de ser.

Algunos encuestados son muy susceptibles al rechazo si encuentran preguntas incongruentes, como en el caso del párrafo anterior, prefiriendo no volver en un futuro a repetir la encuesta. Por tanto, la solución es mostrar únicamente las preguntas adecuadas para asegurar su resolución por parte del encuestado.

### *La muestra*

Dos aspectos importantes es que la muestra sea representativa de la población y de fácil acceso (Grasso, 2006). Al desarrollarse una encuesta que cualquier persona pueda contestar, independientemente de que se invite a un grupo de personas a contestarla, genera una muestra aleatoria.

Para ello se creó un grupo en *WhatsApp* mediante el cual se incluyó a alumnos de maestría, licenciatura y personas entre un grupo de edades de catorce a sesenta años (tomando en cuenta a estudiantes y docentes de nivel universitario con manejo de la tecnología requerida), así como se creó una página que permitiera la incorporación de cualquier persona al grupo. De tal manera, en un sitio *web* se publica la encuesta y cualquier persona puede contestarla. Mediante este sistema se lograron los resultados como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Registro de los sismos de prueba cálculo de coordenadas con JavaScript

N°	Sismo	Magnitud	Latitud	Longitud	Encuestas
1	2018-03-23 13:15:05 TEST	1.5	19.8721	-99.4512	7
2	2018-03-22 10:16:22	4.4	15.3347	-94.7697	51
3	2018-03-22 09:23:33	3.9	17.7595	-101.4290	35

Dicha tabla muestra en orden descendente los sismos, mostrando, en primer lugar, el sismo más actual y, al final, el más antiguo.

Estas pruebas se realizaron, en una primera etapa, para Chilpancingo. Para obtener la ubicación se utilizó una figura *JPG* de fondo de la ciudad y, sobre ella, con *JavaScript* se calcula su posición geográfica basándose en puntos de control

sobre los cuales se conocía su ubicación geográfica exacta y el desplazamiento a las coordenadas sobre la figura, obteniendo así la coordenada del punto sobre el que el encuestado dio *click*. Este proceso se realizó entre marzo y mayo de 2018, registrando tres sismos de magnitud mayor a 5.

Como puede notarse, la participación del grupo de *WhatsApp* inició con entusiasmo contestando la encuesta, alcanzando el registro histórico más alto hasta el momento. Al desaparecer la novedad, muchos abandonaron el grupo o dejaron de contestarlas a menos de que sintieran un sismo. Se incorporaron a la encuesta los mapas de Google para obtener la ubicación geográfica de los encuestados al momento del sismo, lográndose que se mantuvieran en el grupo y contestaran la encuesta. Cabe hacer la aclaración que la encuesta entre el grupo de *WhatsApp* se realizaba para sismos mayores a una magnitud de 5 en la Escala de Richter.

Tabla 6. lista de sismos registrados con magnitud mayor a 5

N°	Sismo	Magnitud	Latitud	Longitud	Encuestas
1	2019-06-23 14:35:05 45 km al noreste de Matías Romero, Oaxaca.	5.1	17.08	-94.68	2
2	2019-06-04 14:12:09 17 km al este de Coyuca de Benítez, Guerrero.	5	17.05	-99.93	40
3	2019-04-22 15:15:23 65 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oaxaca.	5.5	16	-98.55	18
4	2018-09-24 22:17:17 50 km al sureste de San Marcos, Guerrero.	5	16.4765	-99.06	8
5	2018-09-24 21:22:19 49 km al sureste de San Marcos, Guerrero.	5.2	16.46	-99.08	4
6	2018-09-19 01:16:20 simulacro 19s	7	15.88	-98.8	19
7	2018-09-10 12:15:47 75 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oaxaca.	5	15.7963	-98.4767	14
8	2018-08-22 13:03:07 40 km al suroeste de Ometepec, Guerrero.	5.3	16.5337	-98.7447	15
9	2018-07-19 08:31:54 10 km al suroeste de Huajuapán de León, Oaxaca.	5.9	17.7213	-97.8123	6

Tabla 7. Sismos registrados por el ssn de enero a julio de 2019  
con magnitud mayor o igual a 5

Fecha y hora	Localización	Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud
2019-01-21 05:57:19	88 km al sureste de Salina Cruz, Oaxaca.	15.42	-94.94	35.0	5.8
2019-01-26 23:20:09	382 km al sur de Cabo San Lucas, Baja California Sur.	19.53	-109.05	12.0	5.2
2019-01-28 18:53:20	13 km al oeste de Ciudad Ixtepec, Oaxaca.	16.54	-95.22	79.0	5.1
2019-01-29 19:46:12	56 km al sur de Las Choapas, Veracruz.	17.4	-94.08	181.0	5.4
2019-02-01 10:14:12	37 km al suroeste de Cd Hidalgo, Chiapas.	14.582	-92.481	76.2	6.5
2019-03-03 09:25:54	64 km al suroeste de Hue-tamo, Michoacán.	18.339	-101.425	73.6	5.1
2019-03-05 15:52:49	127 km al suroeste de Ciudad Hidalgo, Chis	14.05	-93.14	10.0	5
2019-03-09 08:00:49	8 km al noroeste de Tecpan, Guerrero.	17.27	-100.69	10.0	5.1
2019-03-24 06:27:32	89 km al sureste de Salina Cruz, Oaxaca.	15.41	-94.98	18.0	5.3
2019-04-06 15:01:37	105 km al sureste de San Felipe, Baja California.	30.38	-114.04	5.0	5.1
2019-04-12 08:31:49	115 km al suroeste de Huixtla, Chiapas.	14.38	-93.21	15.0	5
2019-04-19 14:42:59	94 km al suroeste de Cd Hidalgo, Chiapas.	13.89	-92.48	15.0	5.1
2019-04-22 15:15:23	65 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oaxaca.	16	-98.55	7.0	5.5
2019-05-31 06:57:26	259 km al oeste de Cihuatlan, Jalisco.	18.74	-106.97	8.0	5.8
2019-06-14 11:26:31	109 km al suroeste de Huixtla, Chiapas.	14.45	-93.19	12.0	5
2019-06-16 12:25:24	71 km al sureste de Nueva Italia, Michoacán.	18.52	-101.68	75.0	5.1
2019-06-22 17:31:37	104 km al suroeste de Cd Hidalgo, Chiapas.	14.38	-93.06	10.0	5.6
2019-06-23 14:35:51	45 km al noreste de Matías Romero, Oaxaca.	17.08	-94.68	142.0	5.1

## Resultados

Como puede observarse en la tabla 6, el sismo 1 expone poca participación del grupo, ya que no se sintió prácticamente en el estado, ya que ocurrió a una distancia de más de 500 kilómetros —como puede observarse en la figura 1 a la izquierda—, mientras que el sismo 2 ocurrió a menos de 100 kilómetros, como puede verse en la figura 1 a la derecha.





Figura 1. Sismos registrados, con círculos que representan cien kilómetros.

Por otro lado, el sismo 3 (figura 2) ocurrió en los límites del estado de Guerrero con Oaxaca, a una distancia hasta la zona de estudio (Chilpancingo) de cerca de 200 kilómetros. Aquí ocurrió un fenómeno que, cabe mencionar, participó no sólo el grupo de *WhatsApp*, sino otras personas de otras ciudades como: Ometepec, Acapulco, Coyuca de Benítez, Tierra Colorada, Chilpancingo y Ciudad de México, con un total de dieciocho encuestas. Puede notarse cómo el sismo en Ometepec arrojó una intensidad de sus respuestas de 6 —por el color del punto rojo para sismos mayores a 6 en la Escala de Richter—, mientras que más alejado lo sintieron de una intensidad de 3, e incluso algunos encuestados lo sintieron de más de 6 —sólo tres encuestados de Chilpancingo, con respuestas de un nivel de confianza del 80 por ciento—, mientras que en la Ciudad de México lo sintieron dos personas con una intensidad de 3 y 4 respectivamente.



Figura 2. Sismo del 2019-04-22 15:15:23 6.5 km al suroeste de Pinotepa Nacional, Oaxaca.

Cabe mencionar que, gracias al interés del grupo de *WhatsApp*, así como de otras personas, y la difusión por parte de integrantes del núcleo básico conformado por quienes participaron en la realización de este artículo, se logró que se integraran al grupo más personas de otras ciudades. Además, las muestras, aunque ocurren en la misma ciudad, su distribución, puede corroborarse, fue de manera aleatoria en dicha ciudad. Como puede verse en las figuras 3 y 4, los otros puntos corresponden a Acapulco, Coyuca de Benítez y Tierra Colorada.

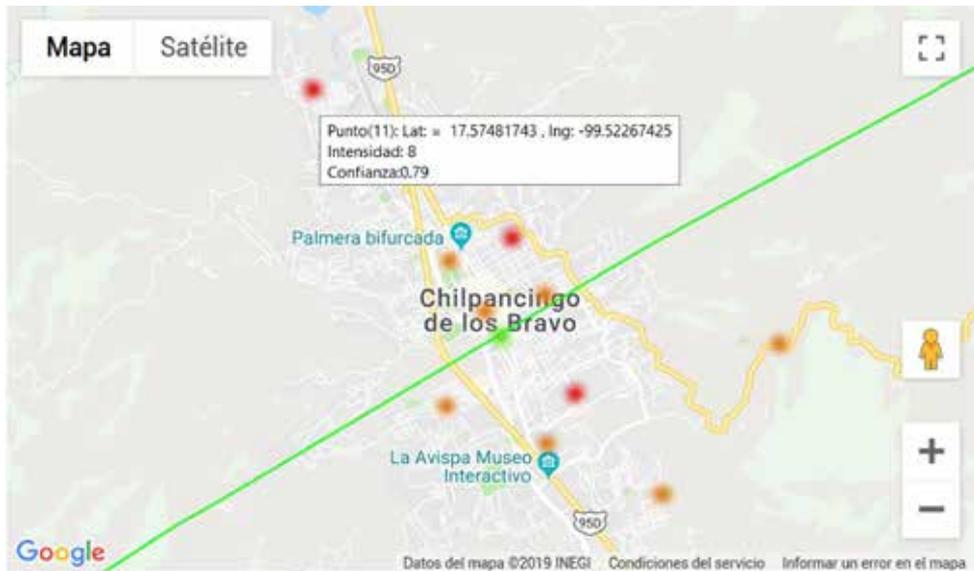


Figura 3. Distribución de personas que contestaron en la Ciudad de Chilpancingo.



Figura 4. Distribución de personas que contestaron la encuesta en la Ciudad de México.

Por otro lado, si comparamos los sismos registrados por el SSN (tabla 5) y los registrados por los administradores (tabla 3), es clara la necesidad de contar con un sistema automatizado para el registro y envío de la encuesta a los miembros del grupo social.

Para registrar un sismo en forma automatizada, se creó un proceso informático que buscara un sismo en los registros del Servicio Sismológico Nacional y, al encontrarlo, lo registrase automáticamente. Al implementar esta solución se asegura el registro de sismos mayores a una magnitud de 5. Aun cuando esta solución es nueva se implementó únicamente para el sismo más actual que es el sismo 1 de la tabla 6.

Por otro lado, se diseñó una aplicación *Android*, la cual permite enviar directamente al celular de los miembros del grupo social la encuesta, teniendo la ventaja de que, por este medio, podemos saber quién contestó la encuesta y llevar un seguimiento y registro de encuestas contestadas por usuarios, además el grupo recibirá los beneficios que brindará la aplicación.

## Conclusiones

Las redes sociales en internet se constituyen fundamentalmente como un medio para prolongar las relaciones sociales de los individuos, especialmente de los más jóvenes y para fomentar la participación en situaciones de solidaridad, asociacionismo y movilización social.

El objetivo de este sistema es proporcionar una herramienta que brinde apoyo a situaciones críticas de sucesos sociales mediante la comunicación de información eficaz potenciada por las redes sociales. Con esta propuesta se logra llevar la utilización de nuevas tecnologías a sectores poco privilegiados que no cuentan con sistemas integrales que involucren no sólo computadoras de escritorio, sino, además, los nuevos y novedosos dispositivos móviles.

Las redes sociales permiten estar comunicados en tiempo real, así como interactuar en diferentes casos con especialistas de diversos temas. En esta primera versión se logró una comunicación efectiva por medio de la aplicación móvil y los integrantes del grupo quienes contestan el cuestionario cada vez que ocurre un evento sísmico. Las aplicaciones móviles de este tipo desempeñarán un papel importante en el desarrollo de una sociedad más organizada, además de integrar la tecnología informática en actividades sociales.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial para el cuerpo académico de la UAGro CA93 Riesgos Naturales y Geotecnología, por brindar el alojamiento final a los miembros del grupo de *WhatsApp* por contestar la encuesta, quienes de alguna manera brindaron ideas para la mejora del sistema.

## Referencias

- ÁLVAREZ, E., HEREDIA, H., ROMERO, M (2019), “La generación Z y las redes sociales. Una visión desde los adolescentes en España”, en Revista *Espacios*, Vol. 40, N° 20.
- CABERO, J., BARROSO, J., LORRENTE, M., y YANES, C. (2016), “Redes sociales y tecnologías de la información y la comunicación en educación: aprendizaje colaborativo, diferencias de género, edad y preferencias”, en *RED. Revista de Educación a Distancia* N° 51, 1, en <[https://www.um.es/ead/red/51/cabero\\_et\\_al.pdf](https://www.um.es/ead/red/51/cabero_et_al.pdf)>.
- CAMPOS, A. (2020), “Análisis de aplicaciones digitales empleadas en catástrofes naturales”, tesis de Licenciatura en Arquitectura, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid.
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED) (2020), *Emergency Events Database EM-DAT*, en EM-DAT | The international disasters database (emdat.be)
- GARCÍA, M., DEL HOYO, M., y SECO, J. (2013), “La participación de los jóvenes en las redes sociales: finalidad, oportunidades y gratificaciones”, *Análisis Monográfico*, pp. 95-110, en <<https://core.ac.uk/download/pdf/18417761.pdf>>.
- GARCÍA, O., y COLMENARES, L. (2015), “Aplicación móvil de reporte de desastres sociales y naturales”, en *RITI Journal*, Vol. 3, p. 6.
- GONZÁLEZ, A. (2014), “Uso de las redes sociales en desastres”, Máster en Análisis y Gestión de Emergencias y Desastres, Universidad de Oviedo.
- GRANDE, I. y ABASCAL, E. (2005), “Análisis de encuestas”, Abascal, E., y Grande, I., *Análisis de encuestas*, ESIC, 289p.
- GRASSO, L. (2006), *Encuestas: elementos para su diseño y análisis*, Encuentro Grupo Editorial, Córdoba, 186p.

- Psicotip* (21 de noviembre de 2012), *Psicotip*, en <<https://psicotip.wordpress.com/2012/11/21/la-influencia-social>>.
- LIZA, E. (2019), “Propuesta de diseño de un aplicativo móvil para reportar riesgos y desastres”, Trabajo de investigación de grado de Bachiller en Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Tecnológica del Perú.
- MARTÍNEZ, N., y MARTÍNEZ, R. (2014), “Diseño de una aplicación móvil para facilitar información relacionada con los huracanes en México-desde un enfoque centrado en el usuario”, *Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, Año 3 N° 7, pp. 60-92.
- MASDIGITAL (2016), “¿Cómo utilizar las redes sociales durante las emergencias?”, en <<https://www.masdigital.net/nuestro-blog/como-utilizar-las-redes-sociales-durante-las-emergencias>>.
- NACIONES UNIDAS (2008), *Preparación ante los desastres para una respuesta eficaz. Conjunto de directrices e indicadores para la aplicación de la prioridad 5 del Marco de Acción de Hyogo*, Ginebra. <[https://eird.org/publicaciones/2909\\_OCHADisasterpreparednesseffectiveresponseSPA.pdf](https://eird.org/publicaciones/2909_OCHADisasterpreparednesseffectiveresponseSPA.pdf)>.
- PECHUAN, I., GARCÍA, P., CORTES, C., y LORAS, J. (2007), *TIC y redes sociales una aplicación en el ámbito de la universidad y la empresa*.
- RAMÍREZ, F. (2017), “Aplicaciones móviles para desastres naturales y emergencias”, *IT Software*, en <<https://itsoftware.com.co/content/aplicaciones-moviles-para-desastres-naturales/>>.
- ROSO, L. (2017), “Revisión de aplicaciones móviles sobre gestión de desastres naturales”, Máster en Análisis de Emergencia y desastres, Universidad de Oviedo.
- SÁNCHEZ, M., LOZANO, C., y MORALES, E. (2014), *La construcción del mensaje sobre riesgos naturales en los medios de comunicación*, Fundación Mapfre, en <[https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-16429/Mapfre%20Informe%20Final%20dic%202014%20\(2\).pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-16429/Mapfre%20Informe%20Final%20dic%202014%20(2).pdf)>.
- SUÁREZ, L., y DE ALARCÓN, P. A. (2020), *Inteligencia artificial para la comprensión de desastres naturales. Un análisis de las inundaciones ocurridas en España en septiembre de 2019*, LUCA AL Powered Decisions.
- TRELLES, I., BADIA, A., MENÉNDEZ, M. y DONOSO, F. (2019), “Principios teóricos y prácticos de la gestión de comunicación en la prevención de riesgo de desastres de origen natural”, en *Alcance*. Revista Cubana de Información y Comunicación (8), 21, pp. 53-68.
- UNITED NATIONS (2015), *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030*, en <[https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)> y <<https://www.emdat.be/>>.

# Efectos psicosociales de los desastres

Alejandra Toscana Aparicio  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

## Introducción

La relación de los desastres naturales y el espacio público es un tema poco estudiado, más aún si se analiza desde la perspectiva del bienestar social. En este texto se plantea una reflexión sobre la incidencia de los desastres en el espacio público y sus efectos psicosociales. Para ello se revisa brevemente la forma como las ciencias geográficas se han aproximado a los temas de la salud; los impactos de los desastres en el espacio público y sus implicaciones tanto a nivel individual como colectivo.

Las relaciones entre las características del medio ambiente y la salud han sido reconocidas desde la Antigüedad. La geografía médica es una de las ramas que han integrado la geografía desde el siglo XIX. Los primeros trabajos relacionaban la morbilidad y el entorno y se buscaba la prevención de enfermedades, sobre todo las infecciosas y las epidemias, a partir de las características topográficas y climáticas locales. Propio de la época, se hacía hincapié en la influencia del medio sobre las personas, con especial atención en lo patológico. Estas ideas respondían perfectamente a los supuestos teóricos de la geografía de finales del siglo XIX y principios del XX, al tratar directamente de la influencia del medio geográfico sobre la salud, la morbilidad y mortalidad de la población (Ortega, 2002: 395).

Durante la década de los años setenta surge un nuevo interés por la relación entre geografía y las cuestiones relativas a la medicina, centrado en la relación entre la salud, los problemas ambientales, el contexto social y la infraestructura médica, cambiando el nombre de geografía médica a geografía de la salud. Se

buscan ahora, además de patrones de morbilidad y mortalidad y sus posibles relaciones con características locales, físicas, sociales, económicas y culturales de los entornos, mejorar el bienestar de la población mediante las condiciones de salud. Para ello se toma como base el desarrollo teórico-metodológico del espacio geográfico, apoyado en las tecnologías modernas de análisis espacial. Íñiguez y Barcellos (2003) y Peña *et al* (2013) presentan un estudio sobre la relación de la geografía con la medicina tradicional y moderna, así como la enfermedad, la salud y el bienestar.

De tal modo, se desarrollaron investigaciones cuyo objetivo es la determinación de patrones espaciales de algunos padecimientos, mediante la aplicación de las herramientas de análisis de la geografía a temas de la salud, con el fin de mejorar las medidas preventivas y los servicios de salud (ver, por ejemplo, Gomes de Conceição, 2003).

Sin embargo, la geografía médica ha dejado de lado aspectos que tienen que ver con la salud mental. Ha persistido el interés en el espacio objetivo, quedando excluido el espacio subjetivo, vinculado a la experiencia emocional. Por tal motivo, se propone examinar algunos aspectos de la relación entre los procesos de desastre, el espacio público y su incidencia en la salud mental de los grupos humanos afectados.

Los desastres, además de ser considerados eventos o procesos en los que suele haber pérdidas humanas y económicas, pueden entenderse como procesos críticos que resultan de la interacción de fenómenos naturales y sociales, en los que se irrumpe el orden habitual de la sociedad, hecho de experiencias compartidas, que estructura y crea expectativas. Son procesos que impactan a nivel individual y colectivo, reconfiguran el espacio y se imprimen en el tiempo. Por todo ello se convierten en hechos significativos (Toscana, 2006: 99).

Por lo anterior, se revisa a continuación brevemente el impacto de la irrupción en el orden cotidiano, su impacto en el tiempo y las modificaciones al espacio. Se trata de aspectos poco estudiados, pero significativos en términos de estabilidad emocional.

Desde el punto de vista de la relación entre desastres y estudios de salud, ha predominado la búsqueda de relación entre desastres y epidemias (Arcos y Castro, 2015), así como los estudios de infraestructura médica para la atención de las emergencias (OPS, 1999). Igualmente se han elaborado estudios sobre el impacto psicológico de los desastres (Martínez y Parrilla, 1986; Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja, 2001) y manuales para ayudar psicológicamente a las víctimas (Cohen, 1999).

*Irrupción del orden*

Todas las personas necesitan establecer rutinas que les permiten llevar a cabo sus actividades día a día; en ellas confían, son marcos de referencia que les facilitan su desenvolvimiento y que encuadran sus expectativas para proyectar su vida en el futuro. La emergencia de un desastre es una situación extrema, límite, en la que se dañan parcial o totalmente los elementos materiales de las comunidades que sostienen la actividad individual y colectiva, como vías, sistemas de comunicación e infraestructura, que complican o imposibilitan el desarrollo de las actividades.

Las instituciones que tradicionalmente se encargan del orden y de la toma de decisiones pueden tornarse poco efectivas, porque no pueden responder adecuadamente al cambio, a la complejidad y sobre todo a la incertidumbre, que resulta de la interdependencia de múltiples factores y actores en un ambiente complejo y que hace que la predicción del futuro sea mucho más complicada para las organizaciones (Corbacioglu y Kapucu, 2005).

Estos cambios, reacciones y actualizaciones transforman la estructura social de la comunidad (Dynes, 1978). La irrupción de las rutinas durante la contingencia puede llevar a la desestabilización de las estructuras sociales y, en caso extremo, al colapso social. Al cambiar la rutina cotidiana de manera brusca, las concepciones de tiempo y espacio se modifican (Gawrosky y Olson, 2001).

Las formas de ver el mundo y los sistemas de significado entran en peligro. Son cuestionadas (Horlick-Jones, 1995) porque no funcionan para entender la emergencia, que es diferente y más compleja que la vida diaria, porque es una situación poco común, ajena al pensamiento cotidiano, o tal vez totalmente nueva. Esto puede conllevar a una dificultad para entender la realidad a través de los marcos mentales de referencia ordinarios, por lo cual hay que adecuar rápidamente dichos marcos, lo que no siempre se logra (Erikson, 1994; Gilbert, 1998).

Durante la emergencia, que es el periodo más terrible y representativo de los desastres, aumenta el grado de incertidumbre y las acciones y decisiones se toman en una atmósfera de conjeturas, con menos información de lo normal, útil o no, adecuada o no, lo que depende, hasta cierto punto, de la habilidad del individuo para interpretar los estímulos que recibe, que pueden ser totalmente nuevos. Las decisiones deben tomarse con base en la información que se posee, la cual es particularmente confusa e incompleta.

Al resquebrajarse el orden social, y probablemente también el natural e incluso el jurídico, los sobrevivientes se encuentran desprotegidos, pues el orden

que les brindaba seguridad se desmorona; ya no cuentan con él y las nuevas condiciones son desconcertantes y atemorizantes (Hoffman, 1999).

La cosmología, que provee a los individuos de elementos que forman su macroperspectiva de existencia (tiempo, espacio y su origen con la estructura del universo), por lo regular se consideran estables. Constituyen el punto de referencia de todo individuo para todas sus acciones y por ello pocas veces se cuestionan o se duda de ellas. Pero cuando el orden social se irrumpe, la cosmología se tambalea, y eso sucede cuando la gente se da cuenta de que el universo no necesariamente es un sistema razonable y ordenado (Richardson, 2005).

Se pierde, por lo mismo, la confianza en el orden social y natural, ya que se convierten en inseguros. El orden social, creador de estructuras y expectativas, se desvanece y el espacio físico, sobre el cual se llevan a cabo todas las actividades, genera desconfianza y miedo, lo que dificulta la realización de las actividades individuales y sociales de la vida misma. Las pérdidas humanas y económicas contribuyen a la generación del estado de incertidumbre de los sobrevivientes, que deben seguir adelante. Asimismo, la pérdida del territorio inmediato, la destrucción del ambiente conocido, familiar son fuentes de incremento de la incertidumbre.

Las consecuencias de la ruptura del orden, en los casos más extremos, se manifiestan en la pérdida de confianza en uno mismo, en la familia y en la comunidad, en las estructuras del gobierno y, en un ámbito más amplio, en el sentido de la vida y en el de la naturaleza. Algunos especialistas, como Stallings (1998), consideran que la emergencia de un desastre se trata de un estado de excepción que debe ser revertido para volver a la normalidad; aunque más que volver a la normalidad lo que se recupera es un nuevo equilibrio, más tarde o más temprano. El alcance de dicho equilibrio, sin embargo, es relativo puesto que, aun cuando lo material y lo organizativo se recupere, los daños psicosociales no se superan a la misma velocidad.

Uno de los ejemplos más ilustrativos de irrupción de orden es tal vez el de las ciudades atacadas por la peste en épocas pasadas (1348-1720), cuya característica principal era su persistencia y recurrencia: esto se presentó en muchas ciudades europeas, del norte de África y Medio Oriente cada diez o doce años más o menos. Cuando se abatía sobre una ciudad o región, acontecían episodios de ansiedad y temor colectivo, se generaban espacios de muerte, pero también se iniciaban éxodos masivos, pues la gente trataba de escapar a otras ciudades no infectadas o buscaba refugio en los bosques, lejos de todo contacto. Las ciudades quedaban vacías, desiertas, incluso se convertían en pueblos

fantasmas (Girard, 1997). Se detenía el comercio, se cerraban los almacenes, a veces las iglesias, se prohibía la diversión, el gobierno se desarticulaba y la justicia no se obedecía (Delumeau, 1978). Cualquier tipo de estructura social se desestabilizaba, pero lo mismo había sucedido en otros desastres y así sigue sucediendo: en los desastres las estructuras familiares se desmoronan, se alteran las relaciones humanas, hay una angustia permanente, un sentimiento de impotencia y abolición de la muerte personalizada.<sup>1</sup> Son situaciones que representan rupturas brutales con las costumbres cotidianas, que rompen con el orden habitual. La pandemia por la COVID-19 causada el virus SARS-CoV-2, en pleno siglo XXI, presenta alguno de los elementos mencionados; ha incidido y modificado prácticamente todos los ámbitos de la vida privada y pública de las personas (Lavell *et al*, 2020) y ha reconfigurado espacios y tiempos. Ha tenido efectos importantes en la salud mental; si bien están actualmente bajo estudio, se habla de un aumento generalizado en casos de depresión, ansiedad, insomnio, reacciones al estrés no sólo por el temor al virus, al contagio, a la enfermedad y a la muerte, sino también por los cambios en la cotidianidad que la pandemia ha implicado, como el distanciamiento social y la ausencia de comunicación interpersonal (Huarcaya-Victoria, 2020).

Un caso que ha sido reconocido, precisamente por la desestabilización de la estructura social, es el desastre ocurrido en la Ciudad de México por los sismos de 1985.<sup>2</sup> Tras el impacto de los movimientos telúricos, la gente tomó

---

1 En muchos desastres, la elevada cantidad de cadáveres no identificados da pie a que se lleven a cabo acciones para deshacerse de ellos. En los países menos desarrollados no se cuenta por lo general con tecnología que permita una rápida identificación, por lo que muchos de los cuerpos se van a fosas comunes y los parientes, en caso de que hayan sobrevivido, nunca llegan a saber a ciencia cierta las circunstancias de la muerte ni la localización del cuerpo, lo que complica la fase de duelo. Un ejemplo se observó en el tsunami asiático de 2004: la costumbre budista en Tailandia implica incinerar a los cadáveres con el fin de que su “tránsito” a otro mundo pueda llevarse a cabo; para los occidentales que vivieron ese desastre, la cremación de cadáveres aumentaba su nivel de ansiedad debido a que imposibilitaba su identificación. Los musulmanes no permiten la cremación de los muertos, pero en Indonesia, país con una gran cantidad de musulmanes, la cantidad de muertos fue tan alta que las autoridades la vieron como un riesgo a la salud y autorizaron de manera excepcional su cremación, decisión que incrementó el nivel de estrés en los sobrevivientes.

2 El sismo del 19 de septiembre de 1985 es el que más daños ha causado en la Ciudad de México de los eventos que se conocen. Tuvo lugar a causa de dos corrimientos principales generados en la zona de subducción de las placas de Cocos y Norteamericana, la zona de ruptura se ubica en los linderos de los estados de Michoacán y Guerrero. El resultado fue un sismo de 8.1° en la Escala de Richter seguido de varias réplicas, la más fuerte 36 horas después, con una magnitud de 7.5° (Meli, 2002). Destruyó gran parte del centro de la ciudad, especialmente edificios de las colonias Doctores, Guerrero, Tepito, Morelos, Roma, Juárez, Merced y Tlatelolco. Se calcula que alrededor de 2 mil construcciones sufrieron daños parciales o totales. También hubo consecuencias en Ciudad Guzmán, Ixtapa Zihuatanejo y Lázaro Cárdenas.

las riendas de la atención de la emergencia. Las actividades cotidianas de la población —y en sí de toda la ciudad— quedaron interrumpidas. Se estima que durante las primeras semanas un millón de personas se dedicaron al rescate de víctimas, a la creación de albergues, al aprovisionamiento de víveres y ropa, a la colecta de dinero, a la localización de personas, a la atención psicológica, a la prevención de epidemias, al desalojo de cascajo y a la organización del tránsito (Monsiváis, 2005).

En general, la ejecución de funciones de la competencia gubernamental es motivada no sólo por la intención de salvar vidas, sino por la necesidad de recuperar el orden o instaurar uno nuevo. La irrupción del orden se manifiesta en el espacio público.

### *Impresión en el tiempo*

La idea de que los desastres marcan el tiempo ha sido sugerida por Oliver Smith (2002) para referirse al terremoto de Perú de 1970, pero puede aplicarse a otras catástrofes. El impacto que producen los desastres potencialmente puede “dividir el tiempo” en un sentido metafórico y puede hablarse de un “antes” y un “después” de la emergencia. Es muy probable que esto suceda con la pandemia por la enfermedad COVID-19.

Entre los grupos afectados, las palabras “antes” y “después” adquieren un sentido particular que se refieren al impacto, a la emergencia; se entienden entre sí, sin tener que especificar antes o después de qué. Incluso para algunas víctimas es como si el tiempo se detuviera y no creyeran más en “el mañana”; consideran que su vida ha terminado con el desastre. Esto también se ha observado en otros casos de desastre no asociados a fenómenos naturales, entre ellos la contaminación del agua, los derrames de gasolina, un accidente nuclear e incluso fraude (Erikson, 1994).

Hoffman (2001) explica que, después del incendio de Oakland (1991),<sup>3</sup> la marca del desastre en el tiempo se manifestó claramente en la lingüística, pues los sobrevivientes empezaron a usar el prefijo “re” en casi todos los verbos que empleaban para comunicarse; por ejemplo, renacer, renovar, reconstruir, reemplazar, rehacer y redefinir. Existen testimonios en los que las víctimas de los

---

3 Sucedió el 20 de octubre de 1991 en Oakland, California. El fuego se generó en las colinas que limitan la comunidad de Oakland y se desplazó hacia la comunidad a 60 millas por hora. La mayor parte de las casas quedó reducida a un montón de cenizas. Seis mil personas perdieron su casa y veinticinco murieron. Debido a las altas temperaturas que alcanzó el fuego, prácticamente todas las posesiones quedaron inservibles.

sismos de la Ciudad de México (1985) se refieren a sí mismas como “yo fui...” o “yo era...” para marcar la diferencia en su vida entre el antes y el después del desastre (Toscana, 2006).

### *Transformación del espacio*

En los desastres el espacio puede ser modificado por el impacto de los fenómenos que lo detonan. Es común que algunos de sus elementos cambien su posición, su tamaño o se destruyan parcial o totalmente, cambios que le dan una nueva configuración. Pueden ser perceptibles o imperceptibles, temporales o definitivos, dependiendo en parte del tipo de fenómeno o fenómenos involucrados.

La transformación del espacio es relevante en tanto que puede llegar a acarrear consecuencias en la forma como las personas y los grupos sociales actúan y se desenvuelven en él, es decir, su reconfiguración incide en el comportamiento espacial de la gente de manera directa o indirecta (Golledge y Stimson, 1997). El espacio es un componente esencial y fundamental para el desarrollo de la vida, que le da sentido y proporción a la existencia de los individuos y de los grupos sociales. Sin embargo, se da por sentado y, por ello, si se transforma o se destruye, causa un gran impacto.

De acuerdo con Tuan (2002), distintos tipos de espacios sobrepuestos coinciden en algunos puntos: el pragmático y el mítico; ambos brindan sentido y significado a las diversas manifestaciones de la vida social e individual, ambos pueden reconfigurarse en caso de desastre. El pragmático es aquél que da sustento a las actividades materiales, principalmente económicas y se define intelectualmente en función de las actividades que sostiene y potencialmente pueda sostener. El mítico, en cambio, es el componente espacial de una forma determinada de ver y entender el mundo; es parte de la cosmovisión que opera en el ámbito general de percepción y acción del individuo consigo mismo, frente a la sociedad y al universo. No se deriva ni se representa en una cartografía objetiva como el pragmático, sino que se refleja más bien en respuestas emotivas y emocionales al espacio (Golledge y Stimson, 1997).

Es resultado de un conjunto de valores utilizados por las personas para llevar a cabo sus actividades prácticas. Es fundamental para el sentido de la orientación, para la especialización del individuo y tener seguridad en el mundo. Como componente de la cosmovisión, dota de significado al ambiente y proporciona un sentido del orden que toda persona necesita (Tuan, 2002). Provee orientación y fundamento para los mapas mentales que son básicos en

el proceso mediante el cual se torna el espacio en familiar, seguro y accesible, de manera que se convierte en parte de la identidad de los individuos y forma parte del modo en que se autoconceptualizan (Bolin y Bolton, 1986).

Los elementos que conforman los mapas mentales, así como los mapas mentales propiamente, van siendo cada vez más precisos y detallados, deben ser estables y más o menos duraderos para que puedan orientar al individuo. En los casos en que los elementos clave de los mapas mentales son transformados, por ejemplo, por el impacto de un fenómeno natural peligroso que los destruye o modifica su posición, tamaño o forma, el mapa mental puede perder su estabilidad y alterar así el comportamiento espacial del individuo (la percepción de proximidad, posición, similitud continuidad y pertenencia), el cual tendrá que adecuar su mapa mental a la nueva situación para volver a ubicarse en el espacio (Golledge y Stimson, 1997).

En las áreas afectadas por los desastres, además de las pérdidas humanas, suele observarse destrucción parcial o total en el espacio pragmático, que se manifiesta directa e inmediatamente a la población en pérdidas económicas. Es sabido que, entre las consecuencias de los desastres, se cuentan las pérdidas económicas que se derivan de la destrucción de campos de cultivo, infraestructura, viviendas, medios de producción, entre otros, consecuencias que repercuten en el desarrollo económico, puesto que los países deben invertir gran parte de sus recursos en la reconstrucción, no sólo por las pérdidas en la propiedad privada y pública y en la infraestructura, sino también, y sobre todo, por los efectos indirectos expresados en la baja productividad, en el desempleo, en el aumento de precios de bienes y servicios, disminución del crecimiento económico, del ahorro interno, y de las inversiones públicas y privadas, nacionales y extranjeras (Comfort *et al.*, 1999).

Pero también los espacios míticos son susceptibles al cambio, y cuando eso sucede, puede haber una resignificación del espacio, principalmente porque el terruño, el espacio familiar, el conocido, se asocia con el centro del mundo.<sup>4</sup> Un desastre puede modificar o destruir ese centro que brinda orden, lo que implicaría una profunda desmoralización, ya que la ruina del centro (del espacio) supone la ruina del cosmos.

El centro se experimenta a diferentes escalas. A una escala, el centro del mundo puede ser el poblado mismo, pero en otra escala el centro de un indi-

---

<sup>4</sup> El centro es un concepto mítico con valor único, pero no un punto particular sobre la superficie de la Tierra.

viduo puede ser su vivienda (la vivienda, “casa”, funciona como símbolo). En cualquier caso, sea cual sea el centro, si se destruye o se pierde, el individuo y, en general, el grupo afectado, pierde la evidencia de su ser, de quién es, y de su pertenencia o arraigo.

Es común la impresión de sentirse perdido, desarraigado, a la deriva, desplazado, fuera de lugar, en una zona de desastre, lo cual indica una pérdida de su conciencia de posición espacio-temporal. Incluso se ha observado en víctimas de desastre que éstas son incapaces de ubicarse espacio-temporalmente, puesto que experimentan una desorientación profunda que puede durar de meses a años; los lugares y los objetos se vuelven transitorios y los sobrevivientes presentan dificultades para encontrar puntos de referencia estables en sus alrededores, tanto sociales como naturales, que les ayuden a determinar su posición y su comportamiento espacial.

La reconfiguración, debido a que los espacios pragmático y mítico coinciden más o menos, se da en los dos espacios, lo que es aún más impactante, porque los sobrevivientes deben afrontar no sólo las pérdidas materiales que, de alguna manera, tienen que ser resarcidas, sino, además, superar los cambios en el espacio mítico, lo que implica reorganizar la espacialidad a nivel individual (vivienda, lugares relevantes para cada persona) y del grupo en general, cuando el daño trasciende a un nivel colectivo.

La reconfiguración trasforma el espacio público, que está sobrepuesto al pragmático y al mítico, con consecuencias no sólo económicas sino sociales, ya que, aparte de las pérdidas materiales y de empleos, hay afectación en las redes sociales (capital social), que son muy necesarias en un desastre, debido a que las víctimas experimentan una cantidad elevada (anormal) de eventos estresantes a un mismo tiempo (muertos, heridos, pérdida de la vivienda, del empleo). La pérdida del espacio público puede fragmentar las redes sociales, manifestándose en una disminución en la habilidad de enfrentar la situación, pues son vínculos que dependen en buena medida de la proximidad física.

El espacio público es a su vez espacio político, económico, social y cultural; es un reflejo del grupo social que lo ha construido, es parte de su patrimonio. Tres características lo definen: *a*) es de interés común a todos, atañe al colectivo en oposición al espacio privado que se refiere al ámbito e interés particular; *b*) es visible, es lugar de prácticas públicas, es accesible y abierto a todos; y es *c*) el espacio de gestación de movimientos sociales (Rabotnikof, 2003). Es de dominio público, uso social colectivo y multifuncionalidad. Está dotado de historia y significado; se vincula con la existencia del grupo social y

de cada individuo; es espacio de vivencia individual, pero también colectiva, y es un lugar de expresión.

El espacio público tiene funciones específicas: es un espacio de encuentro social, de relación, de identificación, de contacto. Es un punto de encuentro que facilita relaciones sociales y estimula la identificación simbólica, la expresión y la integración culturales (Borja, 1998). Da lugar a la construcción a la formación de opiniones y a la articulación de políticas (Álvarez, 2003).

Es el espacio donde suceden las transformaciones más importantes durante la emergencia y postemergencia de un desastre, donde suelen manifestarse las principales crisis. En las situaciones de crisis hay una apropiación de este espacio donde se llevan a cabo todas las protestas y acciones comunes encaminadas a resolver la crisis. Por eso, es objeto de transformación temporal o permanente, con nuevas normas y prácticas.

En un desastre los intereses de grupos particulares pueden adquirir visibilidad y presencia pública mediante su expresión en el espacio público. Algunas investigaciones han servido para evidenciar que los desastres son catalizadores de problemas sociales (Erikson, 1976; Siegel *et al*, 1999; Bankoff, 2003; Toscana y Fernández, 2020). Esto se expresa en el espacio público y tales expresiones son, al mismo tiempo, tranquilizadoras para el grupo social afectado.

En un desastre el orden se rompe, el espacio se reconfigura y se replantean diversos aspectos de la vida social. Todo esto lleva a que el proceso de desastre tenga un impacto tanto a nivel individual como colectivo.

### *Impacto individual y colectivo*

Nadie que experimente en carne propia un desastre permanece inalterado. El impacto de los desastres se plasma a nivel individual y colectivo. El estudio del impacto psicológico de los desastres indica que las víctimas y las personas involucradas de algún modo en el desastre, en particular en la emergencia, en mayor o menor medida, suelen presentar síntomas específicos. En tal sentido, Noji (2000) reporta que, después de una revisión bibliográfica de más de 2 mil estudios sobre diversas catástrofes, asociadas a guerras, epidemias, erupciones volcánicas, terremotos, inundaciones, tornados, etcétera, pudo concluir que en las personas afectadas aparecen una serie de reacciones psicológicas que se han denominado “síndrome específico del desastre”. Además de la ansiedad aguda (muy normal en gente que pierde seres queridos o propiedades y no tiene un tiempo para lamentar lo ocurrido, de llevar un duelo) y del aumento de enfermedades por estrés, como la úlcera péptica, se presentan patrones de supervivencia como:

- La “impronta de muerte”, que consiste en recuerdos e imágenes del desastre invariablemente relacionados con la muerte, la agonía y la destrucción masiva.
- La “culpa por la muerte”, una sensación dolorosa de autocondena por haber sobrevivido después que otros murieron.
- La “inestabilidad psíquica”, que significa que disminuye la capacidad para sentir emociones de todo tipo.
- El “entorpecimiento de las relaciones humanas”, es decir, dificultad para relacionarse con otras personas.
- La “lucha por la significación”, que es la búsqueda del significado que tuvo el desastre, la capacidad de los supervivientes para dar al encuentro con la muerte una forma interna significativa.

En algunos desastres también se incrementa el índice de suicidios; como se evidenció tras el huracán *Katrina* en Nueva Orleans.<sup>5</sup> Y cuando el impacto es muy intenso suele ser transmitido por las víctimas, incluso hasta la tercera generación. Se habla entonces de la posmemoria y de la transmisión intergeneracional del trauma (o de síntomas postraumáticos); la posmemoria es la memoria adquirida por quienes no experimentaron de manera directa el acontecimiento límite. La transmisión intergeneracional se refiere a la manera como aquellos que, aunque no vivieron la situación, pueden experimentar y manifestar síntomas postraumáticos, cosa que es frecuente que ocurra a los hijos y allegados de sobrevivientes que se posesionan del pasado y tienden a revivir lo que otros han vivido (Lacpra, 2006: 149).

Además, puede presentarse lo que Erikson (1976) ha denominado como “trauma colectivo”, que se refiere a la pérdida del sentido de comunidad, a la pérdida de la comunidad en sí misma, es decir, a la pérdida de los lazos que dan soporte a los miembros individuales. La pérdida del capital social, la soledad y el aislamiento sustituyen los antiguos lazos y vínculos de compañía y solidaridad; es una pérdida del “nosotros”, que tiene que ver con la pérdida del

---

5 El huracán *Katrina* de categoría 4 según la Escala Saffir-Simpson impactó los estados de Luisiana, Misisipi y Alabama. La ciudad de Nueva Orleans, una de las más afectadas, se inundó al romperse tres diques. Debido a la falta de organización y coordinación de los tres niveles de gobierno y del FEMA, 80 mil personas quedaron atrapadas. Las pérdidas humanas se estiman en más de 1,300 y más de 4 mil desaparecidos, mientras que las pérdidas económicas superan los 62 mil millones de dólares. Un millón de personas tuvo que ser desplazadas. El 80 por ciento de la población de Nueva Orleans tuvo que abandonar sus hogares. En Nueva Orleans se registró un índice de suicidios dos veces más alto que en el resto del país: nueve de cada 100 personas se suicidaron en los meses posteriores al desastre.

espacio público, del patrimonio común. Se ha observado que la recuperación psicosocial es más lenta cuando hay una pérdida del espacio público, porque implica no sólo la pérdida de lo material, sino también del espacio socialmente construido, soporte de prácticas comunes y de identidad.

Esto se enmarca en lo que se conoce como estudios del trauma<sup>6</sup> (*trauma studies*; Lacapra, 2006), que han conformado un campo dentro de las ciencias sociales y humanidades en las últimas décadas. Su objetivo principal se ha centrado en el análisis de los traumas colectivos, junto con la forma específica de recuerdo denominada “memoria traumática”.

Los traumas compartidos son los compartidos por un grupo social que ha experimentado una situación límite, extrema. Incluso se ha observado en personas que no vivieron directamente la situación, pero que están vinculadas emocionalmente con el grupo afectado. En relación a los desastres, no es difícil ni inusual que se presente este tipo de traumas, porque una de sus características es que son experiencias fuera de contexto:

... lo que se experimenta como traumático es imposible de anticipar, en tanto no encaja en un contexto real o imaginario (Lacapra, 2006: 69).

Se trata de problemas complejos que requieren ser estudiados desde una perspectiva no sólo interdisciplinaria sino transdisciplinaria, que tradicionalmente han sido objeto de interés para cronistas, literatos, psicológicos, pero que, recientemente, han llamado la atención de algunos historiadores. En el caso de la geografía también, ya que pueden arrojar pistas sobre la interpretación social de los desastres y la herencia de características adquiridas<sup>7</sup> en torno al comportamiento espacial de la población (Lacapra, 2006: 148).

---

6 Un trauma es una experiencia perturbadora que irrumpe en —o incluso amenaza destruir— la experiencia en el sentido de vida integrada, o, al menos, articulada de una manera viable. El trauma es una experiencia fuera de contexto que perturba las expectativas y desestabiliza la comprensión de los contextos (Lacra, 2006: 161).

7 “La herencia, más precisamente repetición o reproducción, ocurre mediante una combinación de procesos más o menos conscientes, como la educación y las prácticas críticas —incluyendo algunas prácticas significantes—, que pueden producir o representar cambios sobre lo heredado, y procesos inconscientes o no tan controlados como la identificación o el mimetismo, incluyendo la incorporación y la repetición compulsiva, o la reactuación sistemática de efectos postraumáticos” (Lacapra, 2006: 148).

## Consideraciones finales

La experiencia de desastre puede sobrepasar la capacidad de adaptación de las personas. Entre las víctimas predominan las sensaciones de desprotección, de angustia y desorientación que modelan la percepción del espacio. El espacio público es un componente esencial de la vida social; es espacio de identificación, de convivencia, de socialización. Por ello, si se pierde, si se trastorna, se vive una pérdida a nivel individual y colectiva que impacta en los vínculos sociales y en el apoyo simbólico para la recuperación emocional en caso de desastre. Es soporte del capital social, fundamental para la recuperación psicosocial.

La salud mental es un aspecto fundamental para la recuperación de las víctimas que debe ser tomado en cuenta en las tareas de gestión del riesgo, atención a emergencias y reconstrucción. Por otro lado, es un tema que permite un acercamiento a la compleja relación sociedad-territorio, tema clave para una gran variedad de estudios geográficos y de todos aquéllos que se interesen por el espacio, esto debido a las consecuencias que implican las transformaciones del espacio público en la “espacialidad”, imágenes y mapas mentales de las personas.

El estudio de las consecuencias de los desastres en el espacio público puede dar pistas sobre la relación de los grupos sociales y su espacio común, no sólo en su dimensión física, sino también en la simbólica, sobre todo si se parte de la idea de que el espacio es una variable explicativa de los procesos y prácticas sociales.

## Bibliografía

- ÁLVAREZ, L. (2003), “Espacio público y sociedad civil”, en Ramírez, P. (Coord.). *Espacio público y reconstrucción de ciudadanía*, FLACSO, Porrúa, México, pp. 279-306.
- ARCOS, P. y CASTRO, R. (2015), “La construcción y evolución del concepto de catástrofe-desastre en medicina y salud pública de emergencia”, *Index de enfermería*, Vol. 24, N° 1-2.
- BANKOFF, G. (2003), “Vulnerability as a Measure of Change in Society”, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, Vol. 21, N° 2, pp. 5-30.
- BOLIN, R. y BOLTON, P. (1986), *Race, Religion and Ethnicity in Disaster Recovery*, Institute of Behavioral Science, University of Colorado, Program on Environment Behavior, Colorado.

- BORJA, J. (1998), "Ciudadanía y espacio público"; *Ambiente y Desarrollo*. Vol. XIV. N° 3, pp. 13-22.
- COHEN, R. (1999), *Salud mental para víctimas de desastre. Manual para instructores*, OPS, México.
- COMFORT, L., WISNER, B., CUTTER, S., PULWARTY, R., HEWITT, K., OLIVER-SMITH, A., WIENER, J., FORDHAM, M., PEACOCK, W. y KRIMGOLD, F. (1999), "Reframing Disaster Policy: The Global Evolution of Vulnerable Community", *Environmental Hazards* (1), pp. 39-44.
- CORBACIOGLU, S. y KAPUCU, N. (2005), "Intergovernmental Relations in Response to the 1999 Marmara Earthquake in Turkey: A Network Analysis", *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, Vol, 23, N° 3, pp. 73-102.
- DELUMEAU, J. (1978), *El miedo en Occidente*, Taurus, México.
- DYNES, R. (1978), "Interorganizational Relations in Communities Under Stress", en Quarantelli, E (ed.), *Disasters: Theory and Research*, SAGE Publications, Londres y Beverly Hills, pp. 49-64.
- ERIKSON, K. T. (1976), *Everything in its Path. Destruction of Community in the Buffalo Creek Flood*, Touchstone Book, Simon y Schuster, Sydney, Nueva York, Londres, Toronto.
- ERIKSON, K. T. (1994), *A New Species of Trouble. The Human Experiences of Modern Disasters*, Norton y Company, Nueva York, Londres.
- FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE LA CRUZ ROJA Y LA MEDIA LUNA ROJA (2001), *Controlar el estrés sobre el terreno*, Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja, Ginebra.
- GAWRONSKI V. T. y OLSON, R. S. (2001), "Tapping Collective Memory of Disaster: Getting 'Inside' the 1985 México City Earthquakes", *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, Vol. 19. N° 3. s/p.
- GILBERT, C. (1998), "Studying Disaster. Changes in the Main Conceptual Tools", en Quarantelli, E. (ed.), *What is a Disaster? Perspectives on the Question*, Routledge, Londres y Nueva York, pp. 11-18.
- GIRARD, R. (1986), *El chivo expiatorio*, Anagrama, Barcelona.
- GOLLDEGE, R. G. y STIMSON, R. J. (1997), *Spatial Behaviour. A Geographic Perspective*, The Guilford Press, Nueva York y Londres.
- GOMES DE CONCEIÇÃO, M. C. (2003), "Espacio, uso y consumo de servicios de salud en la Ciudad de México: indicadores socioespaciales de cobertura y acceso", en Ramírez, P. (Coord.), *Espacio público y reconstrucción de ciudadanía*, FLACSO, Porrúa, México, pp. 209-340.

- HOFFMAN, S. M. (1999), “The Worst of Times, The Best of Times”, en Oliver-Smith, A. y Hoffman, S. M. (ed.), *The Angry Earth. Disaster in Anthropological Perspective*, Routledge, Nueva York y Londres, pp. 134-153.
- HOFFMAN, S. M. (2001), “The Monster and the Mother: The Symbolism of Disaster” en Hoffman, S. M. y Oliver-Smith, A. (eds.), *Catastrophe and Culture. The Anthropology of Disaster*, School of American Research Press, James Currey, Santa Fe y Oxford, pp. 113-141.
- HORLICK-JONES, T. (1995), “Modern Disasters as Outrage and Betrayal”, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, Vol. 13. N° 3, pp. 305-316.
- HUACAYA-VICTORIA, J. (2020), “Consideraciones sobre la salud mental en la pandemia de COVID-19”, *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. N° 37 (2), pp. 327-334.
- ÍÑIGUEZ, L. y BARCELLOS, C. (2003), “Geografía y salud en América Latina. Evolución y tendencias”, *Revista Cubana de Salud Pública*, 29 (4), pp. 330-343.
- LACAPRA, D. (2006), *Historia en tránsito. Experiencia, identidad, teoría crítica*, FCE, México.
- LAVELL, A., MANZILLA, E., MASKREY, A., y RAMÍREZ, F. (2020), *The Social Construction of COVID-19 Pandemic: Disaster, Risk Accumulation and Public Policy*, en <<https://www.desenredando.org/>>.
- MARTÍNEZ, A. R., y PARRILLA, I. (1986), *Análisis descriptivo de los relatos escritos de una población afectada por un desastre*, OPS, México.
- MELI, R. (2002), “El sismo de 1985 en México”, en Lugo, J. e Inbar, M. (Comp.). *Desastres naturales en América Latina*, FCE, México, pp. 125-146.
- MONSIVÁIS, C. (2005), *No sin nosotros. Los días del terremoto 1985-2005*, Ediciones Era, México.
- NOJI, E. K (2000), *Impacto de los desastres en la salud pública*, Organización Panamericana de la Salud, Bogotá.
- OPS (1999), *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*, OPS, Washington.
- ORTEGA, J. (2002), *Los horizontes de la geografía. Teoría de la geografía*, Ariel, Barcelona.
- OLIVER-SMITH A (2002), “El gran terremoto del Perú, 1970: el concepto de la vulnerabilidad y el estudio y la gestión de los desastres en América Latina”, en Lugo, J. e Inbar, M. (Comp.), *Desastres naturales en América Latina*, FCE, México, pp. 147-160.

- PEÑA, J., PERDOMO, M. y CUARTAS, D. E. (2013), “Geografía y salud. Una visión de pasado y presente”, *Entorno Geográfico*, N° 9, pp. 146-158.
- RABOTNIKOF, N. (2003), “Introducción: pensar lo público desde la ciudad”, en Ramírez, P. (Coord.). *Espacio público y reconstrucción de ciudadanía*, FLACSO, Porrúa, México, pp. 17-24.
- RICHARDSON, B. K. (2005), “The Phases of Disaster as a Relationship Between Structure and Meaning: A Narrative Analysis of the 1947 Texas City Explosion”, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, Vol. 23, N° 3, pp. 27-54.
- SIEGEL, J. M., BOURQUE, L. B., y SHOAF, K. I. (1999), “Victimization after a Natural Disaster: Social Disorganization or Community Cohesion”, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, Vol. 17, N° 3, pp. 265-294.
- STALLINGS, R. A. (1998), “Disaster and the Theory of Social Order”, en Quarantelli, E. (ed.), *What is a Disaster? Perspectives on the Question*, Routledge, Londres y Nueva York, pp. 127-145.
- TOSCANA, A. (2006), “Los paisajes del desastre”, tesis de doctorado, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- TOSCANA, A y FERNÁNDEZ, A. M. (2020), “La tragedia de las Lamas. El pueblo que no se dejó morir”, en López-Levi, L. y Toscana, A. (coord.), *El desastre y sus fronteras. Perspectivas desde lo local*, UAM-X, México, pp. 279-302.
- TUAN, Y. F. (2002), *Space and Place*, University of Minnesota Press, Minneapolis, Londres.

# Semblanzas

Alma Villaseñor Franco

Doctora en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero. Miembro del núcleo académico básico de la Maestría en Ingeniería para la Innovación y el Desarrollo Tecnológico y de la Maestría en Geografía y Gestión Territorial, ambas de la Universidad Autónoma de Guerrero, integrante de la REDESCLIM del CONACYT. Sus líneas de investigación se centran en la dinámica territorial, problemas socioambientales, riesgos y geotecnología. Autora de diversas ponencias, artículos y capítulos, también ha dirigido tesis de licenciatura y de grado (almafranco@uagro.mx).

Bonnie Lucía Campos Cámara

Profesora investigadora en la Universidad de Quintana Roo, miembro del Comité Académico del Doctorado en Geografía y de la Maestría en Antropología Aplicada de la UQROO. Investigadora nacional Nivel 1 del SNI-CONACYT. Coordinadora del Cuerpo Académico Geografía y Geomática. Doctora en Geografía UNAM. Línea de investigación Formación y Organización de Espacios Socioeconómicos. Producción académica: “Repensar el turismo a partir de los nuevos paradigmas de complejidad, territorio e imaginarios en la Costa Maya”; “Etnografía y resiliencia en ciudades costeras del Caribe Mexicano”; “Una aproximación teórico-conceptual de la resiliencia en ciudades turísticas con un enfoque ecosistémico”, “Una mirada desde la antropología aplicada: gestión local del riesgo por inundación en el Ejido Pucté, Ribera del Río Hondo, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo” (bonnie@uqroo.edu.mx).

Esteban Rogelio Guinto Herrera

Profesor-investigador de la Universidad autónoma de Guerrero, con adscripción en la Facultad de Ingeniería. En el año 1988 obtuvo el título de Ingeniero Civil en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero; en el año 2000 obtuvo el grado de Maestría en Ingeniería Sísmica en la facultad y universidad antes mencionadas; en el año 2006 obtuvo el grado de doctor en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural en la Escuela Técnica Superior de

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona de la Universidad Politécnica de Cataluña (España) y en el año 2012 obtuvo el título de licenciado en Informática en la escuela de computación IPDATA. Ha sido director de varias tesis de licenciatura y de maestría, conjuntamente con estudiantes ha escrito varios artículos. Ha desempeñado varios cargos académicos y administrativos (rguinto2002@hotmail.com).

#### María de la Paz Medina Barrios

Geógrafa con 40 años de experiencia y desarrollo profesional en investigación y docencia en Climatología y Cambio Climático. De 2013 a 2021 ha sido supervisora de Proyectos de Climatología y Cambio Climático en el Departamento de Hidrometeorología en la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad. Ha realizado más de 60 escritos y artículos científicos, publicados en revistas nacionales e internacionales, en reuniones científicas, congresos y simposios nacionales e internacionales. Así como también ha tenido exposiciones con carteles en eventos similares (pazmedba@gmail.com).

#### Leodegario Sansón Reyes

Licenciado en Física y Matemáticas por parte de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN. Con una especialización como Meteorólogo Previsor y Climatología, ha impartido cursos tanto en México como en Estados Unidos de América, resaltando el curso de Ciclones Tropicales en el Centro Nacional de Huracanes de Miami, Florida, así como cursos impartidos por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) y la Dirección General de Aviación Civil de México. Con 35 años de experiencia en el análisis y pronóstico meteorológico, interpretación de salidas de modelos numéricos, validación de datos, pronóstico de huracanes y estudios climatológicos. Cuenta con varios trabajos publicados sobre meteorología, climatología y cambio climático (leodegario.sanson@gmail.com).

#### Rocío N. Ramos-Bernal

Profesora-investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero. Ingeniero Topógrafo Geodesta por la Facultad de Ingeniería de la UAGro; especialidad en Metodología en la Enseñanza de las Matemáticas por la Facultad de Matemáticas de la UAGro. Maestra en Ciencias, área de Matemática

Educativa por la Facultad de Matemáticas de la UAGro. Doctora en Tecnologías por la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, España. Miembro de la Academia de Topografía y Geomática desde 2012. Integrante del Cuerpo Académico Consolidado UAGro-CA-93, Riesgos Naturales y Geotecnología desde 2015. Miembro de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, SELPER, desde 2013. Miembro del padrón estatal de investigadores del estado de Guerrero, CECYTEG y miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt SNI-1 desde 2020. Ha dirigido varias tesis a nivel licenciatura y maestría en el área de Geomática. Ha participado como líder de proyectos internacionales. Ha participado en congresos internacionales y publicado varios artículos en revistas internacionales (mramos@uagro.mx).

René Vázquez-Jiménez

Ingeniero Topógrafo y Geodesta por la Universidad Autónoma de Guerrero. Especialista y master en Geomática por el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. (CentroGeo) del Sistema CONACYT en México. Doctor en Tecnologías por la Universidad Rey Juan Carlos en Madrid, España. Profesor de la Facultad de Ingeniería, miembro de la Maestría en Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1 (SNI) del CONACYT. Miembro de la Academia de Topografía y Geomática. Miembro del Cuerpo Académico Consolidado UAGro-CA-93, Riesgos Naturales y Geotecnología. Miembro del padrón estatal de investigadores del estado de Guerrero. Miembro de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, SELPER. Miembro del Grupo de Investigación Consolidado de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, España. Tecnologías para el Análisis y Diagnóstico Territorial (TADAT). Ha dirigido tesis de licenciatura y maestría; ha participado en congresos nacionales e internacionales, como también ha publicado artículos en diversas revistas indexadas internacionales y capítulos de libros nacionales e internacionales. Ha colaborado en proyectos de investigación nacional e internacional (rvazquez@uagro.mx).

Raúl Romero-Calcerrada

Profesor asociado de la Universidad Rey Juan Carlos. Licenciado y doctor en Geografía por la Universidad de Alcalá de Henares, España. Su línea de investigación se centra en el análisis y diagnóstico de los efectos ambientales de la

actividad humana en áreas rurales con alto valor o áreas naturales protegidas sustentadas en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Ha liderado y participado más de diez de proyectos nacionales e internacionales. Los resultados se traducen en artículos científicos en revistas internacionales (*Diversity, Sustainability, Ecological Modeling, Environmental Modeling & Software, Landscape Ecology* y *Landscape and Urban Planning*) y revistas españolas (*Estudios Geográficos, Anales de Geografía de la Universidad Complutense, Geofocus*); así como varios libros y capítulos de libros (raul.romero.calcerrada@urjc.es).

Silvia Martín Velázquez

Doctora en Geología por la Universidad Complutense de Madrid y docente en estudios relacionados con el medio ambiente en la Universidad Rey Juan Carlos. Ha participado en más de diez proyectos de investigación y veinte publicaciones del SCI sobre tectónica, deformación y prospección geofísica/geoquímica. Coordina el Grupo de Investigación “Geofísica y Geoquímica Ambiental” de la URJC (silvia.martin@urjc.es).

Genaro Aguilar Sánchez

Maestría y Doctorado en Geografía por la UNAM. Ingeniero agrónomo especialista en suelos por la Universidad Autónoma Chapingo. Actualmente labora como profesor-investigador en la Universidad Autónoma Chapingo, en la Maestría de Desarrollo Rural Regional, en la Maestría en Ciencias Forestales y en las licenciaturas de Agroecología e Ingeniería en Recursos Naturales, donde imparte los cursos de Análisis regional, Ordenamiento territorial en función del medio ambiente, Seminario de investigación, Planeación del uso de los recursos naturales y Evaluación agroecológica de tierras. Ha escrito libros y artículos con temáticas relativas a la regionalización agrícola y valoración, manejo, planeación y conservación de los recursos naturales. Ha participado en diversos congresos y simposium internacionales y nacionales. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1 (g\_aguila@correo.chapingo.mx).

Neri Susana González Pérez

Es ingeniero en Recursos Naturales. Realizó sus estudios en la Universidad Autónoma de Chapingo, donde estudio la Preparatoria Agrícola de 2009 a 2012

y la licenciatura de 2013 a 2017. Trabaja en una consultoría sobre Evaluación del uso de los recursos naturales (susyglezp@gmail.com).

#### Gabriel Sánchez Rivera

Licenciatura y Maestría en Geografía por la UNAM, candidato a doctor en Desarrollo Sostenible, por la Universidad de Quintana Roo. Especialista en temas de Análisis Espacial, SIG's, Geografía Ambiental, Riesgos, Servicios Ecosistémicos y Sustentabilidad. Cuenta con más de 25 años de experiencia en la elaboración de estudios y proyectos ambientales. Con 15 años en docencia a nivel licenciatura y posgrado (UQRoo, UNAM, UnADM y Universidad Riviera). Es miembro de REDESClim-CONACYT, AMEK, Cátedra internacional Stephen Olsen, Seminario permanente de Cambio Climático, Biodiversidad y Salud (Col. de Geografía, UNAM) y Red PROPLAYAS Riviera Maya (gsrivera@gmail.com).

#### Óscar Frausto Martínez

Licenciado y maestro en Geografía con especialidad en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. Doctor en Análisis e Investigación Espacial por la Universidad Bauhaus-Alemania. Profesor investigador de la División de Desarrollo Sustentable de la Universidad de Quintana Roo. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, miembro de la Academia de Geografía de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística y presidente de la Cátedra Internacional Stephen Olsen en Manejo Integrado de la Zona Costera y presidente del CTA de la REDESCLIM del CONACYT. Director del Observatorio Urbano de la Riviera Maya del CONACYT y secretario de Investigación de la Universidad de Quintana Roo. Sus líneas de investigación se centran en el diseño, uso y desarrollo de indicadores de sustentabilidad aplicados a diversos contextos territoriales. Ha publicado 16 libros y más de 80 artículos especializados en temas de gestión del territorio y dirigido más de 30 tesis de grado (ofrausto@uqroo.edu.mx).

#### Adrián Martínez Cervantes

Es biólogo egresado de la UNAM. Maestría y doctorado por el Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Ha publicado alrededor de 32 artículos científicos y ha asesorado y dirigido tesis de aproximadamente 50 estudiantes de licenciatura, maestría

y doctorado. Fue profesor en la FES-Iztacala de 1996-1998 y actualmente es profesor-investigador de la Universidad de Quintana Roo desde 2005 (acervantes@uqroo.edu.mx).

### Osbelia Alcaraz Morales

Arquitecta con maestría y doctorado en Arquitectura por la UNAM. Medalla Alfonso Caso en 2002, del programa de Doctorado en Arquitectura de la UNAM. Profesora fundadora de los programas de la UAGRO: Licenciatura en Arquitectura y Urbanismo, Maestría en Arquitectura, Diseño y Urbanismo y Maestría en Geografía y Gestión Territorial. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Investigador Honorario y miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Guerrero. Integrante de la Red Temática Nacional “Ciudad, Turismo e Imaginarios”. Es autora de diversos artículos y libros sobre el patrimonio urbano y arquitectónico del estado de Guerrero, entre los que sobresalen: *Evolución de la arquitectura hotelera en Acapulco, Guerrero* (2009) y *Contexto arquitectónico del hospedaje en Taxco, Guerrero* (2017) (osbeliauag@gmail.com).

### Agustín Carlos Salgado Galarza

Arquitecto de formación por la Universidad Autónoma Metropolitana y doctor en Urbanismo por parte de la UNAM. Profesor investigador de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UAGro, coordinador de la Maestría en Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Guerrero. Miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Guerrero. Premio de la Academia Nacional de Arquitectura, Capítulo Acapulco por Trayectoria Académica 2021. Algunos de sus libros son: *Patrimonio, turismo y algo más ...* (Juan Pablos ,2015), *Una visión diferente de la vivienda en Guerrero* (Juan Pablos, 2014), *Políticas urbanas de Acapulco 1927-1997* (Universidad Autónoma de Guerrero, 2007) y de varios capítulos de libros y artículos sobre Planeación Urbana y Patrimonio Arquitectónico en Guerrero (galarza1210@gmail.com).

### Elsa Patricia Chavelas Reyes

Subdirectora académica y profesora investigadora de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo en la Universidad Autónoma del estado de Guerrero, doctora en Urbanismo por la Universidad Nacional Autónoma de México, maestra en

Estudios Urbanos y Regionales por la Universidad Autónoma del estado de México, maestra en Administración de la Construcción por la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, licenciatura en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Autónoma de Guerrero, diplomado en Desarrollo Urbano y Medio Ambiente por la Universidad Americana de Acapulco, diplomado en Desarrollo Regional por la SEDATU. Autora de los libros: La periferia urbana de Chilpancingo, La imagen urbana de Tixtla, autora de capítulos de libros y artículos en revistas de investigación. Estancia académica en la Universidad Autónoma de Chiapas y en la Universidad de Alcalá en España (elsapatria2012@gmail.com).

#### Sulpicio Sánchez Tizapa

Ingeniero civil por el Instituto Tecnológico de Chilpancingo. Maestría en Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México. Doctorado en Ingeniería Civil en la Universidad Paris-Este. Miembro del Cuerpo Académico Consolidado Riesgos Naturales y Geotecnología (CA-UAGRO-93). Profesor del Núcleo Básico de la Maestría en Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico (Padrón CONACYT). Reconocimiento al perfil deseable (Prodep). Miembro del Earthquake Engineering Research Institute y del área de ingeniería de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES) (sstizapa@uagro.mx).

#### Adelfo Morales Lozano

Obtuvo el grado de licenciado en Ingeniería Civil en 1977 y grado de maestro en Ciencias en Ingeniería Sísmica en 2005, ambos por la Universidad Autónoma de Guerrero, profesor que pertenece al Programa Educativo de Ingeniería Civil del Núcleo de Formación Profesional Específica de la UAGro, ha participado en investigaciones referentes a Caracterización de curvas histeréticas de placas de acero, Ajuste de parámetros de curvas experimentales para materiales dúctiles, Evaluación de la densidad de la fibra de cocotero, entre otras (amoralesl@uagrovirtual.mx).

#### Alfredo Cuevas Sandoval

Profesor de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería. Con estudios de Ingeniería Civil en la Facultad de Ingeniería de la UAGro (1995) y estudios

de Maestría en Ciencias en Estadística Aplicada en la Facultad de Matemáticas de la UAGro (2006). Ha publicado artículos de investigación en revistas nacionales e internacionales. Su área de interés incluye la tecnología de la construcción, tecnología del concreto, materiales de construcción, control de calidad y modelación estadística de los materiales regionales para la construcción. Ha participado en proyectos de edificación y construcción de vivienda. Miembro fundador del Colegio de Ingenieros Civiles Primer Congreso de Anáhuac del Estado de Guerrero, A.C. (acuevass@uagrovirtual.mx).

#### Roberto Arroyo Matus

Ingeniero civil egresado de la Facultad de Ingeniería, UAGro. Realizó estudios de posgrado en el Building Research Institute en Japón, en el Institut National des Sciences Appliquées de Francia y en el Instituto de Geofísica de la Universidad de Chile, profesor visitante de la Universidad de Bucaramanga, Colombia y de Sherbrooke, Canadá. Calculista y director responsable de obra de edificaciones de concreto reforzado y mampostería. En el marco de la celebración del Día Nacional de Protección Civil, le fue entregado el Premio Nacional de Protección Civil 2009 por la presidencia de la república. Actualmente es secretario de Protección Civil del estado de Guerrero (arroyomatus@hotmail.com).

#### Gerardo Altamirano de la Cruz

Profesor investigador, miembro del Núcleo Básico Académico de la Maestría en Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico, en la especialidad de construcción sismorresistente. Candidato a doctor con especialidad en Materiales de Construcción; maestro en Ingeniería con especialidad en Construcciones Sismorresistentes e ingeniero constructor con 9 años de experiencia en el diseño estructural, edificación y rehabilitación de obras civiles (gerardocruz@uagro.mx).

#### Omar Barrios Vázquez

Ingeniero civil egresado del Instituto Tecnológico de Chilpancingo (2008-2013), realizó estudios de posgrado en Construcción Sismorresistente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero (2018-2020) y una estancia profesional en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM)

en el área de Ingeniería Sismológica; actualmente se encuentra laborando en el sector privado en el ámbito de la construcción (omarbarrios@uagro.mx).

#### Lenin Ávila Barrientos

Investigador de la División Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología, CICESE. B. C. México. Ha dedicado su trabajo de investigación a la evaluación sismotectónica del sureste de Cuba en el contexto geodinámico del norte del Caribe. También ha ejecutado monitoreo de volcanes activos en México para la estimación de peligro volcánico (lenavila@cicese.mx).

#### Fausto Ávila Barrientos

Maestro en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UAGro. Consultor independiente de Construcción y Edificación en el estado de Guerrero. Con práctica profesional en desarrollos constructivos y dirección de obra civil y pesada. Se especializa en procesos constructivos de bajo impacto ambiental (favila973@gmail.com).

#### Rubén Rodríguez Camargo

Maestro en Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero mediante Beca CONACYT inscrita en el PNPIC, estudios de Maestría en Computación por la Fundación Arturo Rosemblyeth y Licenciatura en Informática por el Instituto Tecnológico de Chilpancingo (ruben\_rc@uagro.mx).

#### Alejandra Toscano Aparicio

Doctora en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora-investigadora de tiempo completo del Departamento de Política y Cultura de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Profesora de asignatura del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México. Autora de diversas ponencias, artículos y capítulos en libro de temas relativos a problemas socioterritoriales (aletoscana@gmail.com).

*Estudios de riesgos y desastres. Aspectos teóricos y prácticos,*  
se terminó de diseñar y editar,  
en los talleres de Ediciones Navarra,  
Van Ostade No. 7, Col. Alfonso XIII,  
Ciudad de México, en diciembre de 2021.

Este libro representa el trabajo de coordinación de investigadores de diferentes universidades de México, donde se exponen temas de análisis que tienen en común la creciente preocupación internacional respecto del aumento en la frecuencia y severidad de los riesgos y desastres debido en parte a factores relacionados con el cambio climático. Desde las universidades existe una voluntad cada vez mayor para transferir conocimiento y propuestas teórico-metodológicas, así como técnicas para contribuir a reducir los efectos destructivos en la vida y los modos de vida de personas y comunidades. Por ello, en el actual contexto del cambio climático, esta contribución académica responde al creciente reconocimiento de los beneficios de la estrecha vinculación entre los esfuerzos de la gestión del riesgo de desastres y de la adaptación a diferentes escalas.

ISBN 978-607-8789-33-7



9 78 607 8 789 33 7 >