

Análisis de Riesgo y Cambio Climático

Soluciones técnicas para incorporarlas
en el ordenamiento territorial

Cauhtémoc León, Juan Mario Martínez,
Janine M. Ramsey, Fernando Rosete,
Ileana Espejel, Carolina Neri,
Carlos N. Ibarra-Cerdeña y
Juan Francisco Pinto Castillo

ANÁLISIS DE RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO:

SOLUCIONES TÉCNICAS PARA INCORPORARLAS EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

CUAUHTÉMOC LEÓN, JUAN MARIO MARTÍNEZ,
JANINE M. RAMSEY, FERNANDO ROSETE,
ILEANA ESPEJEL, CAROLINA NERI,
CARLOS N. IBARRA-CERDEÑA
Y JUAN FRANCISCO PINTO CASTILLO

2016

León, C., J. M. Martínez, J. M. Ramsey, F. Rosete, I. Espejel, C. Neri, C. N. Ibarra-Cerdeña, J. F. Pinto Castillo., 2016. Análisis de Riesgo y Cambio Climático: soluciones técnicas para incorporarlas en el Ordenamiento Territorial. Universidad Autónoma de Campeche. 200 p.

© Universidad Autónoma de Campeche, 2016
Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX)

Cauhtémoc León
Centro de Especialistas en Gestión Ambiental (CEGAM)

Juan Mario Martínez
Agencia de Medio Ambiente, CITMA, Cuba

Janine M. Ramsey
CRISP, Tapachula, Instituto Nacional de Salud Pública

Fernando Rosete
ENES Unidad Morelia UNAM

Ileana Espejel
Facultad de Ciencias, UABC

Carolina Neri
Instituto de Geografía, UNAM

Carlos N. Ibarra-Cerdeña
Departamento de Ecología Humana, CINVESTAV-Mérida.

Juan Francisco Pinto Castillo
CRISP, Tapachula, Instituto Nacional de Salud Pública.

Parte de este libro formó parte del proyecto SEMARNAT-CONACYT S0010/2006//23800
titulado "*Modelo de vulnerabilidad socio/ambiental para ciudades costeras*"

ISBN 978-607-8444-20-05

ÍNDICE DE CONTENIDO

Presentación	i
Prefacio	iii
Cómo articular la gestión del riesgo y el OET	1
Referentes iniciales	5
Descripción de la metodología de análisis de riesgos adoptada y su integración en el proceso de OET	17
Consideraciones sobre las escalas geográficas de trabajo y las fuentes de información	37
Etapas técnicas para la inclusión de la dimensión del riesgo en el OET	45
Metodología de incorporación del pronóstico de escenarios de Cambio Climático y ascenso del nivel del mar	129
Estudio de caso. Aplicación de la metodología planteada	145
Conclusiones y recomendaciones	165
Literatura citada, recomendada y consultada	169
Glosario de términos	191

PRESENTACIÓN

El presente libro surge de la necesidad de incorporar en los programas de ordenamiento ecológico del territorio la dimensión de la gestión del riesgo de una manera sistemática, en particular a la luz del incremento de los eventos hidrometeorológicos extremos vinculados al cambio climático.

La idea fue concebida en el seno de los seminarios de intercambio académico realizados entre un grupo de expertos en medio ambiente del gobierno federal de México y del gobierno federal de Cuba, entre los años 2009 y 2013. Con esa idea, la Dirección de Ordenamiento Ecológico del entonces Instituto Nacional de Ecología (INE), perteneciente a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT), contrató al Dr. Cuauhtémoc León para que integrara un grupo de trabajo con especialistas reconocidos en el tema de la gestión del riesgo y el ordenamiento ecológico del territorio con el objetivo de diseñar una propuesta metodológica a utilizar en los procesos de Ordenamiento Ecológico financiados por el INE y la SEMARNAT.

La propuesta metodológica se concluyó en el año 2010, y en ese momento se inició un proceso de adecuación para su publicación como una guía técnica en formato de libro. El texto modificado fue enviado a tres expertos en el tema para su revisión y dictamen con la finalidad de que el texto a publicar cumpliera con los requisitos académicos, técnicos y metodológicos necesarios para que el documento lograra el objetivo de fungir como una guía metodológica.

El proceso de revisión y de corrección se llevó un par de años, la publicación del libro se dilató aún más, sin embargo el tema no perdió vigencia, por el contrario. Fue entonces que el Dr. Guillermo Villalobos de la Universidad Autónoma de Campeche nos ofreció la oportunidad de publicar el libro bajo el sello editorial de su institución académica, por lo que en el año 2013 se confirmó la pertinencia del documento, e hicimos los últimos ajustes conforme a las observaciones de los revisores externos.

Con toda esa larga historia desde la concepción del documento hasta su publicación, el texto que finalmente se presenta en este libro sigue teniendo una gran actualidad y sobre todo pertinencia y viabilidad técnica y metodológica, ya que sigue sin existir un procedimiento sistemático que incorpore el riesgo en los programas de ordenamiento ecológico o en los programas de ordenamiento territorial (incongruente dicotomía que sigue existiendo en México al día de hoy en los instrumentos de planeación territorial).

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los colaboradores que participaron en el proceso de desarrollo de la propuesta original, en particular al M. en C. Javier Enrique Thomas Bohórquez, al Dr. José Ramón Hernández Santana y a la M. en C. Verónica Palacios Chávez. Sin su ayuda y su colaboración no habría sido posible elaborar este trabajo.

Los autores también agradecemos a los revisores externos por sus valiosos comentarios y observaciones, así como el tiempo dedicado a la lectura y reflexión sobre la primera versión del documento, en particular al Dr. Gerardo Bocco quien nos hizo ver en forma contundente las deficiencias que tenía la propuesta original.

Así mismo, agradecemos a la Universidad Autónoma de Campeche, y en especial al Dr. Guillermo Villalobos, por todo su apoyo para que esta propuesta metodológica salga a la luz y sea difundida entre los expertos e interesados en los temas de la gestión del riesgo y la planeación territorial.

Dr. Fernando A. Rosete V.

18 de marzo de 2016, Morelia, Michoacán, México.

ANÁLISIS DE RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO:
SOLUCIONES TÉCNICAS PARA INCORPORARLAS
EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

PREFACIO

Este documento presenta cuatro contribuciones metodológicas para poder integrar en el proceso del Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) la dimensión del riesgo de una forma sistemática, a la luz de las implicaciones que el Cambio Climático tiene como acelerador/desencadenador de peligros, un listado actualizado de referencias con diversas técnicas para estimar peligros e incluso la vulnerabilidad en y del territorio, una plataforma para distinguir la compleja discusión conceptual que existe sobre los elementos del territorio y del riesgo, así como las implicaciones institucionales que de ello deriva.

Si bien desde la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) se ha propuesto que la dimensión y efectos del cambio climático (Art. 44), los peligros naturales y aquellos provocados por el hombre se incluyan y contemplen dentro del OET, hasta ahora, dentro de las políticas (Aprovechar, Conservar, Proteger y Restaurar) y de las Unidades de Gestión Ambiental, no se han visto reflejadas claramente y en forma sistemática estas consideraciones. Esto se debe a que varios problemas conceptuales y metodológicos son difíciles de resolver, entre otras razones porque existe una discusión muy reciente sobre la gestión del riesgo y una evolución incipiente de las respuestas institucionales tanto en el tema de manejo y prevención de desastres como del propio efecto bajo escenarios a corto plazo del Cambio Climático.

En este documento los autores proponemos algunas soluciones que son viables con los instrumentos y conocimiento disponibles, sin necesidad de modificar la definición del propio OET y que potencian la cooperación interinstitucional. Los principales elementos que esta guía propone son los siguientes:

- 1) **Enlistado y determinación de peligros naturales y provocados.** Diferenciar y determinar los peligros de manera técnica y mantener la perspectiva de corto y mediano plazo -en este caso bajo la perspectiva de los escenarios e impactos del Cambio Climático- por sus implicaciones para el desarrollo social y ecosistémico (la afectación a la infraestructura, la reubicación de centros de población, el impacto sobre los sistemas productivos o la posible migración de especies y ecosistemas, entre otros) a la escala regional y local.
- 2) **Los peligros naturales se convierten en un sector dentro del análisis de conflictos ambientales.** En la etapa de la fase de formulación donde se realiza el análisis de la aptitud del territorio (diagnóstico), es posible integrar la dimensión del peligro como un sector integrador, y con ello se evita la desaparición o disolución posterior de esta información (etapas de pronóstico y propuesta). Si bien el peligro natural o provocado puede ser un elemento transversal al territorio, puesto que afecta a muchos sectores, la posibilidad de trascender la etapa de diagnóstico del OET, sólo es posible si se mantiene dentro del conjunto de sectores analizados, como un elemento independiente (sector). Dentro del contexto de los conflictos ambientales, la columna de los peligros naturales o provocados, para el hombre o para los ecosistemas, se convierten en un sector más.
- 3) **Se genera un mapa-matriz de peligros múltiples.** El análisis de los peligros requiere de identificar que el territorio generalmente presenta una diversidad grande de peligros que se traslapan y coinciden en el espacio y en el tiempo, lo que provoca un efecto exponencial de sus efectos o consecuencias (naturales o provocados: por afectación a los sistemas productivos, daños a la infraestructura, cambios de comunidades de fauna, aumento de patógenos/vectores). La representación y manejo de la información matricial de los peligros no puede ser aritmética, la suma de peligros y su expresión en el territorio o sus efectos (ponderación) no es lineal.
- 4) **La vulnerabilidad global frente a peligros, definida desde los multicomponentes que lo conforman.** La inclusión de la dimensión de vulnerabilidad para estimar el riesgo como un elemento complejo, en lugar de una identificación solamente desde la dimensión de la población, resulta muy útil para la toma de decisiones, resalta los elementos delicados con implicaciones negativas para población, las actividades productivas y los ecosistemas.

La información aquí presentada contribuye a distinguir las opciones técnicas y las implicaciones conceptuales e institucionales en diferentes dimensiones que hasta ahora se han podido identificar.

- a) La consideración de los peligros naturales implica y se traduce necesariamente en restricciones de uso (normas) para prevenir o disminuir sus impactos. Restricciones que el OET como instrumento debe y puede imponer en el uso del territorio considerando el origen y las consecuencias de la presencia de peligros naturales o provocados.
- b) Las restricciones se prefiguran en la etapa del diagnóstico (corto plazo) y su expresión territorial de mediano o largo plazo en el pronóstico una vez que se modela en el contexto de los escenarios prospectivos, incluyendo los de Cambio Climático. Las implicaciones normativas deben ser explícitas en las políticas, los lineamientos y en las Unidades de Gestión Ambiental (UGA), tanto en el corto como en el mediano plazo (aunque queda implícito que la naturaleza evolutiva y aditiva de estos riesgos requiere una evaluación constante para adaptación).
- c) Las políticas del OET adquieren nuevas posibilidades (o matices) debido a la inclusión de la vulnerabilidad integral, y a manera de adiciones, adjetivos y definiciones que deben ser desarrollados y discutidos por los promotores del OET, para permitir ajustarlos y adaptarlos dentro del proceso de participación social.
- d) Con la dimensión del riesgo en el proceso del OET es posible visualizar la forma en que podrían expresarse las intervenciones en el territorio con instrumentos de política pública y por tanto es posible también traducir las implicaciones institucionales. Ciertos procesos se concentran o recaen sectorialmente para ser resueltos diferencialmente en espacios urbanos o rurales, con instrumentos de política pública distintos (de prevención, fomento, desarrollo e incluso atención a desastres naturales).
- e) La inclusión de la dimensión del riesgo en las políticas del OET puede ser visto también como un elemento nuevo y clave (incluso como criterios ecológicos dentro de los Programas de OET) para poder priorizar las acciones de intervención en los subsistemas social, productivo y ecológico.
- f) La articulación de la dimensión del riesgo como parte de diagnóstico y pronóstico en el marco de escenarios prospectivos, es una medida apropiada de adaptación al Cambio Climático para el OET con la finalidad de disminuir los impactos negativos en el territorio.

Esta guía debe considerarse como una primera propuesta analítica y metodológica sobre la integración del riesgo en un instrumento de planeación territorial que tiene un carácter primordialmente ambiental, aunque incluye la dimensión social y productiva, y que por tanto está definido por un marco institucional (e idóneamente multisectorial). Por ello en el proceso de la gestión del riesgo se convierte en un insumo muy importante tanto para otros sectores (por ejemplo SEGOB, SEDESOL, SAGARPA, SECTUR) como para la acción conjunta entre órdenes de gobierno (municipios, estados y federación). Las relaciones espaciales de procesos biofísicos y sociales que interconectan a la población –por ejemplo a lo largo

de una cuenca, o de la costa- o a los propios ecosistemas –los corredores biológicos- están afectadas e incluso condicionadas por los peligros naturales y provocados.

En este documento, se hace énfasis en la necesidad de diferenciar el riesgo en sus componentes (amenazas/peligros y vulnerabilidad) para poder también consolidar al OET como un instrumento importante en la gestión del riesgo y pueda guiar las atribuciones de las instituciones de gobierno en el territorio.

El tema de los riesgos y su expresión social y territorial es una suerte de poliedro donde confluyen muchas disciplinas y campos de conocimiento, tal que está configurándose no sólo como una especialidad mas, sino que por el grado de complejidad debe considerarse como una discusión integradora, muy joven y ciertamente difícil de sintetizar y operar en una guía como ésta. Sin embargo, toda la primera parte de este documento contiene los elementos básicos para plantear la discusión y el marco conceptual donde se desenvuelve el OET y la dimensión del riesgo a escala regional y local, en el marco de escenarios de corto, mediano o largo plazo de cambio climático.

Los autores hemos realizado una búsqueda, si no exhaustiva si puntual, para obtener ejemplos concretos de investigadores o instituciones que van a la vanguardia del tema, por ello las referencias en su mayoría son recientes y los casos fueron seleccionados por su relevancia y rigor.

INTRODUCCIÓN. CÓMO ARTICULAR LA GESTIÓN DEL RIESGO Y EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

El presente documento presenta las bases teóricas y metodológicas de una guía que explique la manera de fortalecer el análisis de riesgos por peligros naturales y provocados, en las etapas de diagnóstico y pronóstico, en los estudios de ordenamiento ecológico del territorio en su modalidad regional y local (municipal).

Se está asistiendo internacionalmente en los últimos años, como consecuencia del Cambio Climático global, a cambios trascendentales en la consideración territorial de la peligrosidad natural, pasando de una insuficiencia de los análisis del riesgo en los procesos de planificación ambiental, a la aprobación de normativas que precisan la inclusión obligatoria del riesgo en la formulación para su desarrollo. Alarma hoy en día la complejidad de las sociedades afectadas por los peligros naturales o provocados, y las formas de ocupación de los espacios de riesgo. La investigación de eventos extraordinarios ha derivado en el estudio de territorios y sociedades de riesgo. El riesgo ha pasado de ser la mera posibilidad de ocurrencia de un episodio extraordinario, al análisis de la realización territorial de actuaciones llevadas a cabo por el ser humano en un espacio geográfico y que no han tenido en cuenta la dinámica propia de la naturaleza en dicho lugar. Por ende, las modificaciones provocadas por el hombre alteran los peligros “naturales” (PNUD, 2004; Romero y Maskrey, 1993), incrementando el riesgo para la población, la infraestructura y los sistemas productivos, además de que constituyen una alteración que afecta tanto a la biodiversidad como a los factores abióticos (el ecosistema en su conjunto).

México se encuentra situado en una región afectada por diversos fenómenos naturales, exacerbados o no por modificaciones realizadas por el hombre, que anualmente causan daños a la infraestructura y los sistemas productivos, originando pérdidas económicas e inclusive la pérdida de vidas humanas. En el territorio nacional se presentan zonas de actividad sísmica y volcánica provocada por el movimiento de cinco placas tectónicas. La ubicación del país y sus características geográficas también favorecen la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, como los 25 huracanes que en promedio se generan anualmente afectando principalmente las zonas costeras en ambos litorales. Asociadas a estos fenómenos también se presentan lluvias torrenciales que provocan inundaciones y deslaves. Por el contrario, las regiones subhúmedas, semiáridas y áridas se ven afectadas en forma cíclica por la escasez de agua durante tiempos prolongados dando lugar a sequías y algunas otras, son afectadas por sistemas invernales.

Todos estos fenómenos pueden conducir a desastres “naturales” o “provocados”, los cuales tienen repercusiones importantes en el ámbito social y en el desarrollo económico regional y del país. La respuesta normal a estos eventos, frecuentemente ha sido de tipo reactivo. Sin embargo, se ha demostrado que los costos sociales y económicos de prevenir los impactos y desastres causados por fenómenos naturales, son mucho menores que los costos para remediar la situación después de sufrir sus efectos.

Una medida de prevención de los desastres y que permite la gestión efectiva del riesgo debido a fenómenos naturales o provocados, es la planeación adecuada del

desarrollo socioeconómico y la regulación del uso del suelo. Para ello, resulta de gran importancia la incorporación en el proceso de ordenamiento ecológico regional y local (municipal) de un análisis de los niveles de riesgo que presentan las diferentes áreas de un territorio hacia los diferentes peligros naturales o provocados, y de un programa de adaptación para reducir el incremento de los riesgos como forma de evitar o mitigar los daños que pueden causar inundaciones, terremotos, erupciones volcánicas y otros eventos naturales catastróficos. Una planificación adecuada, puede reducir la exacerbación de peligros y la vulnerabilidad, así como reforzar la resiliencia de ecosistemas.

Las cifras evidencian lo expuesto y vulnerable que resulta el país y su población ante la ocurrencia de fenómenos potencialmente destructivos y su materialización en desastres, y, en consecuencia, la necesidad de instrumentos como éste. El Programa de Prevención de Emergencias y Desastres de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), con información recibida de las autoridades nacionales de salud, registró para el quinquenio 2000–2005, 57 eventos clasificados como desastres, de ellos el 72% (41 eventos) fueron clasificados como naturales, así: 14 inundaciones, 7 huracanes, 8 tormentas tropicales, 4 olas de calor, 3 sequías, 2 sismos, 2 erupciones volcánicas y 1 deslave.

En el año 2005 la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) estableció que 36 millones de personas están localizadas en zonas sísmicas, 22 millones en zonas propensas a sufrir inundaciones, 20 millones en zonas de posible actividad volcánica, 13 millones en zonas de trayectorias de ciclones y 5 millones

en zonas de procesos de ladera.

Teniendo presente que en el territorio mexicano la definición de políticas sobre Ordenamiento Territorial son competencia de SEDATU y las de Ordenamiento Ecológico del Territorio de SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), se definen escenarios de actuación institucional que, desafortunadamente, no siempre son convergentes, complementarios o sinérgicos, dispersando o duplicándose esfuerzos, o incluso produciendo contradicciones institucionales y territoriales.

Resulta imperativo reforzar entonces, para las autoridades municipales y estatales, diseñar e implementar acciones estratégicas que previenen o reducen la ocurrencia de desastres provocados por modificaciones de origen humano y la vulnerabilidad que lo complementa, y por lo tanto los niveles de impacto de las comunidades en el ambiente en el marco definido por los ordenamientos ecológicos municipales y regionales. Las actividades antrópicas que exponen a la población ante amenazas existentes o nuevas afectan también las dinámicas naturales, desestabilizándolas (pérdida de biodiversidad y alteración de interacciones en comunidades faunísticas), retroalimentándose así, negativamente el ciclo. Es hora de fortalecer conceptual y operativamente las políticas de prevención de desastres con las de Ordenamiento Ecológico del Territorio y la capaci-

dad de medir y predecir mediante modelos novedosos los cambios de nicho según modificaciones antrópicas, o modificaciones por fenómenos naturales.

En este contexto, se precisa contar con una guía que con base en los estudios existentes, permita incluir el análisis de riesgos naturales o provocados, y su evolución temporal, en el proceso específico del Ordenamiento Ecológico del Territorio en los niveles regional y local (municipal). De esta forma, se garantizará que este aspecto tan importante de la planeación sea incorporado en las políticas que orientan el uso de suelo y a la vez repercute positivamente en el Ciclo de Prevención de Desastres.

Esperamos, que esta guía se convierta en un documento de referencia para las administraciones municipales y estatales en el diseño y aplicación de políticas públicas de Ordenamiento Ecológico del Territorio que propicien la prevención y reducción de riesgo de las comunidades expuestas a peligros naturales o provocados. Ello permitiría, no sólo consolidar conocimientos y una cultura de la prevención y gestión de riesgo, sino también dar importantes pasos en la incorporación del tema de cambio climático en la configuración de escenarios de riesgos para el Ordenamiento Ecológico del Territorio Mexicano, cosa que, desafortunadamente, aún no se ha hecho.

REFERENTES INICIALES

POR QUÉ Y PARA QUÉ UNA VALORACIÓN DE RIESGOS

El territorio es más que una porción de espacio llena de atributos físicos; realmente es una síntesis compleja de elementos naturales¹ y antrópicos², se expresa en un espacio geográfico determinado, a través de la espiritualidad³ y materialidad⁴ de las comunidades. Es, por su misma naturaleza, dinámico e inestable, está en permanente cambio y evolución.

Algunas de estas dinámicas y modificaciones que presentan, están insertas en bajas magnitudes, regularidades predecibles y en tiempos relativamente largos, de tal forma que permiten ir configurando respuestas adaptativas del hombre para acomodarse a éstos. Otros, la mayoría en cambio, se expresan como saltos abruptos que se dan de modo más o menos violento en un mundo globalizado, sujeto a influencias múltiples, muchas veces con consecuencias nefastas para el hombre y sus actividades. A estos últimos es lo que llamamos eventos amenazantes.

¹ Geología, geomorfología, clima, suelos, vegetación, etc.

² Economía, política, cultura, etc.

³ Visión y percepción, cosmogonía, valoración, sentido de apropiación y pertenencia del lugar, etc.

⁴ Intereses, relaciones y vínculos económicos, demográficos, infraestructura vial, escuelas, hospitales, etc.

De otro lado, y cada vez de forma más significativa, hay una alta presión por parte del hombre hacia la ocupación del suelo, para ser incorporado a procesos de urbanización o a actividades productivas de diversa índole. A mayor presión demográfica, mayor probabilidad de ocupar áreas conservadas o inseguras y con susceptibilidad a la ocurrencia de peligros naturales.

Igualmente, existen una serie de actividades que por su naturaleza de alto costo ecológico, uso intensivo o alta concentración de población son potencialmente catalizadoras de situaciones amenazantes. Es decir, hay que sumar a las condiciones naturalmente inestables del territorio, aquellas inducidas por actividades humanas (peligros provocados). Esto refuerza la necesidad de incorporar en la construcción de escenarios de futuro, la valoración de riesgos a los que están expuestas las comunidades, reconociendo allí las potencialidades y restricciones naturales, sociales, culturales e institucionales que propician la ocurrencia de peligros, vulnerabilidades globales, y con base en ellos, planificar acciones futuras que posibiliten prevenir, reducir o mitigar los niveles de riesgo.

Juega papel preponderante en este escenario, el Cambio Climático. México posee costas sobre el océano Pacífico así como en el Atlántico, allí, por el aumento en el nivel del mar, Ortiz y Méndez (1999) estiman que el 46.2% de la costa del golfo de México, sobre todo del centro hacia el sur, “es susceptible al ascenso del nivel del mar” y cada vez mayores áreas costeras, a ciclones y tormentas tro-

picales. No obstante, estos no son los únicos efectos directos asociados al Cambio Climático; la alteración de los regímenes hídricos, con sus consecuentes impactos sobre épocas de lluvias y sequías, hacen, por distintas razones, tanto a las áreas urbanas como las rurales, vulnerables a impactos amplios y desequilibrantes. Las pérdidas de cosechas, retroceso de bosques, pérdida de biodiversidad y cambios en comunidades bióticas, por escasez de agua o incendios, son los más significativos en las zonas rurales y la carencia o exceso repentino de agua e incremento en las temperaturas, para las áreas urbanas.

Finalmente, la más obvia y tal vez la más importante de todas las razones, las ventajas de hacer una evaluación *a priori* (cálculo preventivo) *vs* una evaluación *a posteriori* (daño irreversible, por lo menos en lo que a vidas humanas se refiere), los costos de prevenir *vs* los de recuperarse después de un desastre, los mismos costos de prevenir *vs* los beneficios económicos y sociales. Por ejemplo, “*un reciente estudio indica que los 3.150 millones de dólares invertidos en China en los últimos 40 años para controlar las inundaciones han permitido ahorrar 12.000 millones de dólares en pérdidas*” (Nieto, 1999).

Por tanto, la planificación territorial debe, de una parte, hacer un esfuerzo por adelantarse a estos cambios y en especial a sus efectos para predecir, obviar o minimizar el impacto de estos, y de otra, establecer espacios de actuación pública y ciudadana en las que las comunidades puedan crear escenarios concertados de futuro en los que su vulnerabilidad y el daño se reduzcan.

ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

El ordenamiento del territorio es mucho más que una planificación física del suelo, un conjunto de normas urbanísticas o la determinación de unos límites o actuaciones político-administrativos que “definen” un territorio. Tiene que ver, con los procesos conformadores del espacio; la compatibilización entre estilos, objetivos, estrategias y alcances en los procesos de ocupación y explotación del territorio. Con las potencialidades y restricciones presentes, así como la cada vez mayor participación ciudadana en la toma de decisiones y en los beneficios sociales y políticos que reporta el Estado y la sociedad, estas son y deben ser las premisas fundamentales.

La Comisión de Ordenamiento Territorial (COT), creada por la Asamblea Nacional constituyente, que dio origen a la Constitución Colombiana de 1991, definió el Ordenamiento Territorial como un “conjunto de acciones concertadas para orientar la transformación, ocupación y utilización de los espacios geográficos buscando su desarrollo socio-económico, teniendo en cuenta las necesidades e intereses de la población, las potencialidades del territorio considerado y la armonía con el medio ambiente” (COT, 1992).

Guidiño (1993) la considera “una política voluntaria que intenta ejercer una acción sobre la organización del territorio; es decir sobre las relaciones existentes en el funcionamiento de la economía y la estructuración del espacio en el cual se desarrolla un sistema económico social”.

El Gobierno Cubano considera que el ordenamiento territorial es “la expresión espa-

cial de la política económica, social, cultural y ambiental de toda la sociedad con la cual interactúa. Es una disciplina científico-técnica, administrativa y política orientada al desarrollo equilibrado del territorio y a la organización física del espacio según un concepto rector” (Dirección municipal de ordenamiento territorial y urbano-Instituto de Planificación Física, 2001).

Para el caso de Europa, los países de la Comunidad Europea suscribieron la “Carta Europea de Ordenación del Territorio”, en la que definen el OT como “la expresión espacial de las políticas económica, social, cultural y ecológica de cualquier sociedad. Disciplina científica, técnica administrativa y acción política, concebida como práctica interdisciplinaria y global para lograr el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio”. Luego cada país, dependiendo de su contexto particular y de los objetivos específicos de sus políticas nacionales, llena de contenido esta formulación. (Massiris, 1999).

Para México, la Ley General de Asentamientos Humanos definió el Ordenamiento Territorial como “un proceso de distribución equilibrada y sustentable de la población y de las actividades económicas en el territorio nacional, tendiente a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural” (DOF, 1976).

SEDESOL, basándose en la ley anteriormente enunciada y en el PNUD, define éste como una “Estrategia de desarrollo socio-económico nacional y regional que promueve patrones sus-

tentables de ocupación territorial mediante la adecuada articulación funcional y espacial de las políticas sectoriales”.

Por su parte SEMARNAT (2006), retomando la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, promulgada en el año de 1988, concibe el Ordenamiento Ecológico del Territorio como un instrumento de política ambiental que pretende la articulación entre la preservación del ambiente y el crecimiento económico y social de la población; ambos requisitos indispensables para lograr un desarrollo sustentable de la nación. Éste, como proceso de planeación, promueve la participación social responsable, la transparencia del proceso, al hacer accesible la información que se genera y las decisiones que involucran; así como el rigor metodológico en la obtención de información, los análisis y la generación de resultados. Es decir, el OET no se concibe como una cuestión meramente técnica, dependiente de la visión de “expertos”, quienes definen la vocación del territorio; se requiere, en su formulación y ejecución, la inclusión de la población, sus intereses y expectativas, e incluso, hasta de los conflictos resultantes del choque de ellos. Todo como el único medio de promover el consenso social en la definición de los usos del territorio que permitan dar certidumbre a la inversión, así como a la preservación del medio ambiente y a la conservación de los recursos naturales.

El Ordenamiento Ecológico del Territorio, en su formulación teórica, parte de la consideración de que cualquier asignación de uso del suelo, surge del reconocimiento de la oferta ambiental de los ecosistemas y la oferta espacial del territorio para el despliegue de asentamientos humanos y la infraestructura

requerida para su adecuado funcionamiento. Ello representa una rigurosa identificación, caracterización y evaluación de éstos para conocer su naturaleza, propiedades, interacciones, estado, fragilidad e importancia biológica y ecológica; de allí se obtienen dos indicadores de obligado reconocimiento que establecen los usos potenciales: la capacidad de carga (o acogida) y la capacidad de resiliencia. La primera establece para qué y en qué medida los ecosistemas presentes pueden ser aprovechados y la segunda la capacidad de daño que los ecosistemas pueden absorber y la de recuperación intrínseca que tienen. Lo que se busca en última instancia, es una compatibilidad ambiental entendida como compatibilización en usos de la tierra, en intensidades de uso, en utilización de recursos y técnicas, y en tiempos, pasado, presente y futuro. Cada uno de ellos exige una plataforma normativa que garantice instrumentos y actuaciones al servicio de lograr los objetivos propuestos.

La tabla 1 muestra los temas determinantes de la dimensión ecológica (o ecosistémica) en el Ordenamiento Territorial. Como se apreciará, más que los ámbitos mismos, la diferencia del OET con el Ordenamiento Territorial tiene que ver con la integralidad de abordaje y la especificidad de disciplinas como la biología, ecología y biogeografía (incluso de las sociedades humanas), para producir una zonificación ecológica, base de la propuesta de asignación de usos, y del diseño de estrategias para la conservación y el manejo adecuado de los recursos naturales con coherencia mutua entre ellas y las comunidades humanas, y el desarrollo de actividades productivas y de asentamientos humanos.

Tabla 1. La dimensión ecológica en el Ordenamiento Ecológico del Territorio.

Tema Global	Temas Específicos	Análisis	Resultados
Caracterización biofísica del territorio.	Análisis y valoración de la calidad, vulnerabilidad, fragilidad e importancia del medio. Evolución y dinámica de los procesos naturales e interacciones bióticas. Cobertura y uso de la tierra. Valoración y zonificación de recursos naturales. Interacciones naturaleza-sociedad-naturaleza.	Capacidad de carga del medio. Capacidad de resiliencia del medio. Riesgo e impactos ambientales.	Zonificación de recursos naturales. Zonificación de impactos. Zonificación de usos y manejos (restricciones y potencialidades).
Análisis de aptitud territorial.	Determinación y localización de áreas verdes públicas para recreación (urbana o zonal). Definición de áreas críticas para conservación, protección y recuperación de los recursos naturales y paisajísticos en zona urbana y de expansión. A nivel rural identificación y delimitación de áreas de conservación y protección de recursos naturales, paisajísticos, geográficos y ambientales. Identificación, caracterización y delimitación de ecosistemas estratégicos.	Diagnóstico ambiental de ecosistemas estratégicos. Capacidad de carga del medio. Capacidad de resiliencia del medio.	Zonificación de áreas de manejo especial. Zonificación de áreas potenciales para bioprospección.
Análisis y valoración de peligros, vulnerabilidad y riesgos.	Inventario, valoración y delimitación de peligros, vulnerabilidad y riesgos por origen natural y/o antrópico, en centros poblados, áreas rurales y de manejo especial.	Valoración de peligros. Valoración de vulnerabilidad. Valoración de riesgos.	Zonificación de amenazas. Zonificación de riesgos.
Protección, manejo y ordenamiento de cuencas hidrográficas.	Caracterización evaluativa de regulación hídrica, climática, florística, interacciones bióticas y ecológicas. Relación sequías-inundaciones. Capacidad de captación y retención de cuencas. Inventario de aguas superficiales y subterráneas	Análisis de oferta y demanda de agua por sectores (humano, agrícola, industrial, etc.). Balance hídrico. Análisis de calidad.	Zonificación de cuencas, identificando áreas de producción, transporte y recepción.
Caracterización de impactos por localización de áreas productivas.	Relación por localización humana vs industrial (complementariedad o contradicción). Efectos nocivos por efluentes. Análisis de seguridad alimenticia.	Demanda de bienes y servicios. Potencial social-productivo.	Zonificación de áreas productivas. Zonificación de conflictos por localización o contaminación.

En síntesis, a pesar de la particularidad de las concepciones y definiciones relacionadas, es posible inferir que el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) es, en primer lugar, un instrumento geográfico, pero en especial entiende al hombre en función de su capacidad de modificar el espacio (planeación territorial); en segundo lugar, involucra la optimización de recursos tanto naturales como sociales y la integración armónica del territorio (equilibrio dinámico) entre las condiciones naturales, las interacciones entre biota, y las necesidades socio-

culturales humanas (desarrollo sustentable); en tercer lugar, pretende prevenir o reducir las disfuncionalidades espaciales y los desequilibrios socioeconómicos regionales y la articulación del territorio en los diferentes niveles de actuación (equidad regional); y en cuarto lugar, a pesar de ser una política pública, exige la convergencia de intereses culturales, económicos y políticos distintos con lo ambiental y por tanto debe ser participativo y proactivo, a la vez de adaptativo por su evolución continua.

¿QUÉ IMPLICA UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO?

Para definir una política eficaz de prevención del riesgo en el contexto del Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), se requiere que las administraciones reconozcan que:

- a) Por la naturaleza del territorio y las modificaciones ya realizadas, las situaciones amenazantes son inherentes a él. Estarán siempre, en menor o mayor grado, presentes, y siempre estarán en proceso evolutivo. Jamás se puede estar suficiente o completamente preparado para la ocurrencia de un evento determinado, aunque se puede aplicar tecnología y análisis para reducir los impactos. Es obligación por tanto permanecer alerta a la manifestación de indicadores de riesgo.
- b) Los fenómenos potencialmente destructores tienen una expresión espacial y temporal determinada; es necesario identificar tanto su génesis, como sus principales mecanismos funcionales para

comprender su comportamiento espacial.

- c) Los peligros generan un impacto territorial y social definido, mismo que se debe en lo posible prevenir o en su defecto mitigar.
- d) Las situaciones de vulnerabilidad de las comunidades, se configuran por la combinación de elementos estructurales (condiciones socio-económicas) y no estructurales (localización, salud, educación, cultura, etc.). Sobre ambos elementos es necesario incidir para reducir la vulnerabilidad.
- e) En la mayoría de los casos es posible diseñar acciones que reduzcan los riesgos, vía vulnerabilidad. Por la naturaleza de los fenómenos que definen los peligros naturales es muy difícil actuar sobre ellos, aunque sí se puede prevenir o mitigar peligros provocados.

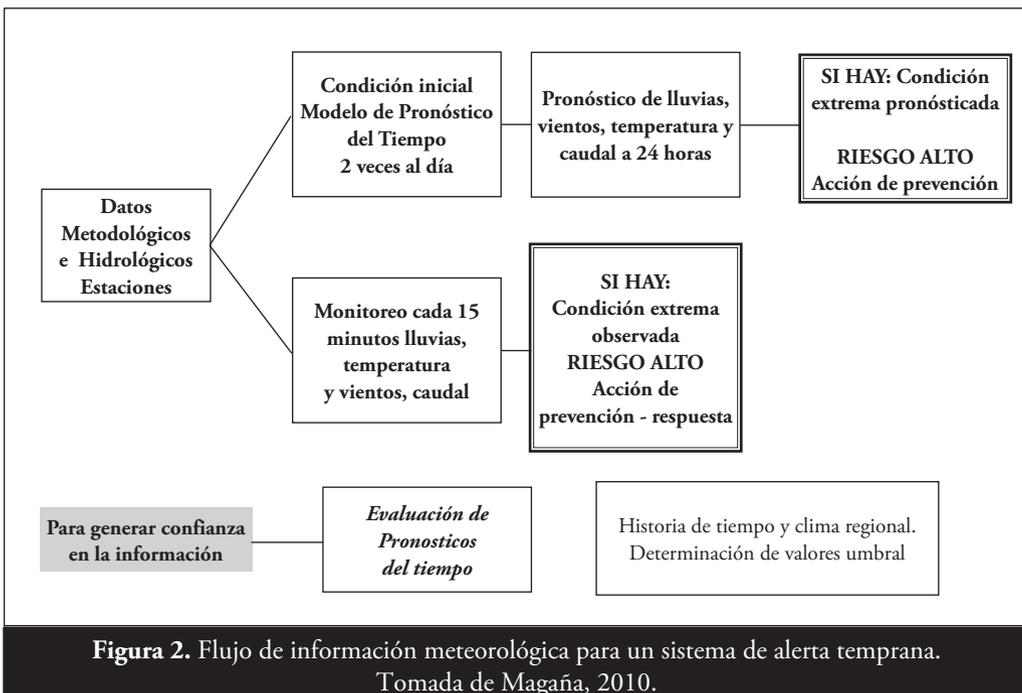
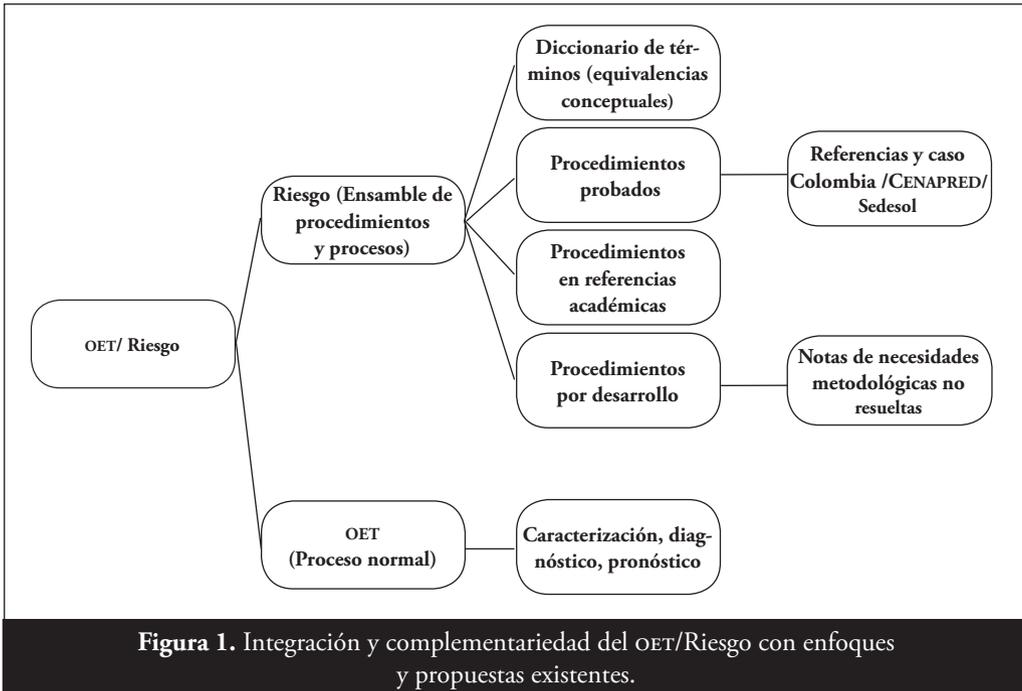
- f) La gran mayoría, por no decir la totalidad, de los llamados desastres, tanto naturales como antrópicos, responden más a condiciones socio-culturales que físico-naturales, sobre las cuáles es posible incidir a corto, mediano y largo plazo.
- g) Las políticas establecidas en este contexto deben ser estructurales y no coyunturales; es decir, deben rebasar la mirada paliativa de corto plazo, y ser proactivas, reconociendo que deben barrer las distintas dimensiones que definen situaciones de vulnerabilidad de las comunidades.
- h) Es necesario que los resultados obtenidos en la valoración de peligros y riesgos (cartografía diagnóstica, tablas, estadísticas y análisis diversos) sean recogidos e incorporados en una política de prevención y atención de desastres. Es decir, es imprescindible que se articulen las acciones y niveles de actuación territorial con lo sectorial.

EL OET SE ARMONIZA CON OTROS ENFOQUES PARA INCLUIR LA DIMENSIÓN DE LOS RIESGOS

El OET ha ido evolucionando como instrumento de planeación en cuanto a desarrollo institucional, experiencia normativa, innovación para su uso por gobiernos locales, etc., como también por sus enfoques o aspectos metodológicos, sea para analizar el territorio o bien para seleccionar e integrar variables, procesos o criterios que permiten llegar a unidades territoriales con propuestas específicas de políticas, de acuerdo a las necesidades y potencialidades de ese territorio. Igual ha sucedido con lo relacionado a los riesgos, principalmente aquellos relacionados a los fenómenos climáticos, donde bajo distintos marcos institucionales y conceptuales se ha intentado representar y manejar para prevenir y disminuir sus impactos negativos. Se puede decir que son evoluciones paralelas y que ciertamente pueden converger.

Esta guía analiza y hace compatibles ambos esfuerzos, que sean institucionales, vistos como instrumentos o bien en tanto a sus características metodológicas si tienen expresión en el territorio (figura 1).

Una de las vertientes de esta idea (Peligros climáticos-Riesgo/OET) tiene que ver con acoplar las posibilidades que da el modelaje de la respuesta del territorio con las del modelaje de las variables del clima. Sobre todo por las probabilidades de ocurrencia no sólo de desastres (la conjunción de peligro y vulnerabilidad), sino de alternativas para mejorar la producción, la restauración y en general el manejo del territorio. Por ello es pertinente mencionar la necesidad de explorar mecanismos de unión de ambas características para impulsar sistemas de alerta temprana: modelación del clima y modelación del territorio (figura 2).

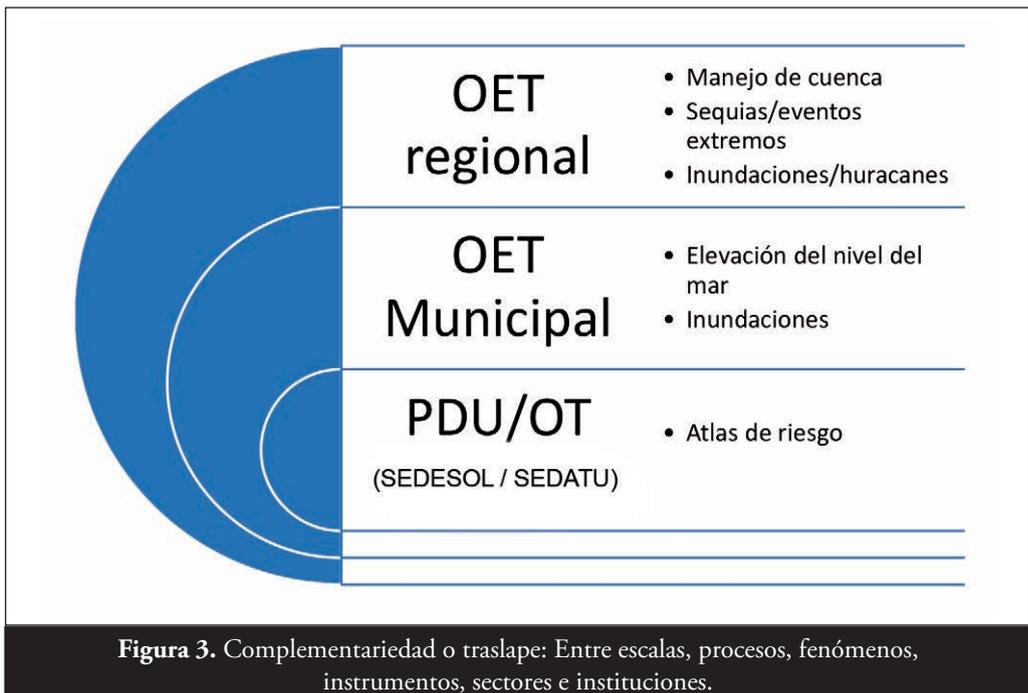


EL OET SE COMPLEMENTA CON OTROS INSTRUMENTOS Y MARCOS INSTITUCIONALES

El espacio rural y el urbano tienen un espacio territorial de transición, denominado zona peri-urbana. Sin embargo, esos territorios son manejados por instrumentos de planeación diferenciados tanto metodológica y jurídicamente como por su atención institucional, sin mencionar aquellos instrumentos emergentes de política como los planes sectoriales de desarrollo (entre los que tenemos las micro regiones de SEDESOL, sean urbanas o de marginación, o las de SAGARPA y ahora las de SEDATU). El territorio peri-urbano tiene en su expresión geográfica significancia a

la luz de los riesgos propiamente urbanos, de los propiamente rurales o de los relacionados con los ecosistemas. Ese territorio, que funciona como frontera o zona de transición, también es conspicuo y puede llegar a sumar esas condiciones de riesgo múltiple, a concentrarlas y a hacer sinergia o conector entre ellos (es el caso de los incendios).

Uno de los retos de la Guía será intentar resolver la complementariedad de los instrumentos o al menos indicar posibles alternativas para su operación desde el marco de la gestión del riesgo (figura 3).



LA INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL OET Y EL RIESGO

Existe un problema metodológico serio para integrar los efectos o influencias de los fenómenos hidrometeorológicos y por supuesto del Cambio Climático en el OET. Primero por razones de la escala temporal y luego por la escala espacial, ambas vinculadas. En la discusión se abordará que una primera solución es pensar en que la expresión inmediata del impacto del calentamiento global es en las variaciones o tendencias del clima, y estos a su vez en las modificaciones de distribuciones e interacciones en el marco de los escenarios de Cambio Climático.

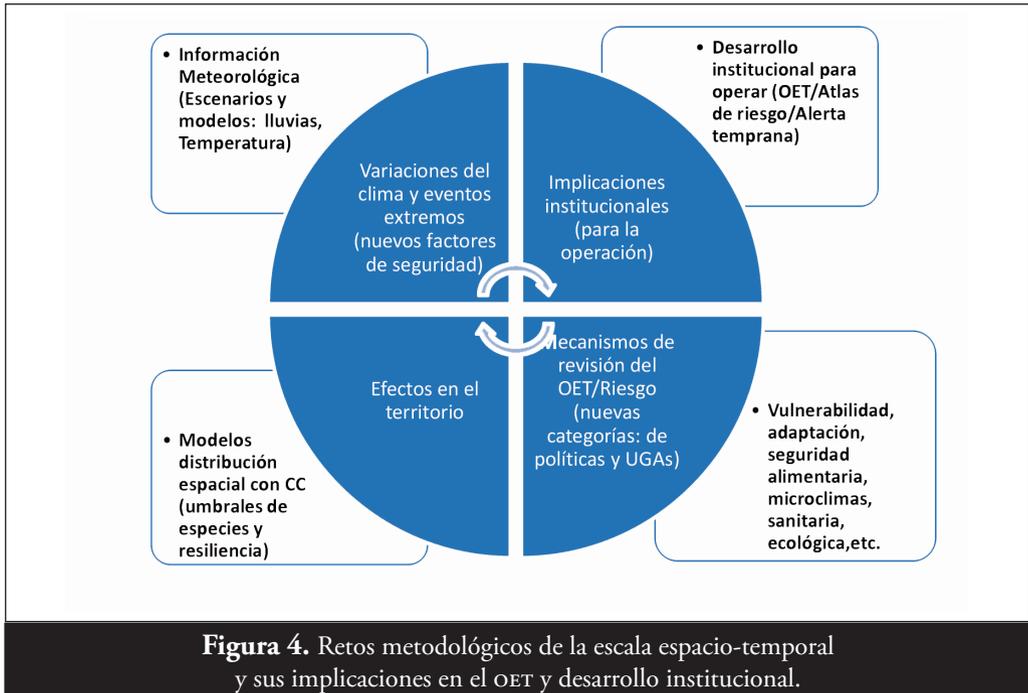
Hasta ahora se sabe que ver el territorio como algo estable a la luz de los promedios interanuales del clima y sus rangos históricos de variación perdió sentido. Es decir, pensar que los ecosistemas, sistemas urbanos, servicios ambientales (en cuanto a disponibilidad de agua o recursos naturales), agrosistemas y otros, se podrían manejar o restaurar considerando condiciones estables del clima con sus variaciones conocidas, se volvió una ilusión y ciertamente un problema. Los factores de riesgo concebidos como algo relativamente estable dentro de los rangos de variación hasta ahora conocidos están modificándose de forma importante.

Por ello ahora tiene sentido que en el análisis del territorio se incluyan aumentos

constantes en la temperatura promedio del clima, que tendrá efectos no sólo en el confort (y por tanto también en la demanda de energía y de zonas verdes), sino también en la intensificación de las sequías, por tanto en la seguridad alimentaria (o simplemente en la producción agropecuaria). Y lo mismo para otros eventos extremos como las lluvias torrenciales o huracanes.

Las implicaciones de incluir esta dimensión tiene diversas consecuencias (figura 4):

- a) Metodológicas (disponibilidad de datos y a qué escala se representan o analizan),
- b) Expresiones institucionales (con quienes se operan, como se coordinan y el establecimiento de programas de adaptación),
- c) Implicaciones para la presencia y distribución de especies y ecosistemas (presencia de corredores biológicos, grado de fragmentación y posibilidades de resiliencia, espacios para el desplazamiento de ecosistemas/sustitución de especies o sistemas),
- d) Creación de nuevos criterios o lineamientos en el OET por la concatenación de impactos y nuevos riesgos (seguridad alimentaria, confort, emergencia de vectores).



DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS ADOPTADA Y SU INTEGRACIÓN EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

El tema del riesgo dentro de la prevención de desastres ha sido tratado y desarrollado por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes, en la mayoría de los casos, de manera similar.

Existen muchas publicaciones relativas a cómo hacer análisis de riesgos por fenómenos naturales, elaborados para la realidad mexicana pero también para otras. La mayoría de las metodologías plantean como eje central que el riesgo es una función del análisis de peligros (amenazas) y de la vulnerabilidad.

Para poder entender lo que implica una situación de desastre es necesario tener claridad del vínculo que existe entre éste y el peligro (amenaza) y la vulnerabilidad; ya que en la práctica la prevención de desastres actúa, bien sea previniendo o mitigando el peligro o reduciendo la vulnerabilidad, para disminuir en consecuencia el riesgo; si esto no se logra al final se puede llegar a una situación de desastre.

En el presente capítulo nos acercaremos conceptual y metodológicamente al tema desde diferentes perspectivas de análisis, aunque a los fines de la metodología que se propone para incorporar en los Ordenamientos Ecológicos locales (municipales) y regionales, se plantea con la finalidad de lograr la integración efectiva de la planeación territorial con las entidades dedicadas a la protección civil, utilizando los conceptos básicos propuestos en la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos elaborados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006).

El CENAPRED establece como punto de partida que los riesgos están ligados a actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un agente perturbador (o peligro, entendido como un fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar daños (dependiendo de su nivel de vulnerabilidad) a un sistema afectable (asentamientos hu-

manos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un desastre. Así, desde esa perspectiva, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjese en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.

PELIGRO (AMENAZA)

CENAPRED (2006) define el Peligro como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado.

SEDESOL (2004), CENAPRED (2006) y Juárez *et al.* (2006), prefieren hablar de peligro antes que amenazas. Definen éste como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, de cierta intensidad, potencialmente dañino, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio específico y que depende de las características físico-geográficas del territorio en particular y de la frecuencia de ocurrencia del mismo.

Coch (1995), concibe las amenazas naturales como “*procesos geológicos naturales que implican peligro para el hombre y sus propiedades*”. Casi en los mismos términos, la Organización de Estados Americanos (OEA) (1993) habla de peligros naturales, entendidos como fenómenos naturales peligrosos, porque afectan actividades humanas y Hermelin (1993), la entiende como “*la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno natural*

determinado durante un cierto lapso en un lugar específico”.

El grupo de investigación GRAVITY (2001) define la amenaza como un fenómeno potencial que amenaza el ser humano y su entorno. Precisan, los autores que en el caso de una amenaza de origen natural, ésta corresponde a la interacción potencial entre el hombre y eventos naturales externos y representa la probabilidad de un evento.

Cardona (1990) se refiere a ella como un “*factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente. Matemáticamente, expresada como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un periodo de tiempo determinado*”.

Por tanto, la amenaza se puede comprender como la posibilidad de ocurrencia de un

evento natural o tecnológico (movimientos en masa, terremotos, inundaciones, vulcanismo, explosión, contaminación con tóxicos, etc.), que genere peligro para el hombre y/o sus actividades, expresada por la combinación de diversas variables en intensidades diferentes y en donde una de ellas puede ser el factor desencadenante, con una magnitud determinada, presente en cierto lapso de tiempo y en un lugar específico (Thomas, 2000).

A los fines de la prevención dentro de la planificación, y en particular dentro del Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), el análisis del peligro resulta en extremo importante, toda vez que un territorio con presencia de un determinado peligro y sin vulnerabilidad (desde la perspectiva del CENAPRED) debe ser tomado en cuenta especialmente, pues si planificamos actividades humanas sin valorar el peligro, entonces podría convertirse en el futuro en una zona de riesgo propensa a desastres. Por otro lado, para fines de adaptación, es importante identificar y separar los peligros naturales de los provocados por el hombre.

Para el análisis de los peligros, es substancial definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso que pueda medirse numéricamente y ser asociado, mediante relaciones físicas, con los efectos sobre los bienes expuestos. En la generalidad de los fenómenos se diferencian dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad.

La magnitud es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera. La intensidad es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado. Por ello un fe-

nómeno tiene una sola magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que interese determinar sus efectos.

Para algunos fenómenos, la distinción entre magnitud e intensidad no es tan clara, pero en términos generales el peligro está más asociado a la intensidad del fenómeno que a su magnitud, o sea más a las manifestaciones o efectos que el fenómeno puede presentar en el sitio de interés, que a las características básicas del fenómeno mismo. En este sentido, el estudio del peligro lleva a la identificación de los efectos específicos del fenómeno sobre el territorio.

La forma más común de representar el carácter probabilístico del fenómeno es en términos de un periodo de retorno (o de recurrencia), en particular para los fenómenos hidrometeorológicos y los geológicos, que es el lapso de tiempo que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. Para muchos de los fenómenos no es posible representar el peligro en términos de periodos de retorno (en particular para los de origen industrial o de salud pública), porque no ha sido posible contar con la información suficiente o los modelos adecuados para determinar ese periodo de tiempo. 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.

Existen peligros naturales y provocados por el hombre, mediante las modificaciones al ambiente, que son permanentes, y sus impactos sobre el balance y la dinámica alterada de los ecosistemas son conspicuos y provocan riesgos para la salud humana, aunque evolucionan según las condiciones ambientales (hidrometeorológicas, edáficas,

geológicas, etc.). Ejemplos obvios de estos peligros son la distribución y dispersión de vectores de enfermedad, de reservorios de patógenos zoonóticos, y de condiciones que mantienen en estabilidad otros patógenos que no tienen reservorios (bacterias, parásitos, helmintos que tienen también una

vida libre, aunque sea como quistes). Los incrementos en la abundancia y la exposición de la población humana a estos focos infecciosos, está asociada con alteraciones en el equilibrio de sus poblaciones, resultando en variaciones inusuales que representan un peligro para la salud.

VULNERABILIDAD

El PNUD (1991) interpreta la vulnerabilidad como “*el grado de pérdida causado en un elemento en riesgo (o serie de elementos) resultante de una amenaza determinada a un nivel de gravedad determinado*”.

Para Romero y Maskrey (1993) “*Ser vulnerable a un fenómeno natural es ser susceptible de sufrir daño y tener dificultad de recuperarse de ello*”.

Wilches, la asume como “*la incapacidad de una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye, un riesgo*”. Un grupo determinado será menos vulnerable cuando desarrolle habilidades y competencias que le permitan anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto del fenómeno potencialmente destructor. La vulnerabilidad determina la potencial intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del evento sobre la comunidad (Wilches, 1993).

Para Juárez *et al.* (2006), “*en el concepto vulnerabilidad va implícita la idea de seguridad de un grupo humano puesto en juego por factores externos, naturales y de origen huma-*

no, que se manifiesta en un sitio y tiempo determinados.”

El CENAPRED (2006) concibe la vulnerabilidad como “*la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador; es decir el grado de pérdidas esperadas*”.

En función de los elementos que la definen, se distinguen dos tipos de vulnerabilidades; la física o de las infraestructuras y la vulnerabilidad de la población. La primera está asociada a la respuesta y resistencia que ofrecen estructuras físicas, vías de comunicación o acceso a servicios, ante los eventos potencialmente destructivos; *e.g.* cómo se comporta una vivienda o edificio ante un evento sísmico o lo extenso y disponibilidad de una red de apoyo. La vulnerabilidad de la población está en función de aspectos socio-económicos, educativos, culturales, psicológicos y de salud (que corresponde a lo relacionado con la infraestructura física de hospitales, centros de salud, equipo, etc. y humana, médicos, enfermeras y otro personal especializado) con la cual dispone la población. Ambas dan razón del grado de preparación de la sociedad o de las instituciones ante los eventos inciertos pero probables.

Consecuentemente, la vulnerabilidad se puede concebir como la susceptibilidad, fragilidad, propensión de daño y resistencia que se ofrece, ante la potencial ocurrencia de peligros o amenazas (esto involucra acciones para evitar, mitigar, reducir, confrontar y resistir el impacto) y la capacidad de asimilación, ajuste y recuperación posterior (adaptabilidad de los grupos humanos -cultura y tecnología-), dados por condicionamientos socio-culturales, políticos, de salud, económicos e institucionales, incluyendo la percepción del peligro y la concientización que se tiene acerca de la posibilidad de ser afectado por un evento catastrófico (riesgo). Esa adaptación que, en el caso específico de los peligros, involucra medidas para controlar (regular la frecuencia y/o atenuar la intensidad del evento), resistir (soportar la manifestación y sus consecuencias) y/o aprovechar el evento (algún tipo de utilización de la manifestación), engloba obligatoriamente ciencia y tecnología, niveles de percepción, procesos históricos de ocupación y aprovechamiento y, por supuesto, recursos financieros; es decir, cultura, en su sentido más amplio. En ese sentido, es muy importante dejar claro que para aminorar el riesgo es posible disminuir la vulnerabilidad, es decir, la vulnerabilidad es el elemento manejable, mientras que los peligros naturales no.

La Exposición o Grado de Exposición se refiere a las personas, bienes y sistemas que

se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados por un peligro o una amenaza. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden emplearse valores culturales o del patrimonio intangible, o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al crecimiento y desarrollo de la población, variables socio-culturales, educativas, económicas y su infraestructura. En cuanto mayor sea el grado de exposición, mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de vulnerabilidad es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro. La exposición puede disminuir con el alertamiento anticipado de la ocurrencia de un fenómeno, ya sea a través de una evacuación o inclusive evitando el asentamiento de la población en el sitio expuesto al peligro.

Lo cual quiere decir que el denominado “desastre natural”, se puede concebir como de origen socio-cultural (PNUD, 2004; Blaikie *et al.*, 1996), donde el fenómeno físico no determina necesariamente el resultado, por cuanto en gran medida responde al nivel de vulnerabilidad frente al grado específico de exposición ante un evento determinado.

RIESGO

En términos cualitativos, CENAPRED (2006), define el riesgo como la probabilidad de

ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por

personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores.

Wilches (1993), concibe el riesgo como *“cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno”*.

Hermelin (1993), lo entiende como el producto de la amenaza y la vulnerabilidad. *“la evaluación de un riesgo natural de una población implica determinar cada una de las amenazas a las cuales está sometido cada uno de sus componentes. Evidentemente se trata de un ejercicio bastante dispendioso... El análisis de riesgo implica calcular las consecuencias que tendrá la combinación de la amenaza y de la vulnerabilidad”*.

Cardona (1990) lo entiende *“como la probabilidad de exceder un valor específico de consecuencias económicas o sociales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene al relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. El riesgo puede ser de origen natural (geológico, hidrológico o atmosférico) o también de origen tecnológico provocado por el hombre”*. Se puede expresar según la siguiente relación:

$$Rie = f(Ai, Ve),$$

En donde, *Rie* define la probabilidad de que un elemento “*e*” sufra una pérdida como consecuencia de una amenaza de intensidad “*i*”; en un periodo de tiempo “*f*”; *Ai*, expresa la probabilidad de ocurrencia de una amenaza de intensidad “*i*”; *Ve*, denota la probabilidad de un elemento “*e*” de ser sus-

ceptible a pérdida, a causa de una amenaza de intensidad “*i*” (Cardona. 1992).

WHO y CRISP (2007) Consideran al calculo de riesgo como un producto entre los peligros y la vulnerabilidad pero además incluyen la capacidad de respuesta en la formula quedando de la siguiente manera:

$$Riesgo = (Peligro \times Vulnerabilidad) / \\ Capacidad \ de \ Respuesta$$

SEDESOL (2004) y CENAPRED (2006) han denotado esta misma fórmula con una ligera variante conceptual, al definir el riesgo como producto del peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes o factores expuestos; así:

$$Riesgo = f(Peligro, Vulnerabilidad, \\ Exposición)$$

$$R = f(P, V, E)$$

Es así como el CENAPRED (2006), entiende por riesgo *“la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores”*.

Es decir, el riesgo puede entenderse como el producto de la interacción entre dinámicas naturales y antropogénicas (apropiación/ ocupación/explotación del espacio), que generan situaciones límites, en las que como resultado se ven afectados los hombres y sus actividades; entendidas, eso sí, como procesos y *“no como sucesos concentrados en el espacio y en el tiempo”* (Lavell, 1988). Este es el producto de la amenaza y la vulnerabilidad.

Una vez que se han identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y el grado

de exposición para los diferentes fenómenos perturbadores y sus diferentes manifestaciones, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo, o sea, representaciones geográficas de las intensidades o de los efectos de eventos extremos. Esto resulta de gran utilidad para el establecimiento y priorización de acciones de mitigación y prevención de desastres. Ejemplos de escenarios de peligro son la representación de los alcances de una inundación con los tirantes máximos de agua que puede tener una zona; distribución de la caída de cenizas o rocas como consecuencia de una erupción volcánica; la intensidad máxima del movimiento del terreno en distintos sitios debido a un sismo. Ejemplos de escenarios de riesgos serían el porcentaje de viviendas dañadas en relación al material de construcción para un sismo de

magnitud y epicentro determinados, el costo de reparación de la infraestructura hotelera por el paso de un huracán dependiendo de la cercanía al centro del mismo, el número de personas que podrían verse afectadas por el deslizamiento de una ladera inestable sobre un asentamiento, etc.

Es necesario apreciar el concepto de riesgo en relación con el de desastre, por cuanto este último se puede entender como el resultado real y tangible de la combinación del peligro y la vulnerabilidad, es decir, la expresión del riesgo sobre el territorio. En ese sentido, hay que señalar que el riesgo siempre tiene asociada una probabilidad de ocurrencia (que se transforme en desastre) en función del peligro o amenaza y de la vulnerabilidad existente.

DESASTRES

Fritz (1968) considera un desastre como *“un acontecimiento, centrado en el tiempo y en el espacio, en el que una sociedad (o comunidad) corre un grave peligro y experimenta tales pérdidas en sus miembros o pertenencias materiales que la estructura social queda desorganizada y se impide el cumplimiento de todas o de algunas de las funciones esenciales de la sociedad”*

El Departamento de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (DHA) define los desastres como aquellos sucesos en los que mueren más de cien personas o el coste económico de los mismos supera el 1% del PIB del país en el que se produce (Meli *et al.*, 2005). En contraste, la Federación Interna-

cional de las Sociedades de la Cruz Roja o de la Media Luna Roja considera desastre a cualquier evento, o serie de eventos, que tenga(n) como resultado que un importante número de personas se encuentren de repente en condiciones de stress y necesidad de alimentos, vestido, albergue, cuidados médicos y enfermería, servicios de consejo y otros tipos de ayudas de necesidad urgentes (Cruz Roja Internacional, 2002).

Según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD, 2008), un desastre *“es una seria interrupción del funcionamiento de una comunidad o sociedad, lo cual ocasiona pérdidas humanas, económicas o ambientales generalizadas. Estas pérdidas ex-*

ceden la habilidad de la comunidad o de la sociedad afectada de hacerle frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos". En términos similares, la CEPAL (2002) define el desastre como "un evento, generalmente repentino e imprevisto, que ocasiona daños, pérdidas y paralización temporal de las actividades en un área determinada y que afecta a una parte importante de la población".

Lavell (1988) habla de desastres naturales como *"una relación extrema entre fenómenos físicos y la estructura y organización de la sociedad de tal manera que se constituyen coyunturas en que se supera la capacidad material de la población para absorber, amortiguar o evitar los efectos negativos del acontecimiento físico"*.

Sin embargo, hay que recalcar en que no necesariamente todas las situaciones de riesgo se configuran en un desastre, depende

precisamente de la incapacidad humana de reducir la intensidad o el impacto (vulnerabilidad) del fenómeno hasta cero. Los desastres se valoran en las vidas perdidas y/o personas lesionadas, en las grandes pérdidas materiales que afectan a la economía del hombre y los niveles de desarticulación funcional y espacial.

Resulta imprescindible, sin duda alguna, que las administraciones municipales y estatales identifiquen, clasifiquen, caractericen y evalúen los tipos y niveles de peligros que tienen en su territorio de forma integral, la vulnerabilidad y la medición espacial del riesgo, incluyendo el espacio ecológico. Con base en ello, diseñen y hagan planes operativos, programas y proyectos de prevención y mitigación de desastres, centrados en la disminución de la vulnerabilidad.

PROCESO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO Y CICLO DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

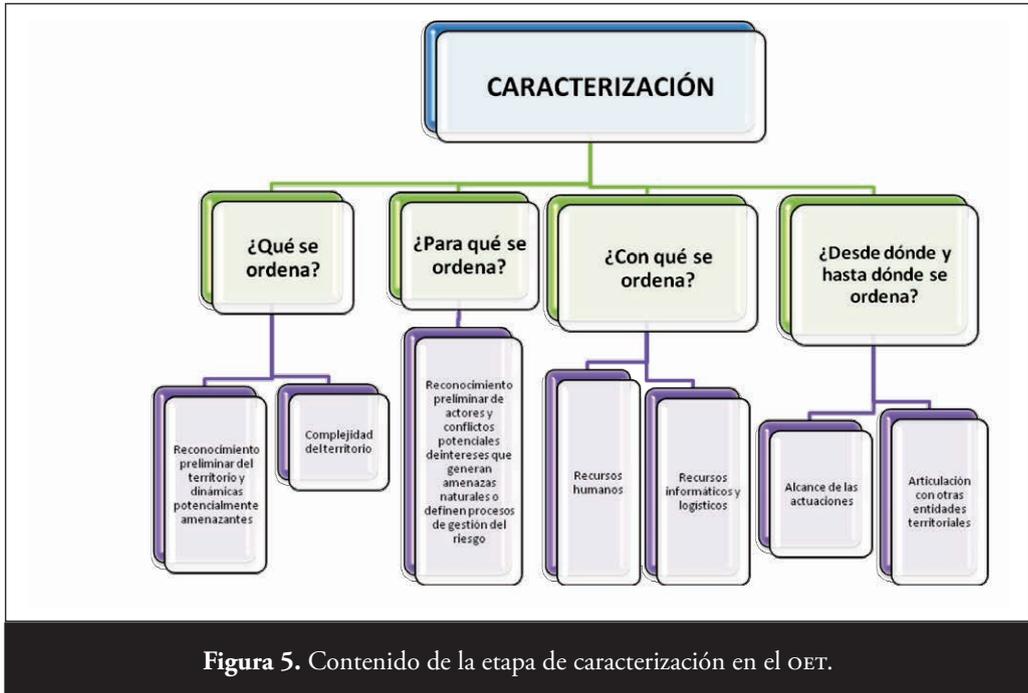
El Proceso de Ordenamiento Ecológico del Territorio es el conjunto de procedimientos para la formulación, expedición, ejecución, evaluación y modificación de los Programas de Ordenamiento Ecológico (POET), que constituyen las fases que lo componen. Durante la Fase de Formulación se realiza el estudio técnico que sustentará la propuesta del Programa de Ordenamiento Ecológico y se realiza a través de cuatro etapas: Caracterización, Diagnóstico, Pronóstico y Propuesta.

La caracterización tiene por objetivo describir el estado de los componentes natural, social y económico del área a ordenar; con-

siderando tres elementos básicos: delimitar el área a ordenar, identificar los sectores con actividades en el área a ordenar y realizar talleres sectoriales (SEMARNAT, 2006).

En el proceso de ordenamiento resulta muy útil, obtener datos preliminares que permitan reconocer e insertar, aquello que se pretende ordenar, independientemente de su escala espacial (ver figura 5).

En el diagnóstico, se pretende identificar y analizar los conflictos ambientales entre los sectores con actividades en el área a ordenar; a través del análisis de aptitud y de los conflictos ambientales, de la realización de



talleres de validación de éstos y la delimitación de las áreas para preservar, conservar, proteger o restaurar (SEMARNAT, 2006).

Es decir, el objetivo fundamental es hacer un análisis del estado actual del territorio (análisis, síntesis y evaluación) y de sus tendencias de cambio. Esto con base en un proceso fundamentalmente técnico y recopilando extensa información actual y pasada que cubra las diversas temáticas físico-naturales, como socio-culturales, educativos y en salud, determinará las ofertas, potencialidades, restricciones y conflictos en el territorio (figura 6).

Este momento es de por sí dispendioso y de exigente manejo de información; cada uno de los tópicos a tratar requiere extensos análisis (temáticos, estadísticos, cartográficos) y procesos de síntesis (conceptual y cartográfica) que hacen que tal vez sea la que demande mayor cantidad de tiempo en

el proceso. Es fundamental tener siempre presente que el resultado final de estas dos primeras etapas son la identificación, caracterización y zonificación de los diversos atributos del territorio, pero también, y de forma muy especial, las ofertas, potencialidades, restricciones y conflictos presentes en el territorio. De otra forma se quedaría únicamente en el momento de análisis sin lograr los de síntesis y evaluación, vitales para los momentos las etapas posteriores.

Los dos grandes cuestionamientos que orientan la búsqueda, análisis y síntesis de información son:

- a) ¿Cuál es el estado del territorio?
- b) ¿Cuáles son sus potencialidades, oportunidades, restricciones, interacciones y conflictos?

De la situación actual, producto de las transformaciones a lo largo de la historia, de los diversos elementos en el territorio por

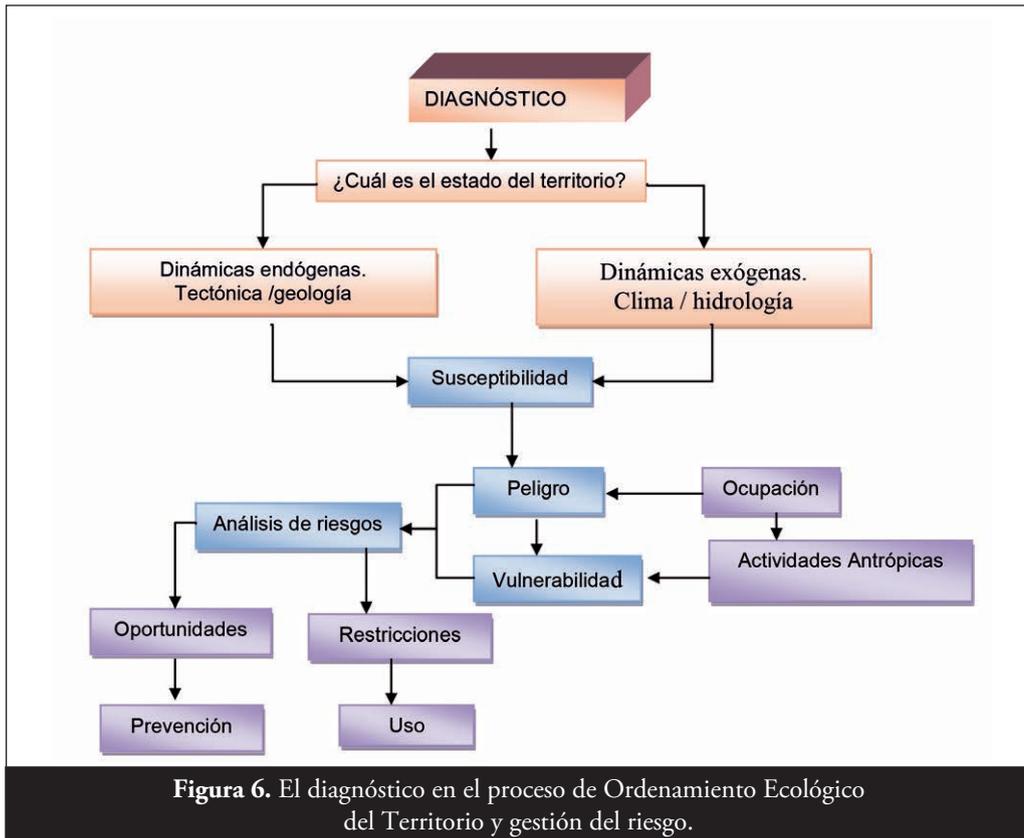


Figura 6. El diagnóstico en el proceso de Ordenamiento Ecológico del Territorio y gestión del riesgo.

ello es importante también realizar un análisis en retrospectiva, necesario reconstruir las dinámicas presentes (ver figura 7) y de la interacción con algunos otros de reciente aparición (estructurales o coyunturales), se reconocen la oferta ambiental y el potencial cultural (una sociedad que demanda recursos). Éstos definen respectivamente oportunidades y demandas y de su confrontación, cuando la demanda no puede ser satisfecha por la oferta, se originan los conflictos territoriales. Es precisamente sobre éstos que el ordenamiento territorial busca actuar, para conciliar las dinámicas que originan los conflictos, teniendo siempre presente que el objetivo final es lograr el desarrollo sustentable de las actividades humanas a partir de

la adecuada distribución en el territorio de esas actividades, mismas que deben de ser coherentes con los postulados del desarrollo sustentable.

Aunque en las etapas de caracterización y diagnóstico siempre ha estado presente el tema de los peligros, en pocas ocasiones se ha incluido la medición de la vulnerabilidad. Si bien como resultado de la etapa de diagnóstico se delimitan las unidades de gestión ambiental y se evalúa su aptitud productiva, no siempre se ha reflejado en las etapas de pronóstico y propuesta la probabilidad de riesgos específicos en cada una de ellas ni las medidas concretas para disminuir la vulnerabilidad.

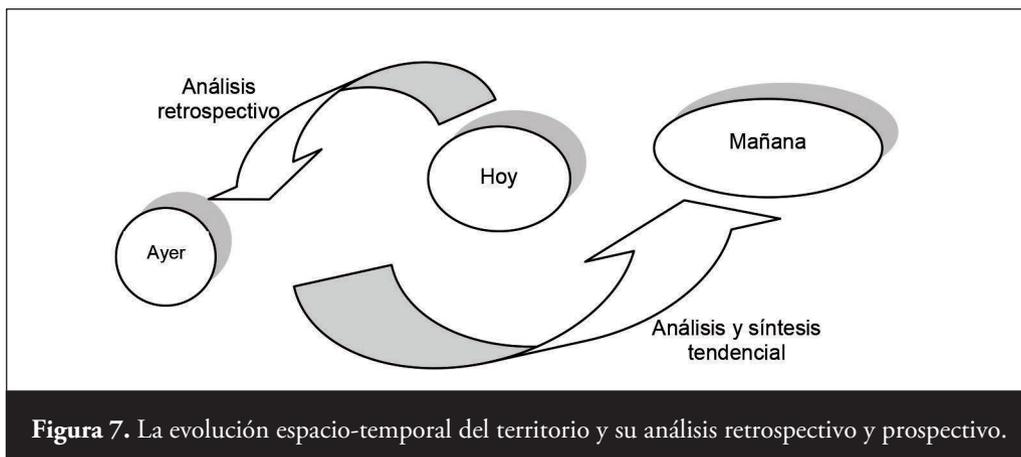


Figura 7. La evolución espacio-temporal del territorio y su análisis retrospectivo y prospectivo.

El pronóstico busca examinar la evolución de los conflictos ambientales, a partir de la proyección del comportamiento de las variables naturales, sociales, educativas, en salud, y económicas que puedan influenciar el patrón de ocupación territorial que hagan los diversos sectores en el área de Ordenamiento Ecológico del Territorio.

Una vez hecha la identificación, reconocimiento y convocatoria de los diversos actores territoriales desde la fase de caracterización, con su participación se construye una visión futura del territorio que se pretende y puede lograr. Inicialmente se obtiene un escenario tendencial (la proyección de las dinámicas actuales sin intervención alguna), luego se visualizan escenarios alternativos (deseables y probables) y de éstos, y como resultado de un proceso de diálogo y concertación entre actores, se elige uno que, con base en técnicas prospectivas, se convierte en la imagen objetivo del territorio.

Este momento está basado en la técnica de prospectiva, que se puede entender como una herramienta que busca la identificación y diseño de escenarios alternativos de futuro, en donde los niveles de incertidumbre

sean cada vez menores; es el reconocimiento de que el futuro es posible construirlo desde el presente, siendo conscientes de las implicaciones actuales y futuras de los actos; es planificar el futuro, de forma participativa y concertada; es romper con una visión cortoplacista y de coyuntura; es, como afirma Gabiña (1999), “*convertir al futuro por el que apostamos en la razón que ilumina las actuaciones en nuestro presente*”.

Un elemento importante en la prospectiva es la definición de un horizonte temporal que defina unos escenarios de futuro; no es lo mismo prospectar a diez que a quince o veinte años. Aquello que representa un potencial a diez, puede ser una limitante a quince o a veinte; es el caso de las actividades mineras o de cierta actividad industrial. De la misma forma la definición de políticas de ocupación y uso del territorio requiere tener claridad frente a la temporalidad de los procesos.

La prospectiva se apoya de forma predominante en registros históricos que permitan, con base en métodos matemáticos y estadísticos, definir la probabilidad futura de comportamiento de fenómenos, situacio-

nes, ocupación y uso del territorio; ahí radica la importancia de un buen diagnóstico territorial.

Las preguntas que orientan esta etapa son:

- a) ¿Qué territorio se desea?
- b) ¿Con qué elementos contamos?
- c) ¿Cuáles son las posibilidades de construirlo?

Para el caso de los peligros y riesgos, la imagen objetivo tiene que ver con la generación de condiciones y proyecciones futuras sobre el territorio en las que los riesgos y sus niveles se reduzcan significativamente; bien sea evitando la exposición directa a los peligros, por restricciones de localización y uso o bien sea, reduciendo o mitigando los niveles de vulnerabilidad de la población, la infraestructura y los ecosistemas a través de mecanismos estructurales (obras de infraestructura) y no estructurales (educación, prácticas de manejo).

Sin embargo, es incuestionable que en la etapa de pronóstico se construye una imagen integral del territorio que recoge cada una de las variables que lo definen y no una imagen objetivo por sector o ámbito (ambiental, económico, social, cultural, etc.); en esta medida se debe entender que lo que se debe garantizar es cómo un escenario futuro de reducción de riesgos, favorece la consolidación de un territorio más eficiente, sostenible, equitativo y con mayores índices de bienestar de la población. Los resultados parciales de esta variable (peligros y vulnerabilidad) se justifican en y a través del impacto que van a tener espacialmente en el territorio (entendido éste como un todo).

A pesar de que, como ya se dijo, las intervenciones en el territorio deben de ser integrales, para mayor claridad se especifi-

can las acciones genéricas a desarrollar y en particular qué se haría en la temática de peligros, vulnerabilidad y riesgos, en el proceso de construcción de la imagen objetivo del territorio:

- a) Identificar las fortalezas y debilidades que ofrecen los distintos actores y sectores para lograr la imagen objetivo deseada (interacción de variables que definen la configuración de situaciones de riesgo y la definición de correctivos para reducirlo).
- b) Evidenciar los peligros y oportunidades futuras del entorno interno del territorio considerando los entornos externos inmediatos y mediatos (oferta ambiental *vs* demanda sociocultural, que presiona el uso intenso de ciertos recursos que propician la ocurrencia de situaciones de riesgo).
- c) Establecer el lugar estratégico que tiene el territorio; ventajas comparativas y competitivas (condiciones naturales y sociales favorables para una política de reducción y/o prevención).
- d) Examinar y evaluar los distintos escenarios formulados y definir, en función de los anteriores, el más adecuado (evaluación de planes, programas y proyectos de prevención, mitigación y contingencia).
- e) Definir lineamientos y políticas de acción que deban ser recogidos por el POET como por los planes sectoriales (definición de planes y articulación con la política de prevención de desastres).

La etapa de propuesta tiene como propósito, obtener un patrón de ocupación del territorio que maximice el consenso entre los sectores, minimice los conflictos ambientales y favorezca el desarrollo sustentable en el

área a ordenar, de modo que sea la base para el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET) (SEMARNAT, 2006).

En este momento se formulan los objetivos, estrategias y acciones que, primero, fortalezcan los mecanismos de integración regional, y de otro lado, posibiliten la corrección de los problemas detectados, para poder alcanzar así la imagen objetivo. Este recoge y hace operativo el proceso de la evaluación de peligros, vulnerabilidades y riesgos, en el contexto particular del territorio. Esto quiere decir, reconocer e incorporar los requerimientos, posibilidades y restricciones de las áreas urbanas, peri-urbanas y rurales del municipio o región; puesto que, bien por su naturaleza, bien por su complejidad; existen zonas especialmente vulnerables o propensas para la configuración de situaciones de riesgo; en consecuencia, objetivos, estrategias e instrumentos de planificación deben ser distintos para cada uno de estos espacios.

Es fundamental realizar una evaluación de los futuros proyectos de inversión del municipio, tanto privados como públicos, en relación con su localización y los niveles de vulnerabilidad frente a la ocurrencia eventual de peligros; así como la generación de nuevas situaciones de riesgo, inducidas por estos proyectos de futuro.

En relación directa con los peligros y riesgos, la propuesta tiene que ver con el diseño de planes de prevención y mitigación, que reduzcan la vulnerabilidad de la población

ante el impacto causado por fenómenos y situaciones que induzcan riesgos, para no llegar al de desastre; sin embargo, se debe planificar teniendo presente la eventualidad de éste (el desastre), ya que es su impacto que se debe evitar.

En otras palabras, es reconocer e incorporar acciones específicas en relación con dos momentos esenciales en la ocurrencia de situaciones de desastres: pre-evento (antes) y evento (durante)⁵. El primero, involucra la mitigación y los preparativos ante el desastre; y el segundo la contingencia, medidas para el rescate y socorro. Lo que se pretende al final es reducir la probabilidad de ocurrencia del desastre (el antes), pero en caso de que se llegue a presentar, estar preparado para él (el durante).

Por su parte, el Ciclo de la Prevención de Desastres ha sido organizado en las siguientes etapas: identificación de riesgos, mitigación y prevención, atención de emergencias, recuperación y reconstrucción, evaluación del impacto e incorporación de la experiencia.

La etapa de Identificación de Riesgos persigue conocer los peligros y amenazas a los que se está expuesto; estudiar y conocer los fenómenos perturbadores identificando dónde, cuándo y cómo afectan, identificar y establecer, a distintos niveles de escala y detalle, las características y niveles de vulnerabilidad de la población y el ambiente para medir riesgo, entendiendo el riesgo como el productor del peligro (agente perturbador),

⁵ El post-evento, lo que sucede o se hace después de un evento, está asociado con la rehabilitación y reconstrucción; estas acciones escapan a la prevención misma de los desastres y pueden entenderse como la fase final o de recuperación.

y la vulnerabilidad (propensión a ser afectado) y la exposición (el valor de incidencia sobre el sistema afectable).

En tanto, la etapa de Mitigación y Prevención consiste en diseñar acciones y programas para mitigar y reducir el impacto de los desastres antes de que éstos ocurran. Incluye la implementación de medidas estructurales y no estructurales para reducción de la vulnerabilidad o la intensidad con la que impacta un fenómeno en la cual la planeación del uso de suelo resulta uno de los aspectos fundamentales.

A los fines de que ambos procesos logren los propósitos para los cuales fueron concebidos deben integrarse e interrelacionarse,

como se muestra en la figura 8.

En la Formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico debe incorporarse la identificación de riesgos durante las etapas de caracterización, diagnóstico y pronóstico, de forma tal que queden añadidas propuestas específicas dirigidas a mitigar y reducir el impacto de los desastres antes de que éstos ocurran, garantizando una gestión de riesgos oportuna.

Los Resultados Finales de la Formulación son incorporados como parte de las acciones y programas para mitigar y reducir el impacto de los desastres antes de que éstos ocurran.

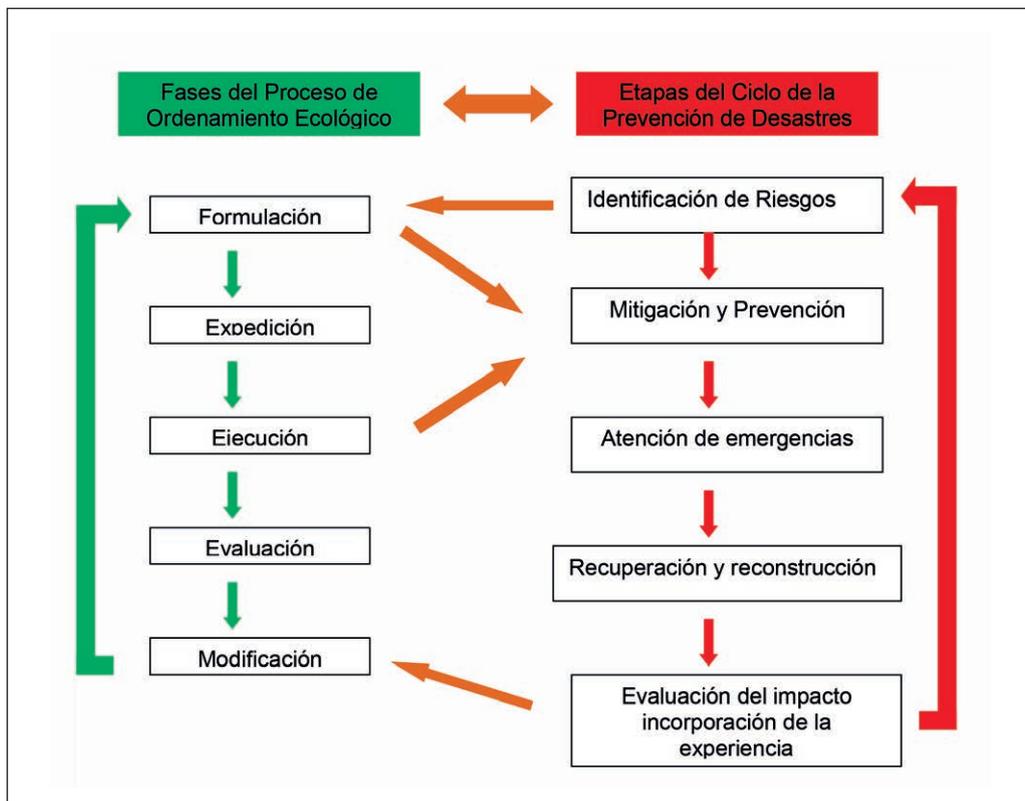


Figura 8. Interrelación entre proceso de Ordenamiento Ecológico y ciclo de prevención de desastres.

La otra interrelación importante se presenta una vez ocurrido un desastre en el territorio, donde se evalúa el impacto y esta evaluación se convierte entonces en un insumo para la Fase de Modificación ya que el comportamiento acaecido incorporara nuevas experiencias que señalaran la necesidad o no de la adaptación o creación de nuevas estrategias y lineamientos.

Como se aprecia entonces, cada uno de estos procesos (ordenamiento ecológico del territorio y gestión del riesgo) tiene metodológicamente sus propias fases y etapas, pero, a pesar de que uno y otro persigue objetivos específicos y exige pasos diferenciados, como “deber ser” en un proceso integral de planificación, son acciones convergentes y coherentes entre sí; por tanto, el reto es articular metodológicamente ambos para establecer acciones concertadas que permitan a la vez que se ordena el territorio tener espa-

cios menos propensos a ocurrencia de desastres. Ello exige necesariamente también, la articulación institucional entre los entes gubernamentales respectivos que tienen como competencia estas acciones; esto va más allá de la definición de objetivos, alcances y procedimientos y toca voluntades institucionales y políticas para articular metas, compromisos y funcionarios.

La Fase de Formulación constituye el inicio formal del Proceso de Ordenamiento Ecológico del Territorio conformado por diferentes actividades. Desde la primera actividad, que es el Convenio de Coordinación, deben incluirse como uno de los actores a las autoridades de protección civil de los municipios o los estados involucrados en el territorio objeto de ordenamiento, los cuales deberán integrar el Comité de Ordenamiento Ecológico y formar parte tanto del órgano técnico como del órgano ejecutivo.

PROPUESTA METODOLÓGICA DE INTEGRACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO EN EL OET

Existen muchas publicaciones relativas a cómo hacer análisis de riesgos por fenómenos naturales y provocados, elaborados para la realidad mexicana pero también para otras realidades. La mayoría de las metodologías incluyen los análisis de amenazas (peligros), vulnerabilidad (junto con la capacidad de respuesta) y riesgos como eje central del desarrollo metodológico.

En este sentido la plataforma cardinal para un diagnóstico conveniente de riesgo es el conocimiento científico de los fenómenos

(peligros o amenazas) que afectan a un espacio geográfico específico. Este territorio estará agrupado o segmentado en unidades ambientales que se caracterizan por tener diferentes niveles de propensión a un peligro y diferentes niveles de vulnerabilidad.

De esta manera las diversas metodologías en general cubren los siguientes pasos:

- Identificación de los fenómenos naturales y antrópicos que afectan al territorio.
- Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados.

- Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad en cada unidad ambiental.
- Identificación de la capacidad de respuesta en cada unidad ambiental.
- Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado a cada tipo de fenómeno, tanto natural como antropogénico en cada unidad ambiental.
- Integración sistemática de la información sobre los fenómenos naturales y antropogénicos, peligro, vulnerabilidad y riesgo considerando los recursos técnicos y humanos en cada unidad ambiental.

Se parte de las siguientes premisas:

- La presente guía tiene como objetivo orientar a las personas involucradas en los Ordenamientos Ecológicos del Territorio, y es totalmente flexible y orientativa dado que, en primer lugar existen numerosas metodologías para evaluar los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos, de las cuales en este texto ofreceremos algunas y en segundo lugar ocurre que muchas veces no se pueden aplicar porque no existe información, no es suficiente o es poco confiable.
- Dado que el Ordenamiento Ecológico del Territorio tiene un carácter espacial, la cartografía constituye un elemento objetivo y práctico que facilita la toma de decisiones, por lo que se insiste en su elaboración como expresión espacial de los diferentes resultados.

Durante el proceso de consulta la revisión de las metodologías se ha identificado la existencia de diferentes enfoques para hacer el diagnóstico del riesgo y a estos fines recomendamos las siguientes fuentes que

pueden ser utilizadas como referente para enfocar el tema en los ordenamientos ecológicos regionales y municipales, sin dejar de mencionar que para lograrlo es necesario contar con especialistas que puedan realizar el trabajo de forma eficiente:

001. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (2006): Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos: Conceptos Básicos sobre peligros, riesgos y su representación cartográfica. México, DF.

002. SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y CONSEJO DE RECURSOS MIERNALES DE MÉXICO (2004): Guía metodológica para la elaboración de Atlas de peligros naturales a nivel de ciudad. Identificación y zonificación. Programa Habitat. México, DF.

003. UNAM, Instituto de Ingeniería. “Guía metodológica para el análisis del peligro, vulnerabilidad, riesgo y pérdidas causadas por desastres naturales o antropogénicos y su reducción y prevención. UNAM; 2003.

004. COSUDE - ALARN (2002): Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua. Guía para el especialista. Proyecto: Apoyo Local para el Análisis y manejo de los Riesgos Naturales (ALARN). Managua, Nicaragua.

005. Organización de los Estados Americanos (1991). Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Washington D.C.

006. Mark Fleischhauer, Stefan Greiving y Sylvia Wanczura (2007): Planificación territorial para la gestión de riesgos en Eu-

ropa. Boletín de la A.G.E. N.º 45 - 2007, págs. 49-78

007. Anna Zucchetti, Victoria Ramos, Marcos Alegre, Zenón Aguilar, Roberto Arroyo, Eric Tribut (2008). Guía Metodológica para el Ordenamiento Territorial y la Gestión de Riesgos. Proyecto PNUD/UN Habitat “Apoyo a la rehabilitación de viviendas en el marco de un proceso de planificación de los asentamientos humanos y transferencia de capacidades en criterios y técnicas antisísmicas”. www.grupogea.org.pe, Perú

008. Organización de Estados Americanos (1993): Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Una Contribución al Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales.

009. Cabildo de Tenerife. Plan territorial insular de emergencias de protección civil de la isla de tenerife. Capítulo III Analisis de Riesgo. 132pp

010. Francisco J. Ayala-Carcedo (2000). La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población- Boletín de la A.G.E. N.º 30 - 2000, págs. 37-49

011. Florent Demoraes y Robert D’ercole (2001). Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en el Ecuador. Quito, Ecuador

012. Etxeberría Ramírez, P., Edeso Fito, J. M. y Brazaola Rojo, A. (2005). “Metodología para crear mapas de peligros naturales en Guipúzcoa utilizando SIG”, GeoFocus (Artículos), nº 5, p. 250-267. ISSN: 1578-5157

013. Ismael Ahamdanech Zarco, Concepción Alonso Rodríguez, Joaquín Bosque Sendra, José Antonio Malpica Velasco, Miguel Martín-Loeches, Esther Pérez Asensio, Javier Temiño Vela (2003): “Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras”, Anales de geografía de la Universidad Complutense 2003, 23 55-73

014. PROMIC (2006): Metodología para análisis de riesgos. Municipio de Tiquipaya. Cochabamba, Bolivia (Estudios de caso), Bolivia.

015. Armando Campos S. Algunas consideraciones sobre los .mapas de riesgo. Bibliodes No. 30

016. Helga Valdivia Fernández, Daniel Núñez Ato. Evaluación del riesgo ambiental de tipo físico natural y su relacion con el planeamiento urbano. Caso: distrito de comas. Planeamiento Urbano: Evaluación de Riesgos Ambientales de Tipo Natural. Lima, Perú

017. U.S. Department of Energy AREA NPHZ (2002): Natural Phenomena Hazards Design And Evaluation Criteria For Department Of Energy Facilities, Washington, D.C. 20585.

Para identificar los conflictos y delimitar las áreas que se deberán preservar, conservar, proteger o restaurar el Ordenamiento Ecológico del Territorio necesita información importante y decisiva; la relacionada con los peligros, la vulnerabilidad y el riesgo. Sin embargo, no se necesita información a escala muy detallada sobre la vulnerabilidad actual en un área concreta (*e.g.* los análisis de la resistencia estructural de cada construcción), ya que las restricciones se dirigen a nivel general a distintos usos territoriales potencial-

mente vulnerables (como áreas residenciales, terrenos industriales, superficies cultivadas, zonas verdes, etc.), por lo que la información del INEGI al nivel localidad (para los OET municipales) o municipal (para los OET regionales) es suficiente.

Además, en términos prácticos la introducción del mapa de riesgo en la etapa de diagnóstico del Ordenamiento Ecológico del Territorio puede modificar la aptitud territorial de cada unidad de gestión ambiental. Por ejemplo, de forma muy general, si existe un peligro de inundación muy alto en un área poco vulnerable, indudablemente el riesgo tiende a ser medio o bajo. En términos de planeación y de ordenamiento ecológico, pudiera interpretarse erróneamente que esta puede ser un área en la cual pueden implementarse políticas de uso en infraestructuras en el futuro. Al utilizarse exclusivamente el mapa de peligros, no existe la posibilidad de que se diagnostique el uso de esa área en una función que no sea la de preservar, conservar o proteger. El mapa de peligros sirve para plantear que no existan asentamientos humanos en el futuro, pero el mapa de vulnerabilidad es fundamental para definir el nivel de riesgo en donde los peligros son altos y muy altos, y así proponer los criterios, acciones y lineamientos para disminuir la vulnerabilidad.

La integración de la información relacionada con la vulnerabilidad es indispensable como parte de los conceptos integrados que cubren todo el ciclo de la prevención de desastres (para las actividades de preparación y respuesta a emergencias). Sin embargo, como hemos observado en los diagramas, la planeación territorial que se ha realizado en décadas anteriores no ha llevado hasta sus

últimas consecuencias estos conceptos. Desde esa visión, el Ordenamiento Ecológico del Territorio sólo se puede entender en este contexto como un factor de apoyo importante, de ahí la necesidad de que se transforme, al llevar el análisis del riesgo al POET, conforme a la realidad actual de cambio global, en un instrumento que promueva acciones concretas para disminuir la vulnerabilidad del territorio.

El uso de la información de peligros naturales permite, durante la etapa de diagnóstico (Foschiatti, 2009; Lugo *et al.*, 2005, Lugo e Inbar, 2002), definir, cambiar o fortalecer las propuestas relacionadas con las áreas que se deberán aprovechar, proteger, conservar y restaurar para lo cual puede pensarse en algunas acciones como las siguientes:

- Áreas propensas a peligros (como inundaciones o avalanchas),
- Áreas modificadas que adquieren mayor vulnerabilidad por ello,
- Áreas necesarias para reducir los efectos de un evento peligroso (por ejemplo, áreas de retención de agua),
- Áreas necesarias para garantizar la efectividad de las actividades de respuesta (como vías de escape y puntos de resguardo).

De igual manera, puede establecer medidas variadas sobre el uso de territorio tomando decisiones sobre tipos de uso aceptables según la intensidad y frecuencia del peligro existente y conforme a los resultados de un análisis de la vulnerabilidad y de respuesta (*e.g.* se puede permitir el uso de una zona propensa a inundaciones para la agricultura sin inversión en infraestructura, pero no para asentamientos humanos).

Además, es necesario hacer las siguientes observaciones:

- Escalas territoriales: la información sobre peligros se necesita a dos escalas distintas: regional y local. Como consecuencia, sólo se necesitan dos leyendas armonizadas.
- Enfoque de múltiple riesgo: no existe una necesidad de crear indicadores de múltiple riesgo o índices desde el punto de vista de la planificación territorial. Lo realmente importante es que en la práctica, la planificación territorial considere todos los peligros relevantes para cada caso.
- Gestión de la información: es extremadamente importante que la información existente sea accesible y que se gestionen los flujos de información requeridos.
- Indicadores: el indicador más importante para la planeación territorial es la incidencia del peligro; además, la frecuencia; para la planeación en algunas áreas particulares, así como los indicadores de intensidad de peligro (por ejemplo profundidad y velocidad del agua, etc.).
- Enfoque amplio de vulnerabilidad: tradicionalmente se asocia la vulnerabilidad a la población y la infraestructura. Sin embargo también es importante calcular la vulnerabilidad de las actividades productivas, los ecosistemas o las unidades de gestión ambiental, por lo que debemos lograr un entendimiento mucho más amplio del concepto de vulnerabilidad para aplicarlo en el contexto del cambio global.

Teniendo en cuenta las etapas establecidas en la Fase de Formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico (Caracterización, Diagnóstico, Pronóstico y Propuesta) y los procedimientos seguidos en la práctica para la realización de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos, se propone en la tabla 2, la relación detallada de procedimientos y aspectos que deben ser valorados en la metodología de formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico.

Tabla 2. Aspectos del análisis de riesgos a incluir en la metodología para la formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio.

Etapas de formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico	Procedimientos para el Diagnóstico del Riesgo y su incorporación al ordenamiento ecológico
Caracterización	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definición de fuentes de información existentes sobre peligro, vulnerabilidad y riesgos. 2. Elección de la escala geográfica de trabajo, según resolución de bases, capacidad interpolación, enfoque de análisis. 3. Identificación de peligro debido a fenómenos naturales y provocados que afectan el territorio y que por su intensidad, magnitud e influencia deben ser considerados en el ordenamiento. 4. Integración de todos los componentes requeridos para analizar la vulnerabilidad ambiental y social.
Diagnóstico	<ol style="list-style-type: none"> 5. Determinación del peligro según espacio geográfico, intensidad y tiempo, asociado a los fenómenos identificados. 6. Determinación de áreas bajo influencia de peligros múltiples. 7. Identificación de la vulnerabilidad de los sistemas expuestos. 8. Evaluación de los diferentes niveles de riesgo asociado a cada tipo de fenómeno, tanto natural como antropogénico. 9. Identificación de limitantes y conflictos de los peligros con los mapas aptitud de cada sector y el uso y función actual del territorio (carencias de información, margen error). 10. Evaluar los peligros y/o riesgos para cada tipo de fenómeno en los mapas de aptitud sectoriales. 11. Delimitación de áreas sujetas a peligros y riesgos naturales y su relación con el mapa de áreas para preservar, conservar, proteger o restaurar.
Pronóstico	<ol style="list-style-type: none"> 12. Escenarios de incremento en magnitud e intensidad de los fenómenos potencialmente debido al cambio climático. 13. Identificación de capacidad y acciones de respuesta para prevención o mitigación. 14. Escenario de ascenso del nivel del mar por efecto del cambio climático.
Propuesta	<ol style="list-style-type: none"> 15. Definición de los lineamientos y estrategias ecológicas orientadas a la mitigación y prevención de riesgos.

CONSIDERACIONES SOBRE LAS ESCALAS GEOGRÁFICAS DE TRABAJO Y LAS FUENTES DE INFORMACIÓN

ELECCIÓN DE LAS ESCALAS GEOGRÁFICAS

La escala es más que una proporcionalidad entre un objeto medido en campo y su representación esquemática en un papel; ésta es la dimensión óptima de las unidades de análisis establecidas, que garantiza la conformación de entidades lo suficientemente estructuradas y complejas.⁶ Condiciona los límites físicos de las unidades espaciales, los tipos y niveles de relaciones y las condiciones de homogeneidad o heterogeneidad existentes en el paisaje.

La escala geográfica estará en correspondencia con las escalas seleccionadas para el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET). Como parte de los parámetros que se deben de considerar para definir la escala, se encuentra la extensión territorial de la entidad federativa, la existencia de información temática y los sistemas con los que se integrará la misma.

Se tendrán en cuenta también las escalas que se han utilizado en los Atlas de Riesgo que en general han manejado dos escalas principales: para zonas urbanas (ciudades y áreas metropolitanas) 1:5 000 o mayor (a más detalle), y para una representación a nivel estatal, una escala menor (menor detalle) de 1:50 000.

⁶ Es importante tener presente, que esta decisión necesariamente se refleja en la utilización de una escala cartográfica determinada.

Es importante aclarar que la cartografía base que se utiliza tiene una escala de origen, y que esta escala puede ser diferente a la de su impresión. En la actualidad con el manejo de los SIG se puede incrementar o disminuir la escala de visualización fácilmente y llevar a cabo análisis entre información de escalas diferentes, pero nunca se podrá tener mayor detalle al ampliar la información generada a una escala pequeña (de poco detalle). Es importante tener presente la escala de origen de la información, que es la que determina la precisión de los rasgos del territorio que se intentan representar.

Para el caso que nos atañe, la decisión sobre la escala espacial elegida para la evaluación de riesgos está en función de las áreas a trabajar (urbana, rural o peri-urbana), de los objetivos y alcances propuestos particularmente en el proceso de Ordenamiento Ecológico, de la información disponible, e incluso de las mismas etapas en las que se

encuentre el proceso de planeación. En la tabla 3 se presentan las escalas comerciales que se utilizan en México. Es importante mencionar que el costo de las mismas está relacionado con su nivel de representación, ya que para una misma área no es lo mismo cubrirla con una carta 1:250 000 que con cinco cartas a una escala 1:50 000.

Pensando en el nivel en que operan las relaciones que definen las variables propias del Ordenamiento Ecológico y la misma gestión del riesgo, así como la necesaria convergencia de sus actuaciones, las escalas adecuadas de trabajo van, desde las pequeñas (1:300,000 a 1:500,000 o menos), con poco detalle, en los primeros momentos del diagnóstico, hasta las medias (1:250,000 a 1:100,000) y detalladas (incluso 1:2,000 o más, en áreas urbanas) para las evaluaciones de vulnerabilidades y riesgos y el diseño de programas y proyectos específicos.

Tabla 3. Descripción de las escalas de cartografía usadas en México.

Escala de la tabla	Nombre de la carta	1 cm corresponde a	1 cm ² en la carta corresponde a	1 km real corresponde a	Dist. mínima real observable
1:1 000	mil	10 m	0.0001km ² = 0.01 ha	100 cm	0.25 m
1:5 000	5 mil	50 m	0.0025 km ² = 0.25 ha	20 cm	1.25 m
1:20 000	20 mil	200 m	0.0400 km ² = 4.00 ha	5 cm	5 m
1:50 000	50 mil	500 m	0.25 km ² = 25 ha	2 cm	12.5 m
1:200 000	200 mil	2 km	4 km ² = 400 ha	5 mm	50 m
1:250 000	250 mil	2.5 km	6.25 km ² = 625 ha	4 mm	62.5 m
1:1 000 000	millón	10 km	100 km ² = 10 000 ha	1 mm	250 m

DEFINICIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN EXISTENTES SOBRE PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGOS

La identificación de las fuentes de información a recopilar sobre riesgos y desastres, parten de definir el tipo de información requerida y desestimar datos secundarios o exceso de datos socioeconómicos, cuyas fuentes pueden ser mencionadas sin mayor detalle.

Es importante identificar fuentes documentales, para recabar testimonios personales sobre desastres pasados, signos indicadores de terreno, toponimia, etc. La información obtenida debe ser evaluada antes de ser utilizada, con el fin de verificar su calidad, actualidad y confiabilidad utilizando para esto análisis comparativos, deductivos y correlaciones. En el caso de la información socioeconómica, debe cuidarse que ésta no sea muy antigua o con grandes diferencias temporales.

Para identificar los fenómenos que afectan una zona en estudio, se debe recurrir a diferentes fuentes de información tales como fuentes bibliográficas, hemerográficas y/o comunicación verbal. La información anterior debe ser considerada como el punto de partida.

Dado los avances realizados en varios territorios de la República Mexicana se debe localizar si el territorio dispone de Atlas de Peligros y Riesgos. De no existir el atlas resulta de gran utilidad las informaciones cartográficas y los estudios existentes sobre el territorio.

La información histórica puede ser representada en mapas temáticos para tener conocimiento de los sitios que son susceptibles

de ser afectados por un fenómeno determinado; asimismo, es la base para estimar la frecuencia con que un fenómeno afecta una zona.

Las tablas 4, 5 y 6 recogen un grupo de fuentes de información para peligros (amenazas), vulnerabilidad y riesgos respectivamente, existentes en diferentes instituciones que pueden orientar a los expertos en la localización de la misma.

A continuación se presentan las recomendaciones en la adquisición de cartografía básica, topográfica y temática, para su integración en un atlas, así como los nombres de los productos y las instituciones o empresas que los producen. En la figura 9 se presenta, un esquema de los tipos de cartografía existentes en el mercado y sus escalas.

Una fuente de información y a la vez herramienta importante en el proceso de planificación territorial son los sensores remotos; porque facilitan la rápida cobertura de extensas zonas del municipio o estado, la identificación de rasgos distintivos del paisaje terrestre que con otros medios difícilmente se obtendría, además de que es más accesible realizar un análisis multitemporal del territorio (dinámicas y tendencias de cambio).

De todos los sensores, la fotografía aérea representa ventajas significativas no sólo por su fácil adquisición (costos y tecnología involucrada); mayor fidelidad, en relación con la percepción del ojo humano (menor deformación); mayor familiaridad para el planificador y por ende de más fácil lectura;

Tabla 4. Fuentes de información para peligros.

Institución	Ambito	Variable	Producto a obtener
CRISP/INSP	Nacional-Regional	Atlas de Peligros	Peligro de inundaciones, deslizamientos, calor extremo, viento extremo y sísmico.
INEGI/UNAM	Nacional-Regional	Topografía-Hidrología Clima Suelos Geomorfología Vegetación	Unidades de paisaje. Caracterización y zonificación de amenazas naturales (geomorfológicas, hidroclimatológicas).
Servicio Sismológico Nacional	Nacional-Regional	Geología Litología Estudios sísmicos (micro y macro)	Unidades geológicas. Caracterización y zonificación de amenazas naturales (geológicas, volcánicas, tsunamis, geomorfológicas).
INEGI/UNAM	Nacional	Clima-Hidrología Geomorfología	Unidades climáticas. Caracterización y zonificación de amenazas naturales (geomorfológicas, hidroclimatológicas).
INEGI	Nacional	Población	Ocupación en áreas susceptibles a amenazas.
SEDESOL/CENAPRED	Nacional	Amenazas. Localización de fuentes potencialmente amenazantes	Historicidad de eventos. Ocupación en áreas susceptibles a amenazas naturales y tecnológicas.
CENAPRED/UNAM	Regional	Localización de actividades potencialmente amenazantes.	Ocupación en áreas susceptibles a amenazas. Caracterización y zonificación de amenazas naturales y tecnológicas.
CENAPRED/UNAM	Regional	Estudios temáticos sobre fenómenos naturales potencialmente amenazantes	Historicidad de eventos. Comportamiento de fenómenos amenazantes. Caracterización y zonificación de amenazas naturales.
Universidades, institutos, centros y grupos de investigación	Regional- Local	Estudios temáticos sobre fenómenos naturales potencialmente amenazantes	Historicidad de eventos. Comportamiento de fenómenos amenazantes. Ocupación en áreas susceptibles a amenazas. Caracterización y zonificación de amenazas naturales y tecnológicas
Universidades, institutos, centros y grupos de investigación	Local	Estudios temáticos sobre fenómenos naturales potencialmente amenazantes	Ocupación en áreas susceptibles a amenazas. Caracterización y zonificación de amenazas naturales y tecnológicas

Tabla 5. Fuentes de información para vulnerabilidad.

Institución	Ambito	Variable	Producto a obtener
CRISP / INSP	Regional - local	Índice de vulnerabilidad social, demográfica, salud, capacidad de respuesta.	Niveles de exposición a peligros.
INEGI	Nacional - Regional	Uso y cobertura. Actividades productivas. Localización de infraestructura vital y crítica.	Ocupación en áreas de peligro. Valoración de vulnerabilidades.
INEGI	Nacional - Local	Población.	Exposición a peligros.
INEGI	Local	Características de la vivienda.	Valoración de Vulnerabilidad.
INEGI	Regional	Localización de infraestructura vital y crítica. Estado de vulnerabilidad de infraestructura vital, crítica, productiva y de viviendas.	Niveles de exposición.
Cruz Roja Bomberos	Regional - Local	Niveles de preparación de comunidades. Capacidad de respuesta institucional.	Caracterización y valoración de vulnerabilidades
Defensa Civil. Policía Nacional	Local	Niveles de preparación de comunidades. Capacidad de respuesta institucional.	Caracterización y valoración de vulnerabilidades.
Gobiernos Municipales y Regionales	Local	Asentamientos subnormales. Dinámica poblacional y urbana	Caracterización y valoración de vulnerabilidades
Universidades, institutos, centros y grupos de investigación	Regional - Local	Estudios temáticos sobre factores y niveles de vulnerabilidad de la infraestructura y las estructuras socio-culturales	Caracterización y valoración de vulnerabilidades

sino también, porque permite la visión este-reoscópica del terreno, situación que favorece la interpretación de las formas terrestres y la identificación de los procesos asociados a esas formas.

De menor difusión y en ocasiones de mayores costos, principalmente en función de la resolución espacial del sensor, las imágenes de radar y de satélite presentan utilidades complementarias a la de la fotografía.

El radar es un sensor activo (que produce su propia señal para captar las imágenes), cuya mayor aplicación está en la identificación de características geológicas y geomorfológicas, en especial en áreas de montaña media (en las áreas de montañas altas, la generación de sombras impide la lectura del relieve, en las ausentes de montaña, su utilización está más vinculada a la identificación de minerales).

Tabla 6. Fuentes de información para riesgos.

Institución	Ambito	Variable	Producto a obtener
CRISP - INSP	Regional-local	Calculo de riesgo de inundaciones.	Zonificación de riesgos en inundaciones.
INEGI	Nacional-Regional	Riesgos naturales.	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos naturales (geomorfológicas, hidroclimatológicas).
Servicio Sismológico Nacional	Nacional-Regional	Riesgo sísmico.	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos geológicos, volcánicos y tsunamis.
SEDESOL/ CENAPRED	Nacional	Riesgo por inundaciones, sequías y remoción en masa.	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos naturales (geomorfológicas, hidroclimatológicas).
SEDESOL/ CENAPRED	Nacional	Estudios temáticos sobre riesgos.	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos naturales y tecnológicos.
CENAPRED/ UNAM	Regional	Estudios temáticos sobre riesgos.	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos naturales y tecnológicos.
Cruz Roja	Regional- Local	Estructura organizativa de comunidades. Capacidad de respuesta ante eventos.	Caracterización y valoración de riesgos naturales y tecnológicos.
Defensa Civil. Bomberos	Local	Capacidad histórica y actual de respuesta ante eventos.	Caracterización y valoración de riesgos naturales y tecnológicos.
Universidades. Institutos, centros y grupos de investigación	Regional- Local	Estudios temáticos sobre riesgos.	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos naturales y tecnológicos.
Universidades. Institutos, centros y grupos de investigación	Local	Estudios temáticos sobre riesgos	Caracterización, valoración y zonificación de riesgos naturales y tecnológicos

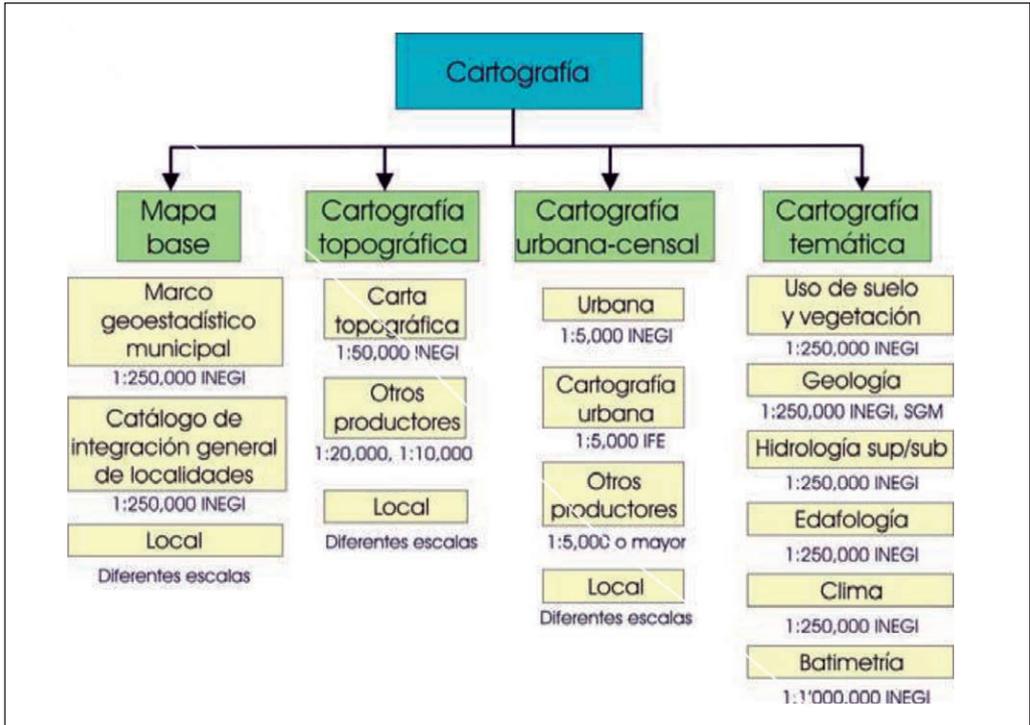


Figura 9. Tipos de cartografía, escalas e instituciones productoras (tomado de CENAPRED, 2006).

Las imágenes de satélite (Landsat mss⁷, Landsat TM⁸ y SPOT⁹), trabajan, al igual que la fotografía aérea, captando la luz solar reflejada; éstas tienen diversas utilidades para la zonificación de amenazas, de acuerdo a la banda del espectro electromagnético en la que se trabaje; sin embargo, una de las mayores ventajas es la posibilidad de realizar el análisis multispectral y multitemporal del territorio.

Las tablas 7 y 8 relacionan las principales aplicaciones de las imágenes de radar y de satélite, en la evaluación de los peligros naturales.

La dificultad, tanto en el caso de las imágenes de radar como de satélite, está dado por la necesidad de disponer de la plataforma tecnológica y el capital humano requerido para poder utilizarlas adecuadamente y lograr su máximo aprovechamiento.

⁷ El barredor electrónico multispectral (mss), proporcionó las primeras imágenes desde el espacio en cuatro bandas del espectro

⁸ El Mapeador temático (TM), fue introducido con el Landsat 4 en 1982 con siete bandas espectrales, seis de ellas con 30 m. de resolución y una en el rango térmico del Infrarrojo (IR), con resolución de 120 m.

⁹ Systeme probatoire l'observation de la terre.

Tabla 7. Aplicación de las imágenes de radar en la evaluación de peligros naturales.

	P. Geológicos	P. Volcánicos	P. Geomorfológicos	P. Hidroclimatológicos
Información a obtener.	Mapas geológicos. Presencia de fallas plegamientos y lineamientos tectónicos.	Áreas de mayor actividad térmica.	Localización de depósitos no consolidados en zonas de falla, áreas de posible deslizamiento. Nivel de humedad del suelo. Registros históricos	Mapas de identificación de llanuras inundables. Registro de eventos históricos. Nivel de humedad del suelo. Dinámica histórica (paleocacuces, terrazas antiguas, etc.).
Frecuencia de observación	1 a 5 años	1 a 5 años	Anual	Anual

Tabla 8. Aplicación de las imágenes de satélite en la evaluación de peligros naturales.

Fuente: Adaptado de Richards (1986).

	P. Geológicos	P. Volcánicos	P. Geomorfológicos	P. Hidroclimatológicos
Información a obtener	Mapas geológicos. Mapas de uso del suelo. Presencia de fallas plegamientos y lineamientos tectónicos	Mapas de áreas vulnerables a flujos de lava. Caídas de cenizas, derrubios e incendios	Mapas de pendientes. Estabilidad de pendientes. Tipos de suelos. Mapas de uso del suelo. Nivel de humedad del suelo. Registro de eventos históricos. Áreas de embalse de agua.	Mapas de identificación de llanuras inundables. Clasificación de uso del suelo. Registro de eventos históricos. Cobertura y humedad del suelo.
Banda espectral	Visible e IR cercano	Visible, IR cercano e IR térmico	Visible	IR cercano, IR térmico y microondas
Resolución espacial	20-80 m.	30-80 m.	10-30 m.	20 m. para elementos culturales. 30-80 m. para uso del suelo. 1 km. para humedad del suelo
Área de cobertura	Área grande	Área larga	Área larga	Área regional grande
Capacidad en todo clima	No	No	No	No
Frecuencia de observación	1 a 5 años	1 a 5 años	1 a 5 años	Anual

ETAPAS TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LA DIMENSIÓN DEL RIESGO EN EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

IDENTIFICACIÓN DE LOS FENÓMENOS NATURALES PELIGROSOS QUE AFECTAN EL TERRITORIO Y QUE POR SU INTENSIDAD, MAGNITUD E INFLUENCIA DEBEN SER CONSIDERADOS EN EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

El riesgo depende de las condiciones específicas (tanto naturales como sociales, económicas y culturales) de un sitio en particular, según su ubicación geográfica, y de los fenómenos que pueden manifestarse con mayor o menor intensidad. Asimismo, las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas expuestos de una región condicionan los niveles de riesgo a que está sometida. Por ello el primer paso durante la fase de caracterización es la identificación de los fenómenos que han afectado y podrán afectar el área geográfica que se está ordenando.

Teniendo en cuenta los criterios teóricos sobre la estructura y dinámica de nuestro planeta, y a partir del Atlas de Riesgos de la República de México (Hernández Santana *et al.*, 1991) se establecieron una clasificación genético-espacial de los peligros y riesgos, atendiendo a la esfera geográfica donde se originan y desarrollan, como resultado de la ruptura gradual o súbita de los umbrales críticos del equilibrio inter e intrageosférico en peligros y riesgos litosféricos, atmosféricos, hidrosféricos, biosféricos, noosféricos (antrópicos), de dinámica retardada y combinados. Dentro de cada grupo genético-espacial se ubican los diferentes peligros:

- I) **Litosféricos:** Sismicidad, vulcanismo, maremotos o tsunamis, aludes, deslizamientos, derrumbes;
- II) **Atmosféricos:** Eventos meteorológicos extremos (huracanes, ciclones y tornados), sequías, tormentas de granizo y nevadas, tormentas de arena;
- III) **Hidrosféricos:** Inundaciones (fluviales, fluvionivales y torrentes de fango), penetraciones marinas y oleajes tempestuosos;
- IV) **Biosféricos:** Epidemias, epizootias, epifitias;
- V) **Noosféricos (Antrópicos y tecnológicos):** Deforestación; incendios forestales; erosión del suelo; salinización del suelo; hídricos (trasvases, extractivos, roturas de embalses); contaminación del medio ambiente, incendios urbanos e industriales; químicos (derrames de hidrocarburos y sustancias tóxicas); accidentes mineros; accidentes terrestres, aéreos, marítimos y fluviales; explosiones;
- VI) **Peligros y Riesgos de Dinámica Retardada:** Subsistencia sostenida de la corteza terrestre, cambios climáticos globales y regionales (ciclicidad anómala de las precipitaciones, debilitamiento de la capa de ozono, ascenso del nivel medio del océano mundial, fenómeno oceánico-atmosférico El Niño-Oscilación del Sur - ENOS); desertificación, afectaciones de la geo y biodiversidad, retrocesos de la costa, expansión de humedales;
- VII) **Peligros Combinados:** *e.g.* Terremoto - rotura de presa - inundaciones; erupción volcánica - deshielo de montaña - torrente de fango; maremoto - inundación fluvial; otros de la gama posible (histórica y potencial del territorio) –

inundación y distribución de patógenos, vectores o reservorios.

En México, el Sistema Nacional de Protección Civil reconoce, de acuerdo con su origen, los siguientes agentes perturbadores:

- Fenómenos geológicos (sismicidad, volcanes, movimientos de laderas).
- Fenómenos hidrometeorológicos (ciclones tropicales, sequías, tornados, inundaciones, lluvias intensas).
- Fenómenos químicos (accidentes con sustancias químicas, sitios contaminados, incendios forestales).
- Fenómenos sanitario-ambientales (epidemias, epizootias, epifitias).
- Fenómenos Socio-organizativos.

Para las necesidades del Ordenamiento Ecológico hemos definido como fenómenos y peligros a considerar de los anteriores mencionados solamente a aquellos que tienen las siguientes características:

- Peligros de los tipos geológicos e hidrometeorológicos por su relación directa con el cambio global.
- Peligros que tienen una ocurrencia y/o distribución significativa en México.
- Peligros que pueden influir en la definición de funciones y usos del territorio propuestos y por tanto en las propuestas de Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET).

Como resultado de este apartado se llega a determinar en el territorio si en alguno de sus espacios están creadas las condiciones naturales o inducidas, susceptibles a la ocurrencia de alguno de los fenómenos peligrosos, independientemente de su probabilidad e intensidad.

En las figuras 10 y 11 se muestran los fenómenos y peligros que se propone conside-

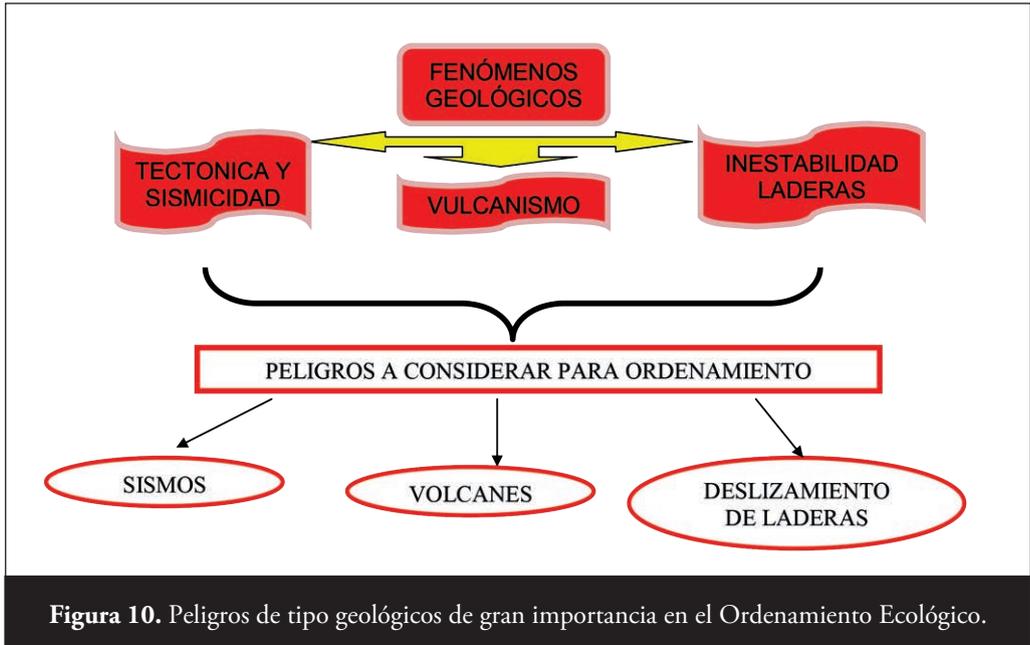


Figura 10. Peligros de tipo geológicos de gran importancia en el Ordenamiento Ecológico.

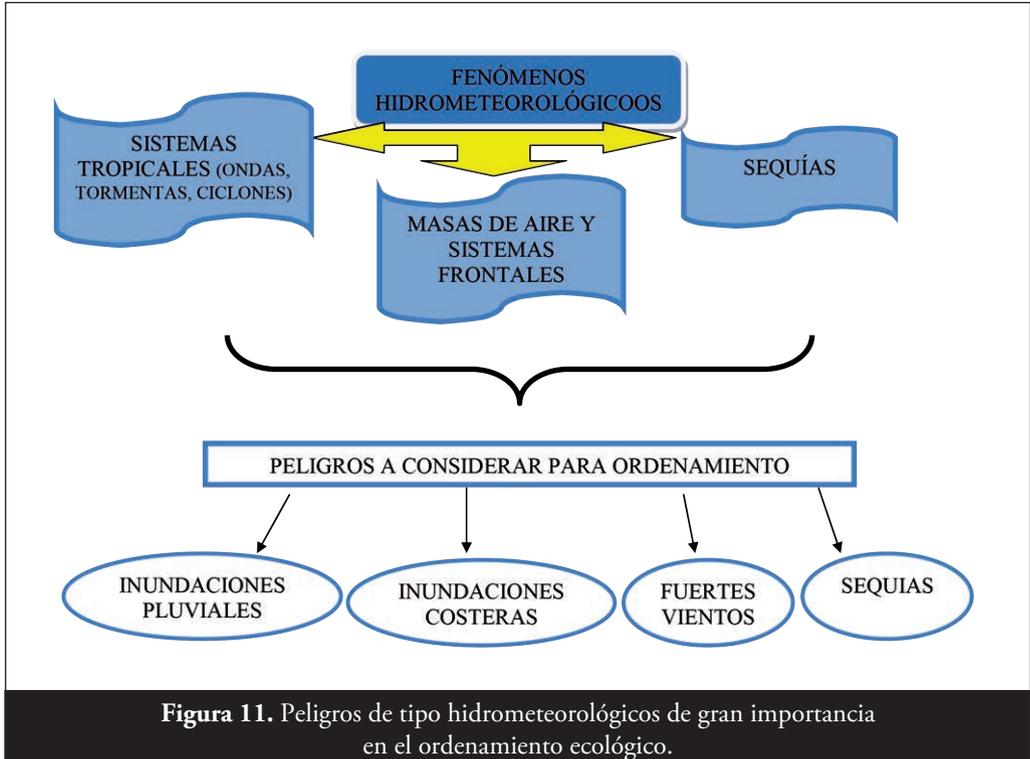


Figura 11. Peligros de tipo hidrometeorológicos de gran importancia en el ordenamiento ecológico.

rar como regla general para México, aunque pudiera existir para algunas áreas muy específicas algún peligro no considerado aquí que tuviera una manifestación local.

Resulta evidente, que no todos los fenómenos identificados tienen una repercusión en la planificación ambiental, porque su manifestación no tenga una consecuencia aguda en el territorio (*e.g.* zonas donde los ciclones tropicales llegan muy debilitados y por tanto las inundaciones y los vientos resultan insignificantes o de poca repercusión para el Ordenamiento Ecológico). Es importante señalar que como resultado de la ocurrencia de los peligros geológicos se pueden presentar cambios en las comunidades de fauna y en sus interacciones, lo que puede provocar desequilibrios poblacionales que originen brotes de plagas y enfermedades. Además, los peligros originados por fenómenos hidrometeorológicos pueden favorecer la distribución de patógenos, vectores y reservorios que implican un peligro para la salud humana y de los sistemas productivos.

Este apartado constituye un punto medular del proceso, pues evita en fases posteriores gastar esfuerzos en realizar evaluaciones que no influirán particularmente en la redacción de los lineamientos y estrategias del POET.

En este momento, resulta de vital importancia que cada uno de los sectores incluidos en el proceso de Ordenamiento Ecológico, identifiquen los posibles fenómenos que los afectan o limitan en el desarrollo de las actividades que realizan o pretenden realizar. La determinación final se decidirá como resultado de los talleres sectoriales que se realicen y siguiendo los propios métodos sugeridos en el Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico. Es muy importante favorecer la integración del conocimiento local y tradicional, cuando este exista, en los resultados de los talleres desde la fase de caracterización, ya que en muchas ocasiones desde ese tipo de conocimiento se pueden plantear las medidas para atenuar el riesgo al disminuir la vulnerabilidad.

Como producto esperado debe elaborarse el informe con la descripción de los peligros que afectan el territorio objeto del Ordenamiento Ecológico y la definición de aquellos que por su forma de manifestación, probabilidad e intensidad, se convierten en un elemento imprescindible a considerar para el Ordenamiento Ecológico, incluyendo la definición de las actividades y sectores que se ven afectados y la magnitud a partir de las experiencias existentes.

DETERMINACIÓN Y ELABORACIÓN DE MAPAS DE PELIGRO ASOCIADOS A LOS FENÓMENOS NATURALES IDENTIFICADOS

Una vez identificados los fenómenos que pueden afectar una zona en estudio y aquellos que deben ser incorporados a los Ordenamientos Ecológicos, se procede a la eva-

luación del peligro, que consiste en obtener una descripción probabilística de la posible ocurrencia de dichos eventos perturbadores con distintas intensidades.

Se denomina susceptibilidad a desastre a un probable evento extraordinario o extremo, de origen natural o tecnológico, particularmente nocivo, que puede producirse en un momento y lugar determinado y que con una magnitud, intensidad, frecuencia y duración dada, puede afectar desfavorablemente la vida humana, la economía o las actividades de la sociedad, al extremo de provocar un desastre.

Cuando se realiza el cálculo del peligro se está dando respuestas en términos probabilísticos a las preguntas: ¿Dónde, cómo y cuándo ocurrirá el evento?

Para responder a la pregunta dónde, es necesario caracterizar el lugar que es susceptible de ser afectado, o sea caracterizar el entorno donde las condiciones del medio están creadas, o facilitan la ocurrencia del evento dañino, los mapas obtenidos en este caso son los mapas de susceptibilidad del medio al peligro o mapas de escenario de peligro.

A la pregunta cómo, responden los valores de intensidad o severidad que se pudieran esperar de ocurrir el evento, para cada periodo de recurrencia o frecuencia y en cada lugar de los resaltados en el escenario de peligro. Esto deberá calcularse para cada medida de la intensidad que sea significativa según el tipo de sistema y los modos de falla o daño que se deban incluir en el análisis de riesgo.

En lo que se refiere a las medidas de intensidad, éstas son propias de cada fenómeno y están relacionadas con los parámetros con los que se evalúa la vulnerabilidad. Por ejemplo, en el caso del fenómeno sísmico, una medida de intensidad puede ser la aceleración máxima del suelo; para un huracán la velocidad del viento; para inundación el tirante acumulado de la precipitación; para

una explosión química la energía liberada, etc.

A la pregunta cuándo, se responde con la frecuencia de ocurrencia del evento o su periodo de recurrencia, cuantos eventos de una determinada intensidad pueden repetirse en un transcurso de tiempo, calculados a partir de la estadística de datos históricos.

Dos medidas clásicas asociadas al peligro son el periodo de retorno o bien, la tasa de excedencia. La tasa de excedencia es el número de eventos por unidad de tiempo (generalmente por año) que sobrepasan un cierto nivel de intensidad; el periodo de retorno es el inverso de la tasa de excedencia y se define como el lapso que, en promedio, hay que esperar para que ocurra un evento con intensidad superior a una especificada.

Como productos esperados se tendrán los mapas de peligro por fenómeno, que representan la distribución de los fenómenos perturbadores de origen natural o antropogénico, basados en datos probabilísticos y/o estadísticos que conducen a la determinación de un nivel cuantitativo de la intensidad de algún fenómeno perturbador que existe en un lugar determinado.

Los estudios pueden realizarse a distintas escalas y se basan principalmente en información obtenida del monitoreo, trabajo en campo, experimentación y su posterior análisis y modelación.

Centros de investigación y diversas instituciones han elaborado mapas de peligro a nivel nacional, generalmente a escalas menores.

A continuación se exponen los pasos que se proponen para la identificación de los diferentes tipos de peligros.

PELIGRO SÍSMICO

La sismicidad es uno de los fenómenos emanados de la dinámica interna de la Tierra que ha estado vigente en la historia geológica de nuestro planeta, y que indudablemente continuará presentándose de manera análoga a lo observado en el pasado.

Sin embargo, los sismos se presentan en territorios bien concretos a nivel regional y se pueden hacer estimaciones de las magnitudes máximas, en función de los antecedentes históricos y estudios geofísicos.

Las principales características de los sismos son:

- Son fenómenos relativamente raros, aún en las zonas de elevado riesgo sísmico, y con irregulares intervalos de tiempo entre eventos.
- No se originan en una simple fluctuación extrema de condiciones ambientales normales, como es el caso de las tormentas de granizo, las sequías, los tornados o los incendios naturales.
- El daño producido por un sismo conmociona en forma general, pero afecta directamente en forma aleatoria. Esto es, mientras muchos productores se ven afectados por una gran tormenta de granizo o una inundación, se presentan variaciones locales significativas en los daños sísmicos derivados de las propias diferencias en las construcciones y de las condiciones locales de los suelos.
- Los sismos, y especialmente los locales, tienen un tiempo muy corto de inicio y de duración, lo cual hace casi imposible cualquier tipo de alerta.
- Los sismos son impredecibles y hasta la actualidad no existe un procedimiento confiable que establezca con exactitud

la fecha y el lugar de su ocurrencia, así como el tamaño del evento.

Es importante que se tenga presente que nunca un movimiento sísmico se presenta de forma aislada, siempre se presentan réplicas (eventos de menor magnitud), que dependiendo de la magnitud del evento principal, puede ser durante horas, días o semanas después; a mayor magnitud, mayor número de réplicas. Muchas veces se presentan más daños durante las réplicas que en el evento principal, por cuanto el nivel de daño de las infraestructuras las hace más vulnerables y la confusión y el miedo de la población genera mayor caos que propicia que se magnifique la intensidad de estos eventos secundarios.

En México, se conjugan los movimientos de cinco placas tectónicas: la de Norteamérica, Cocos, Rivera, Caribe y Pacífico y que se asocian al Cinturón Circumpacífico, y como consecuencia de ello en el territorio nacional se presentan zonas de alta sismicidad.

Los tipos de movimientos más comunes que originan los sismos son de interplaca e intraplaca. Los primeros se producen a lo largo de la franja costera de Jalisco hasta Chiapas, subduciendo las placas de Rivera y Cocos por debajo de la Norteamericana. Entre la placa del Pacífico y la de Norteamérica también se tiene un desplazamiento, pero en este caso es lateral, y se verifica en la parte norte de la península de Baja California y a lo largo del estado de California en EUA. Los segundos son los que se generan en la parte interna de las placas, lejos de sus bordes, en ocasiones han producido sismos en zonas que se han considerado asísmicas (CENAPRED, 2000).

Para investigar los niveles de peligro sísmico se debe disponer de un procedimiento

relativamente complejo que envuelve, entre otros componentes, la información de catálogos sísmicos con magnitudes y localizaciones epicentrales confiables y un conocimiento desarrollado de la tectónica que identifica a las diferentes regiones consideradas. Asimismo, la información geológica es de gran relevancia en tanto que permitirá tener conocimientos acerca de fallas sismogénicas y, particularmente, aportará datos sobre aspectos superficiales en el caso de valles aluviales.

En México se tiene que recurrir a procedimientos probabilísticos, dado que no se cuenta con un catálogo sísmico que cubra periodos suficientemente largos para determinar directamente los periodos de recurrencia característicos de las diferentes zonas sismogénicas.

Según Gutierrez *et al.* (2006), el procedimiento para la estimación del peligro sísmico implica el análisis de la sismicidad local, lo que implica dividir el territorio nacional en varios volúmenes nombrados fuentes generadoras, para las cuales se supone una tasa constante de generación de temblores.

Posteriormente, se determinan los efectos que son producidos por cada una de ellas en un sitio dado, en términos de intensidad sísmica instrumental. Para ello se desarrollan leyes de atenuación, las cuales relacionan la magnitud, la posición de la fuente con relación a un sitio dado y la intensidad producida. Dichas leyes asumen el principio de que, en la medida que aumenta la distancia a partir de la fuente, la intensidad disminuye.

De manera formal, el peligro sísmico se describe mediante indicadores cuantitativos de las probabilidades de ocurrencia de movimientos de distintas intensidades durante lapsos dados (UNAM, 2003).

Para evaluar el peligro sísmico se requiere de la elaboración de mapas que permiten visualizar los daños y efectos a nivel regional. Un primer mapa es el de intensidades sísmicas. Estos mapas representan líneas (isosistas) que separan zonas con distintos grados de intensidad.

Básicamente hay dos clases de estos mapas, los que sólo representan un evento en particular o los mapas de intensidades históricas donde se sobrepone el mayor número de mapas de intensidades sísmicas que estén disponibles en el país. Con frecuencia se elaboran considerando información de sismos de magnitud Richter 7 o mayor.

Otro mapa de peligro sísmico es el de período de retorno de aceleraciones del terreno que representa de manera cuantitativa el peligro y se basa en el cálculo de aceleraciones máximas posibles del terreno. En el caso de México se producen daños y efectos significativos, sobre todo por las características predominantes en la construcción a partir del 15% del valor de la aceleración de la gravedad. Existe un mapa a nivel nacional con las distintas regiones y el número de años promedio que puede tardar en repetirse una aceleración del terreno de al menos 15% del valor de la aceleración de la gravedad. Este valor indica el nivel de intensidad del movimiento del terreno a partir del cual pueden esperarse efectos y daños de importancia en el terreno natural o en las construcciones. La escala temporal está estimada para periodos de 10 a 100 000 años (CENAPRED, 2000).

Con los registros históricos de grandes sismos, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno de sismos de gran magnitud se crea el mapa de regionalización sísmica. Este mapa es de gran valor para cla-

sificar los terrenos con objeto de definir los reglamentos de construcción que sean seguras ante los efectos derivados de un sismo. El país (figura 12) y algunas de las ciudades más importantes ya cuentan con mapas de regionalización sísmica.

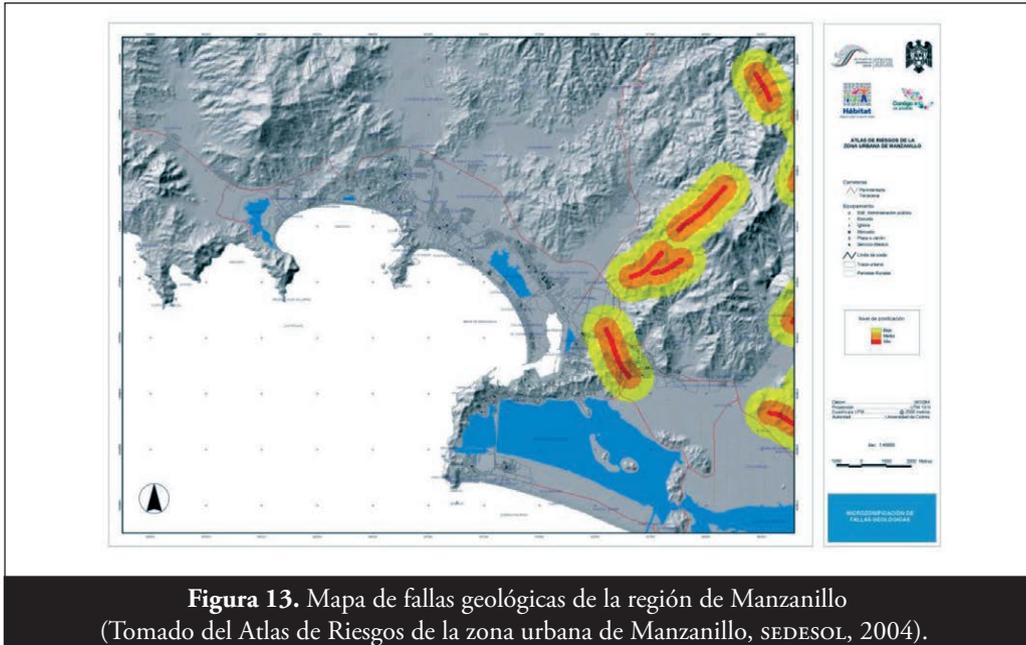
En los mapas de sismicidad también se representan otros fenómenos asociados como son la licuación o licuefacción (pérdida de la capacidad de carga de materiales no consolidados saturados de agua debido a la vibración producida por un sismo) que puede generar hundimientos y colapsos; movimientos de masa y fallas geológicas superficiales. Estos fenómenos son objeto de análisis locales y regionales.

Resulta, a los fines del ordenamiento de vital importancia, la determinación del peligro potencial sísmico. Éste referido a un lugar determinado, es la probabilidad de que, en algún lugar de su entorno y dentro de un intervalo de tiempo determinado, ocurra un

sismo que produzca un efecto determinado en ese lugar (comúnmente, una aceleración dada). Usualmente no se toman en cuenta, para el cálculo del peligro potencial sísmico, los posibles efectos de amplificación local, directividad, etc., que puedan modificar los efectos esperados en un terreno estándar. Así, el peligro potencial sísmico será muy grande en un lugar rodeado de fallas activas, o muy cercano a ellas y muy pequeño en los lugares lejanos de regiones sismogénicas, independientemente de que éstos se hallen habitados o no. Para los Ordenamientos Ecológicos regionales y sobre todo en los municipales esto se convierte en una necesidad importante. Por ejemplo en la figura 13 presentamos el mapa de fallas geológicas de la región de Manzanillo que permite, independientemente de la regionalización sísmica, precisar las zonas donde el peligro puede tener una manifestación de mayor intensidad.



Figura 12. Zonificación sísmica de México (CFE-PSM, 1996)



Por lo tanto son claves esenciales para la evaluación del peligro potencial sísmico la correcta evaluación de la probabilidad de ocurrencia de sismos en las posibles fuentes situadas alrededor de un lugar determinado; lo cual requiere, naturalmente, poderlas identificar como tales.

Entre algunas de las informaciones a considerar para elaborar un mapa de peligro sísmico son:

- Catálogo de terremotos.
- Mapas epicentrales con magnitudes y profundidades de los eventos sísmicos.
- Mapas de isosistas de los terremotos más significativos.
- Gráficos de la relación entre las cantidades de terremotos y los rangos de magnitudes en el tiempo.
- Cantidades de sismos perceptibles por décadas y de sismos fuertes y destructivos.
- Mapas de peligrosidad sísmica para diferentes valores de Intensidad sísmica, utilizando como indicador los períodos de recurrencia en años.
- Mapa de zonas sismogeneradoras.
- Mapa morfotectónico y sismotectónico regional y por localidades.
- Mapa de regionalización morfoestructural (unidades territoriales, zonas de alineamientos y nudos morfoestructurales sismoactivos)

En cualquier caso, a los fines del Ordenamiento Ecológico, deberá elaborarse un mapa con la diferenciación del peligro sísmico, que permita identificar posteriormente a nivel de unidades de gestión ambiental cuales son las limitantes que se tienen.

Existen diversas metodologías y fuentes para elaborar los mapas de peligro sísmicos y entre ellas recomendamos que puedan ser consultadas las siguientes:

018. Carlos A. Gutiérrez M., Andrés Ramírez y Ana Belem Reyes (2006): Integración de información para la estimación del peligro sísmico. En: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Geológicos. p 13-121.

019. Centro Nacional de Prevención de Desastres. “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre”. Secretaría de Gobernación. 2001.

020. Esteva, L., “Seismicity”, Capítulo 6 de Seismic Risk and Engineering Decisions, editado por C.Lomnitz y E. Rosenblueth, Elsevier, 1976.

021. CFE-PSM “Mapas de peligro sísmico en México”, Programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F., 1996.

022. UNAM, Instituto de Ingeniería. “Guía metodológica para el análisis del peligro, vulnerabilidad, riesgo y pérdidas causadas por desastres naturales o antropogénicos y su reducción y prevención. UNAM; 2003.

023. Cees van Westen Siefko Slob, Lorena Montoya de Horn, Luc Boerboom Ruben Vargas: Aplicación de SIG para la evaluación de la amenaza sísmica y el riesgo asociado: Kathmandu, Nepal. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC, The Netherlands.

024. Zaradnik, R. Consideraciones generales del riesgo sísmico y plan estratégico para enfrentarlo. En: www.monografias.com

025. COSUDE - ALARN (2002): Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua. Guía para el especialista. Proyecto: Apoyo Local para el Análisis y

manejo de los Riesgos Naturales (ALARN). Managua, Nicaragua.

PELIGRO VOLCÁNICO

En México es muy frecuente que ciudades y actividades antrópicas diversas estén localizadas en radios de cobertura de posibles explosiones volcánicas; los casos del Ajusco, en el D.F., la ciudad de Colima, con el volcán que lleva el mismo nombre, los poblados de San Juan Nuevo Parangaricutiro y Angahuan con el Paricutín y varias ciudades del estado de México, con el Popocatepetl, son algunos de los ejemplos más significativos. Ello evidencia la importancia de este tipo de evaluación para el país.

La mayor parte del vulcanismo en México está asociado a la zona de subducción producida por la convergencia de las placas de Rivera y Cocos, que se deslizan por debajo de la Placa Norteamericana y generan la Faja Volcánica Mexicana (FVM), máxima expresión de esta dinámica. La FVM consiste en una elevación volcánica con orientación este-oeste que se extiende más de 1 200 km. y cuyo ancho varía de 20 a 150 km. La zona localizada alrededor del paralelo 19° norte, contiene la mayoría de los principales volcanes activos del país, mas no a todos. Su vulcanismo es extremadamente variado e incluye desde manifestaciones efusivas cuyos productos más importantes son los derrames de lava, hasta erupciones altamente explosivas con predominio de depósitos piroclásticos tanto de flujo como de caída. Esta faja se caracteriza también por la diversidad de volcanes: desde grandes estratovolcanes hasta extensos campos de pequeños conos de escoria y ceniza, incluyendo volcanes de escudo.

Estas amenazas entonces, están vinculadas directamente al tipo de volcán que define el carácter de la erupción e indirectamente al hecho de que sea un volcán nevado o no. Los peligros, de distinto tipo según la naturaleza del volcán, incluyen flujos de lava, suelo y lodo; lluvia de cenizas y proyectiles y gases tóxicos. Como la predicción del comportamiento de los volcanes es relativamente limitada y aún incierta, la mejor y más fuerte evidencia que se tiene de su comportamiento (frecuencia, magnitud, intensidad), es el registro histórico de sus erupciones.

La lava según su composición, se clasifica en basáltica,¹⁰ andesítica¹¹ y granítica¹²; la viscosidad de ellas es baja, intermedia y alta, respectivamente. Los magmas basálticos son muy fluidos y permiten que los gases en expansión fluyan fácilmente hacia arriba, sin causar explosiones ni graves daños; en los graníticos, por su alta viscosidad, los gases migran con mucha dificultad hacia la superficie, quedando atrapados grandes bolsones de gas que propician fuertes y a veces letales series de explosiones; los andesíticos se sitúan entre uno y otro, y dependiendo del índice de viscosidad su comportamiento se asemejará más a aquel que bota vistosas pero inofensivas fumarolas o al que, a pesar de pasar más inadvertido, explota violentamente.

En México sucede también que algunos de ellos estén vinculados con casquetes gla-

ciars, allí se pueden presentar complejas situaciones que rebasan el análisis volcánico mismo, tal como lo demostró tristemente, para el caso Colombiano, lo ocurrido en la población de Armero en el año de 1985, en donde una avalancha dejó un saldo trágico de por lo menos 20 000 muertes.

A los fines de la metodología para determinar el peligro volcánico consideramos que resulta de consulta obligada la propuesta de Martínez Bringas, Gómez Vásquez y de la Cruz (2006), que aparece en la Serie de Fenómenos Geológicos de la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos del CENAPRED. A continuación hacemos una síntesis de los elementos fundamentales contenidos en la Sección 2.5 del Capítulo 2 sobre peligro volcánico, que a nuestro juicio constituye el principal referente existente en México para evaluar el peligro Volcánico.

El peligro o amenaza volcánica alrededor de un volcán puede representarse de varias formas. La más utilizada se basa en el principio de que un volcán activo es capaz de repetir o exceder lo que ha hecho en el pasado. Igualmente, es importante diferenciar entre un “evento posible” y un “evento probable”, puesto que el primero se refiere a un fenómeno que puede suceder, mientras que el segundo se refiere a un fenómeno esperado debido a que existen razones o argumentos

¹⁰ El magma basáltico tiene una baja viscosidad, un contenido en sílice de aproximadamente 50%, una baja tendencia a formar materiales piroclásticos y generalmente forman volcanes en escudo.

¹¹ Este tipo de magma, de viscosidad intermedia, tiene un porcentaje de contenido en sílice de aproximadamente 60%, una mediana tendencia a formar elementos piroclásticos y generalmente forman conos compuestos.

¹² Con alta viscosidad, un porcentaje de contenido en sílice de 70% y más, una alta tendencia a formar materiales piroclásticos y pueden formar domos volcánicos y coladas piroclásticas.

técnico-científicos para creer que ocurrirá o se verificará en un tiempo determinado.

Por otra parte, es común en la literatura técnica utilizar el concepto de “periodo de retorno” o intervalo de recurrencia de un evento, que corresponde al tiempo “promedio” entre eventos con características similares en una región. La mayoría de los volcanes entran en erupción en intervalos de tiempo irregulares. El tiempo transcurrido entre dos erupciones se conoce como tiempo de reposo y el tiempo de erupción corresponde a la duración de la misma.

Un primer paso en la evaluación del peligro, consiste en la estimación de la probabilidad de que ocurra alguna erupción o manifestación específica de magnitud suficiente para ser potencialmente destructiva, en un intervalo de tiempo determinado. Para ello se utilizan dos parámetros fundamentales. Uno es el Índice de Explosividad Volcánica VEI, que representa una medida de la energía total que libera una erupción y de la tasa a la que libera esa energía. El otro es la tasa eruptiva, esto es la tasa media a la que han ocurrido erupciones de cierta magnitud o rango de magnitudes en el tiempo $\lambda(\text{VEI})$. El inverso de este parámetro es el tiempo medio de recurrencia para ese tipo de erupciones $\tau(\text{VEI}) = 1/\lambda(\text{VEI})$.

En términos generales, existe una cierta correlación entre el VEI y el potencial destructivo que puede tener una erupción. Esta correlación no es muy precisa, ya que en ocasiones erupciones con valores VEI bajos o moderados pueden resultar muy dañinas. Sin embargo, las erupciones con VEI altos tienden a ser siempre destructivas para el entorno de los volcanes que las originan.

Al clasificar las erupciones por su tamaño o magnitud, se tiene que los patrones de ocurrencia de erupciones de un volcán pueden ser descritos por distribuciones estadísticas utilizadas para describir procesos estocásticos definidos como eventos que ocurren en el tiempo y que satisfacen una serie de condiciones básicas:

- Los eventos ocurren secuencialmente a lo largo del tiempo. Si se utilizan intervalos de tiempo de duración adecuada, pueden obtenerse los resultados excluyentes: en un intervalo de tiempo dado, ocurre o no ocurre una erupción.
- La probabilidad de ocurrencia de un evento es constante.
- Cada evento es estadísticamente independiente.

En el estudio de la peligrosidad volcánica se ha tenido la necesidad de dividir a cada una de las manifestaciones volcánicas en elementos muy sencillos que son evaluados en forma independiente, constituyendo cada uno de ellos un peligro volcánico. Los peligros volcánicos pueden prolongarse durante meses y los factores de peligro son múltiples: lahares, flujos de lava, gases, etc. y energía, su alcance, duración y tiempo de propagación.

La información de cada peligro debe ser representada como una capa en un sistema de información geográfica, por lo que deben estar adecuadamente referenciados y cuantificados, con la finalidad de conformar mapas de peligro volcánico.

Cada peligro volcánico debe ser analizado individualmente y deben determinarse los parámetros físicos necesarios para la modelación numérica del mismo. Los modelos

proporcionarán cierta semejanza al fenómeno y darán a conocer con anticipación los alcances máximos, lo cual permitirá evaluar el grado de exposición para cada zona que circunda al volcán.

Para la identificación de los mecanismos eruptivos se debe considerar toda la información disponible para aquellos eventos ocurridos desde el comienzo del Cuaternario. Esta información se obtiene a partir del análisis de los registros geológicos, también se deben conocer las áreas de origen de cada uno de los peligros, y a partir de esta información se podrán aplicar modeladores para simular los efectos que un evento tipo podría llegar a producir.

Los mapas de peligros volcánicos, representan cartográficamente la extensión o área probable que puede ser afectada por todos los productos que un volcán es capaz de generar durante una erupción, y que son capaces de producir daños en su entorno.

Los estudios primordiales para su elaboración son: (1) levantamiento geológico del volcán y área volcánica, (2) caracterización geoquímica de los productos (lavas, tefras, etc.), (3) cronoestratigrafía detallada de los depósitos, características y distribución, (4) características y distribución de lava y depósitos laháricos, (5) establecer la evolución y comportamiento eruptivo y (6) conocer las características de las erupciones históricas, si las hay.

Un mapa de peligros representa las áreas que pueden ser afectadas por diferentes procesos volcánicos, mediante una zonificación basada en datos geológicos, cronológicos y morfoestructurales. De esta forma, las áreas de mayor peligro de ser afectadas por lahares, flujos piroclásticos, etc., serán nueva-

mente afectadas por estos procesos en una futura erupción. Sin embargo, no puede descartarse la posibilidad de que ocurran erupciones de gran magnitud que superen la zonificación del mapa. No obstante, se considera poco probable esta situación en un plazo corto a mediano.

Los mapas de peligros deben también distinguir entre los riesgos primarios, como los flujos piroclásticos, o las lluvias de fragmentos, describiendo sus velocidades, alcances y efectos sobre el hombre y el medio, y los riesgos secundarios, incluyendo todos aquellos efectos que pueden presentarse durante o después de la erupción, como flujos de lodo y otros impactos sobre el medio ambiente. Normalmente estos mapas se representan en escalas entre 1:50,000 y 1:250,000. Sin embargo, un mejor detalle puede obtenerse en escalas de 1:25,000 o de 1:10,000.

A la fecha sólo han sido publicados los mapas de peligros para el volcán Popocatepetl (Macías *et al.*, 1995), el mapa más reciente publicado para el volcán de Colima (Navarro *et al.*, 2003) y del Pico de Orizaba (Sheridan *et al.*, 2002). Otro mapa anterior del volcán de Colima (Martín del Pozzo *et al.*, 1995) publicado en otra escala está disponible en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Asimismo, está en desarrollo un mapa de peligros para el volcán Tacaná (Macías *et al.*, 2010).

La figura 14 es un ejemplo de mapa de peligros volcánicos del Pico de Orizaba.

Desde el punto de vista metodológico son importantes los trabajos realizados en el Ordenamiento Ecológico del Volcán Popocatepetl donde se ha definido el peligro a partir de círculos concéntricos que definen desde la mayor peligrosidad a la menor como se



Figura 14. Mapa de Peligros del volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba).
Tomado de Sheridan *et al.*, 2001. UNAM.

observa en la figura 15 y que finalmente definen las zonas de gestión ambiental y riesgo eruptivo como se aprecia en la figura 16.

Las fuentes para hacer estudios de peligros volcánicos que se recomiendan son las siguientes:

026. Alicia Martínez Bringas, Ángel Gómez Vásquez y Servando de la Cruz (2006): “Elaboración de mapas de peligros volcánicos”. En Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos. Fenómenos Geológicos. CENAPRED, México, DF. ISBN: 970-628-902-X

027. Fra Paleo U., F. Trusdell (2000): La modelización de los flujos volcánicos para la evaluación de riesgos y la planificación espacial en Hawai’i. Boletín de la A.G.E. N.º 30, págs. 181-192.

028. COSUDE-ALARN (2002): Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito muni-

pal de Nicaragua. Guía para el especialista. Proyecto: Apoyo Local para el Análisis y manejo de los Riesgos Naturales (ALARN). Managua, Nicaragua.

PELIGRO DESLIZAMIENTO (INESTABILIDAD) DE LADERAS

Se entiende como movimiento de ladera, el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente. Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico.

Este tipo de peligro se genera como respuesta de la interacción de los agentes endógenos con los exógenos, en el que la principal expresión es la inestabilidad y movimiento de los materiales superficiales, tierra y roca, pendiente abajo y hacia afuera en las laderas.

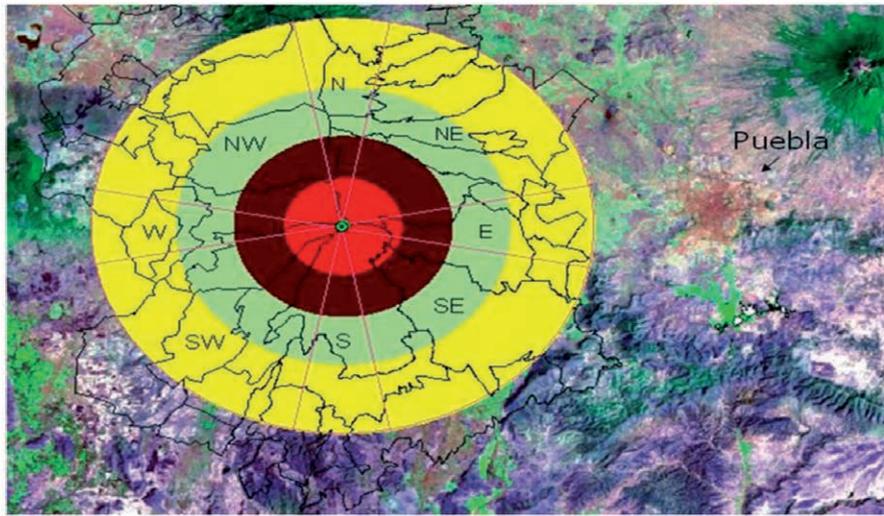


Figura 15. Volcán Popocatepetl. Distancias estimadas con respecto al cráter y sectores geográficos. Circulo rojo; radio de 7 km. Circulo marrón; radio de 13 km. Circulo verde; radio de 20 km. Circulo amarillo; radio mayor de 30 km. Sectores; norte (N), noreste (NE), este (E), sureste (SE), sur (S), suroeste (SW), oeste (W), y noroeste (NW). Las líneas negras representan las divisiones municipales. Tomado de BUAP-SEMARNAT, 2002.

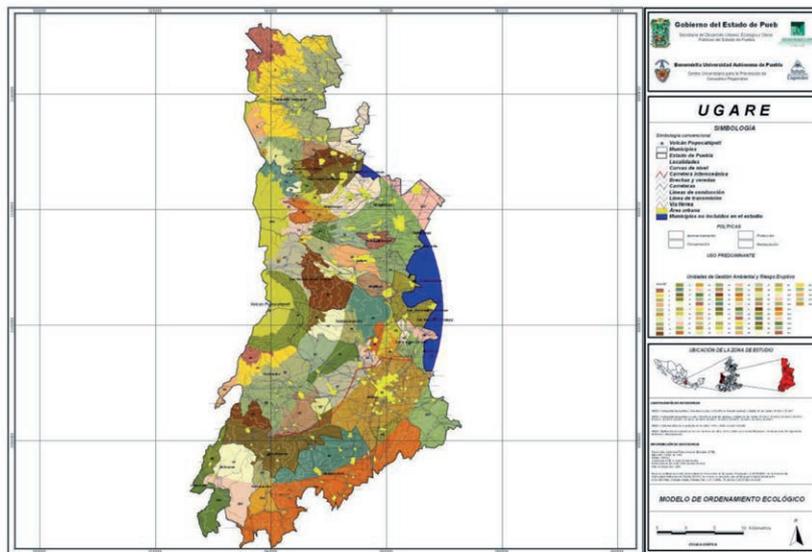


Figura 16. Mapa de Unidades de Gestión Ambiental y riesgo eruptivo en el área de influencia del Volcán Popocatepetl en el estado de Puebla. Tomado de BUAP-SEDUEOP-SEMARNAT, 2004.

La remoción en masa comprende una compleja serie de mecanismos en donde el potencial gravitatorio¹³ e hidro-gravitatorio,¹⁴ juegan papel fundamental. Estos se pueden clasificar según el tipo de material involucrado, la clase de movimiento exhibido y la velocidad del movimiento mismo. Así, es posible hablar de deslizamiento (rotacional, traslacional y en terracetos), reptación, flujos de suelo y lodo, avalanchas, desprendimiento y desplomes.

Una clasificación de tipos de movimientos de ladera fue propuesta por González de Vallejo en el 2002 la cual podemos apreciar en la figura 17.

Deslizamiento: En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad, prácticamente sin deformación interna, en su recorrido. La velocidad suele ser variable e implican a volúmenes grandes en general, aunque no siempre.

Flujo: Bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continuidad del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento. En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su conte-

nido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas). Los más comunes son los movimientos en suelo (flujos o coladas de tierra o barro), movimientos de derrubios (flujos de derrubios) o bloques rocosos (flujos de bloques).

Desprendimiento: Corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo. Los desplazamientos se producen principalmente en sentido vertical por caída libre, son típicos en macizos rocosos y generalmente están controlados por las discontinuidades. Este tipo de movimientos requiere una topografía como escarpes o pendientes fuertes y se caracterizan por la acumulación de bloques de tamaño variable en el pie de ladera.

Movimientos complejos: Son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementales descritos anteriormente. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño afectando, a veces, a laderas completas.

Derivas o extensiones laterales: Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable. Como consecuencia de esta diferencia de competencia entre el material suprayacente y el infrayacente, se produce la fragmentación de las capas superiores y los desplazamientos

¹³ Se llama así a la fuerza generada por la gravedad ante los diversos materiales que componen la superficie terrestre y que propician su caída o descenso, por una pendiente; al ganar altura, en un plegamiento y/o levantamiento, las estructuras resultantes ganan potencial gravitatorio, puesto que tienen mayor tendencia a caer, que a menor altura, donde la fuerza de gravedad es menor.

¹⁴ A la fuerza gravitatoria, se le suma aquella definida por el agua, que hace que los materiales con mayores niveles de humedad, tanto por el peso como por la respuesta mecánica a la absorción del agua, sean aún más propicios para descender sobre una pendiente.

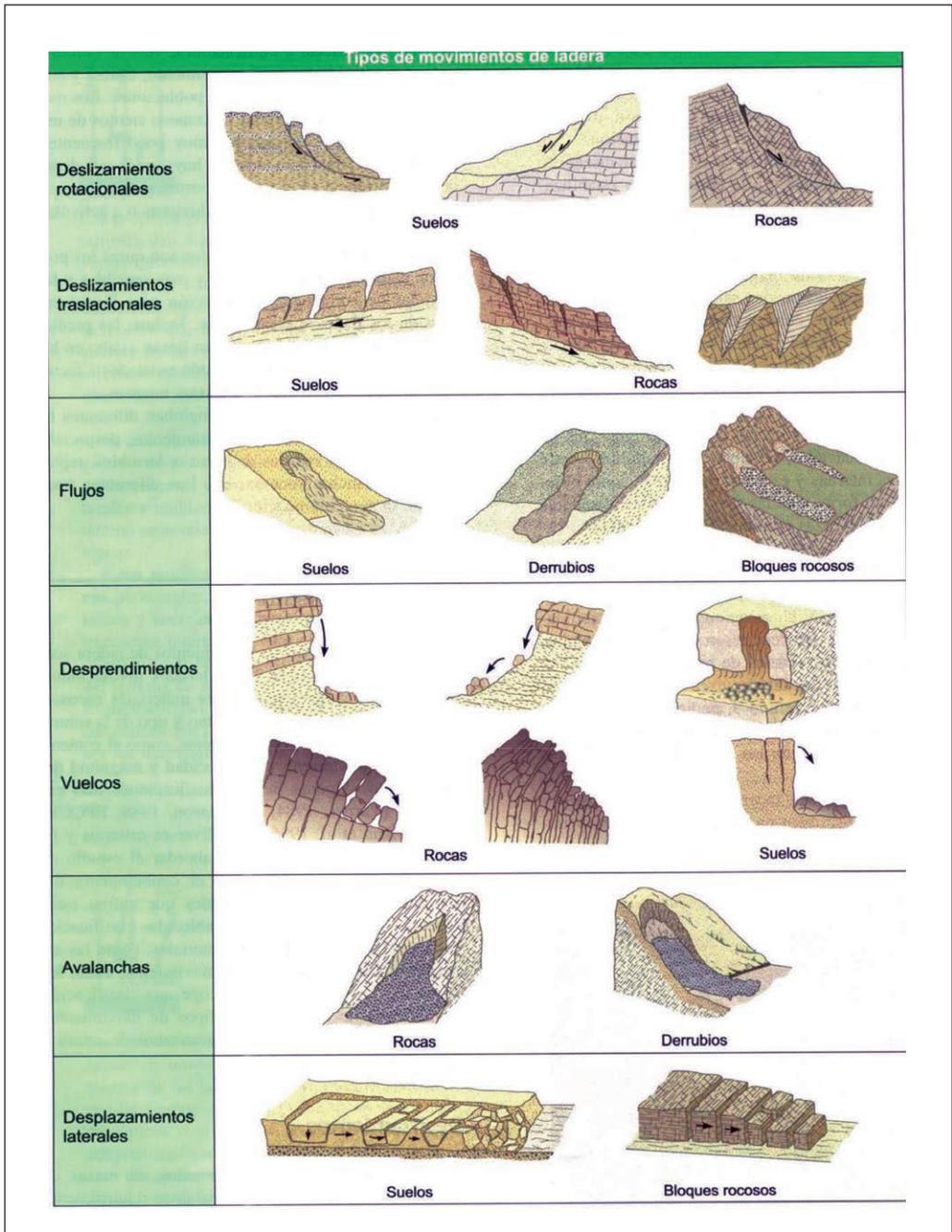


Figura 17. Tipos de movimientos de ladera. Tomado de González de Vallejo, 2002.

diferenciales. Los bloques se desplazan lateral y lentamente a favor de pendientes muy bajas. No son movimientos frecuentes y suelen ser bastante extensos.

Por la complejidad de estos movimientos es necesario que en la valoración por amenazas de movimientos de ladera, la escala de trabajo sea aún más detallada que para los demás casos; teniéndose casi que definir estudios particulares para caracterizar cada uno de los diversos eventos.

Sin embargo, es posible definir una serie de situaciones que establecen una susceptibilidad a la generación de fenómenos de remoción en masa, como presencia de fallamiento y zonas de trituración; fracturamiento, diaclasamiento y meteorización de las rocas; litología (materiales no consolidados o arcillas expansivas); pendientes abruptas; regímenes climáticos torrenciales; alta disección del drenaje; cobertura vegetal escasa y/o rala y fuertes procesos de intervención antrópica. Estas variables son las que el municipio debe identificar en su territorio, para establecer cuáles, dónde y cómo se pueden

expresar los fenómenos de remoción en masa.

En este caso, a menos que se presente un evento devastador, los registros históricos son pocos, más dispersos y poco fiables; situación que dificulta involucrar una mirada retrospectiva que favorezca el modelamiento futuro de éstos. Sin embargo, por lo generalizado de estos eventos, no resultan nada despreciables, por cuanto el impacto generado a las actividades humanas, en especial a las agrícolas y en las urbanas, en zonas deprimidas, es importante.

Mendoza y Domínguez (2006) en la Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos abordan la estimación del peligro de deslizamiento de las laderas con una clasificación que puede ser observada en la tabla 9. En la referida Guía detallan cada uno de los factores que influyen en el problema, asignándoles una calificación relativa a cada uno de ellos.

El resultado final es un mapa con la distribución espacial de los peligros según intensidad como puede verse en la figura 18.

Tabla 9. Grados de amenaza en laderas.

Amenaza	Tipo de ladera
Muy alta	Laderas con agrietamientos, escarpas o salientes. Suelos muy alterados sueltos y / o saturados. Presencia de discontinuidades desfavorables. Antecedentes de deslizamientos en el área o sitio. Ladera deforestada.
Alta	Laderas que exhiben zonas de falla. Meteorización de moderada a alta. Posee discontinuidades desfavorables, donde han ocurrido deslizamientos. Ladera deforestada.
Moderada	Laderas con algunas zonas de fallas. Formaciones rocosas con alteración y agrietamientos moderados. Sin antecedentes de deslizamientos en el sitio o región.
Baja	Laderas en formaciones rocosas con alteración de baja a moderada. Planos de discontinuidades pocos favorables al deslizamiento. Ladera sin deforestación. Capa de suelos compactos de poco espesor.
Muy baja	Laderas en formaciones rocosas no alteradas, poco agrietadas o fisuradas. Sin planos de discontinuidad que favorezcan el deslizamiento. Ladera sin deforestación.

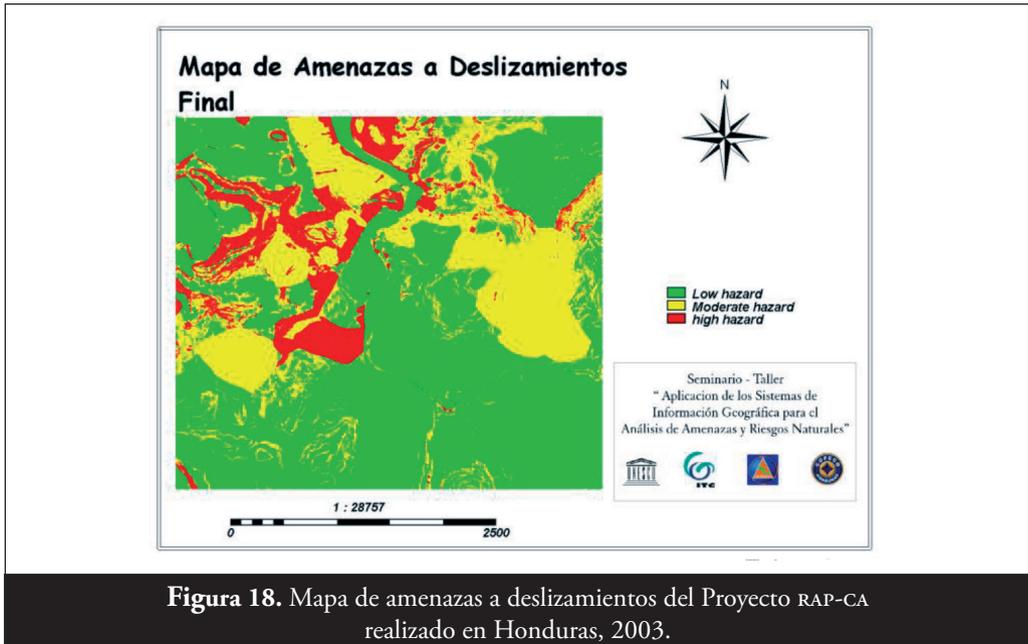


Figura 18. Mapa de amenazas a deslizamientos del Proyecto RAP-CA realizado en Honduras, 2003.

Metodología de deslizamientos del e-atlas para riesgos de desastres, aplicación a México

En las publicaciones especializadas se han propuesto muchos métodos y técnicas para evaluar y estratificar los peligros de deslizamientos de tierra. Se pueden producir mapas del peligro de deslizamientos de tierra empleando técnicas de mapeo ya sean cualitativas (directas) o cuantitativas (indirectas) (Hansen, 1984; Hansen y Franks, 1991).

Las técnicas cualitativas consisten en un ejercicio de mapeo geomorfológico en el cual el especialista identifica los deslizamientos de tierra pasados y, con la perspicacia del conocimiento y la experiencia previa, desarrolla postulados acerca de la probabilidad de que las laderas se puedan derrumbar en el futuro. Aunque esta técnica tradicional da como resultado mapas eficaces de estratificación de peligros, resulta muy absorbente,

costosa y requiere demasiada mano de obra. No se aplica en forma muy amplia debido a estos inconvenientes y al refinamiento de otras técnicas eficaces de mapeo indirecto, además de la carencia de especialistas en geomorfología que puedan desarrollar el trabajo.

Las técnicas cuantitativas adoptan un modelo determinista o un modelo estadístico para desarrollar los límites de las zonas de peligro de deslizamientos de tierra. El enfoque determinista se basa en el conocimiento previo de los factores físicos que se encuentran en el origen de los deslizamientos de tierra. Los factores de inestabilidad se mapean, clasifican y ponderan de acuerdo con su importancia, supuesta o esperada, de causar una devastación masiva (Gupta y Joshi, 1990; Pachauri y Pant, 1992; Maharaj, 1993; Anbalagan y Singh, 1996; Gökçeoğlu y Aksoy, 1996; Turrini y Visintainer, 1998;

Pachauri *et al.*, 1998; Barredo *et al.*, 2000; Wachal y Hudak, 2000; Donati y Turrini, 2002; Esmali y Ahmadi, 2003; Ayenew y Barbieri, 2005). La combinación de las capas con factor de inestabilidad ponderado arroja una superficie única que cuantifica la probabilidad de que ocurra un evento de devastación masiva en un lugar geoespacial específico.

El modelo estadístico o probabilístico utiliza las relaciones observadas entre cada factor de inestabilidad y los deslizamientos de tierra pasados para establecer el papel de un factor en el proceso de degradación masiva de un lugar específico y calcula la probabilidad de que ocurra un evento futuro de degradación masiva en un lugar determinado (Gupta y Joshi, 1990; Clerici *et al.*, 2002; Dai y Lee, 2002; Donati y Turrini, 2002; Ercanoğlu *et al.*, 2004; Suzen y Doyuran, 2004; Ayalew y Yamagishi, 2004). El modelo probabilístico puede utilizar cualquier número de técnicas estadísticas, incluyendo los análisis estadísticos bivariados o de regresión múltiple. Cada técnica y modelo tiene un conjunto único de ventajas y desventajas. Por esta razón, no hay un consenso entre los investigadores sobre cuál es el modelo más apropiado a utilizar para identificar y mapear las áreas propensas a la devastación masiva (Brabb, 1984; Carrara, 1989).

Sin embargo, la ausencia de un inventario comprensivo de deslizamientos de tierra pasados en la República Mexicana nos obligó a emplear un modelo determinista para establecer la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra en esta área como una aproximación del peligro de deslizamientos de tierra. Hay dos ventajas adicionales cuando se utiliza un modelo determinista. En primer lugar,

este enfoque es compatible con los métodos geoespaciales computarizados y con las técnicas geocomputacionales. En segundo, los resultados obtenidos a partir del modelo se pueden evaluar y recrear con facilidad.

La implementación de este método pasa por la aplicación de los siguientes pasos (figura 19):

- Identificación de los factores causales.
- Estandarización de la distribución de los factores causales de acuerdo con una escala continua.
- Establecimiento de las prioridades (ponderación) de los factores causales.
- Creación de los mapas de distribución de la susceptibilidad y del nivel de intensidad del peligro de deslizamientos de tierra.

Identificación de los factores causales

La metodología descrita en este documento utiliza un índice compuesto de peligro de deslizamientos de tierra que se basa en ocho factores causales. Los factores, que aquí se presentan, han sido seleccionados en base a diversos estudios de casos relevantes en el territorio mexicano.

La pendiente. La probabilidad de un deslizamiento de tierra se incrementa a medida que la pendiente aumenta (Roth, 1983; Barisone y Bottino, 1990; Koukis y Ziourkas, 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri y Pant, 1992; Maharaj, 1993; Jager y Wiczorek, 1994; Anbalagan y Singh, 1996; Talib, 1997; Atkinson y Massari, 1998; Baum *et al.*, 1998; Guzzetti *et al.*, 1999; Zezere *et al.*, 1999; Sinha *et al.*, 1999; Guzzetti *et al.*, 2000; Jakob, 2000; Nagarajan *et al.*, 2000; Ramakrishnan *et al.*, 2002; Esmali y Ahmadi 2003; Kelarestaghi, 2003; Tangesta-

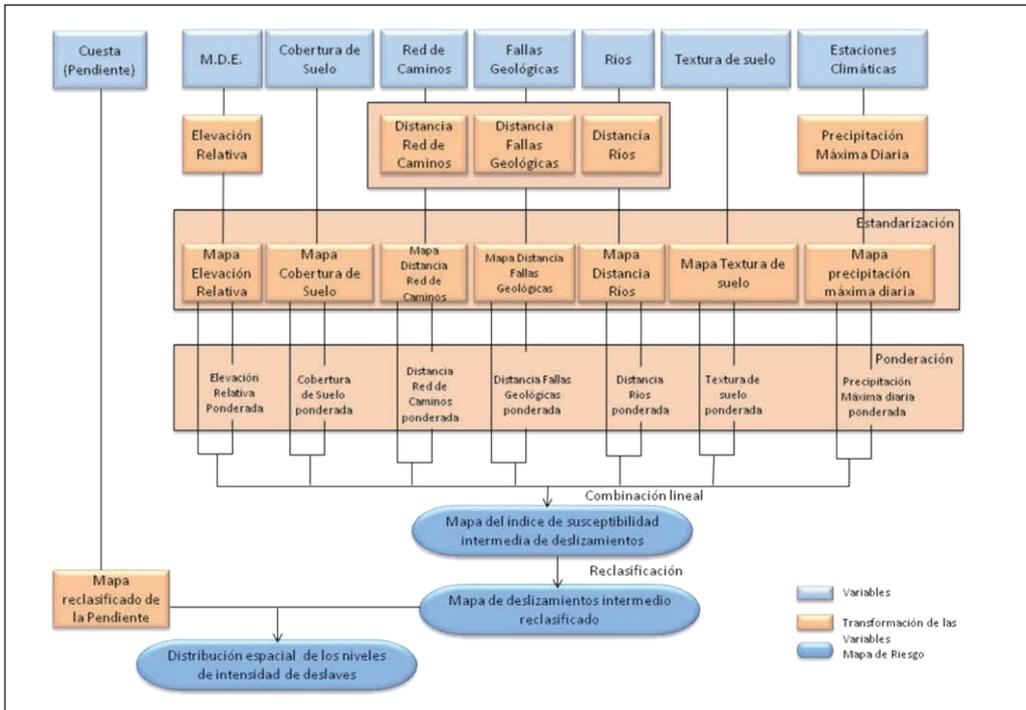


Figura 19. Metodología para la generación de la distribución espacial de los niveles de intensidad de los peligros de deslizamientos de tierra.

ni, 2003; Van Westen, 2003; Duman *et al.*, 2005; Gomes *et al.*, 2005, Komac y Ribičič, 2006).

La elevación relativa. Esta es la mayor diferencia en elevación que existe entre una celda y la celda más baja adyacente. La probabilidad de deslizamientos de tierra aumenta a medida que se incrementa la elevación relativa de algún lugar (Pachauri y Pant, 1992; Talib, 1997; Sinha *et al.*, 1999; Ercanoğlu y Gökçeoğlu, 2002; Esmali y Ahmadi 2003; Tangestani, 2003; Kelarestaghi, 2003).

La precipitación diaria máxima anual. La precipitación es un parámetro importante que afecta a la estabilidad de la pendiente de dos maneras. En primer lugar, la precipitación puede afectar a las formaciones

rocosas ubicadas a profundidades considerables (hasta 20 metros, dependiendo de la geología local) e incrementar la probabilidad de que ocurran deslizamientos de tierra. En las zonas que reciben una precipitación alta, el agua se puede infiltrar decenas de metros bajo la superficie y promover el desgaste de las rocas, lo cual incrementa la probabilidad de deslizamientos de tierra de raíces profundas; en segundo lugar, la precipitación aumenta la cantidad de agua en los suelos superficiales, lo que puede incrementar la probabilidad de eventos de devastación masiva. La precipitación aumenta el nivel de saturación de los suelos superficiales, lo que incrementa la presión del agua entre los poros, en los vacíos entre las partículas del

suelo. Este aumento en la presión del agua en los poros disminuye la fricción y la cohesión entre las partículas del suelo y puede provocar deslizamientos de tierra de raíces poco profundas y flujos de escombros. Varios investigadores (Esmali y Ahmadi, 2003; Kelarestaghi, 2003) consideran que la precipitación es un factor sumamente crítico en la causa de la inestabilidad de las pendientes y de los deslizamientos de tierra, sólo superado por la fuerza de gravedad, como lo demuestran la pendiente y la elevación relativa de cierto lugar. En este estudio, hemos utilizado la precipitación diaria máxima anual con un periodo de retorno de cinco años, que se calculó empleando el método de análisis de frecuencia denominado método de Gumbel. Para obtener información específica sobre el cálculo de este parámetro, favor de consultar el documento titulado La metodología y el proceso de implementación del e-atlas de la OMS/EMRO para modelar la distribución espacial del peligro de deslizamientos de tierra

La cobertura del suelo. La vegetación desempeña un papel crítico en la estabilización de las pendientes a través de varios procesos. Los sistemas de las raíces le da estructura al suelo y disminuyen la saturación del agua en el mismo; el follaje intercepta la precipitación y reduce su efecto erosivo sobre la superficie del suelo; las áreas con poca o nula cobertura del suelo y las áreas degradadas por las prácticas inadecuadas de explotación maderera, pastoreo, agricultura o construcción inapropiada, están predisuestas a los deslizamientos de tierra y a los eventos de degradación masiva (Swanson y Dyrness, 1975; Varnes, 1978; Sidle *et al.*, 1985; Talib, 1997; Sinha *et al.*, 1999; Ramakrishnan,

2002; Esmali y Ahmadi, 2003; Tangestani, 2003; Kelarestaghi, 2003; Komac y Ribičič, 2006).

La distancia de las carreteras. La construcción de las carreteras que atraviesan las laderas puede desestabilizar al área de tres maneras. En primer lugar, el corte en la pendiente puede servir para aumentar la inclinación del área, volviéndola más propensa a los deslizamientos de tierra; en segundo, el corte de la carretera al pie de la pendiente elimina el apoyo lateral de la pendiente y aumenta la probabilidad de deslizamientos de tierra; en tercero, el proceso de corte y relleno de la carretera puede hacer, de manera artificial, que la pendiente se vuelva más empinada tanto por encima como por debajo de la carretera y aumentar la susceptibilidad del área a la degradación masiva (Varnes, 1984; Sidle *et al.*, 1985; Talib, 1997; Sinha *et al.*, 1999; Sarkar y Kanungo, 2002; Kelarestaghi, 2003; Tangestani, 2003; Esmali y Ahmadi 2003).

La distancia de las fallas geológicas. Los temblores y vibraciones que la actividad sísmica ocasiona a lo largo de las fallas geológicas pueden desencadenar desplazamientos de tierra y otros eventos de devastación masiva. La probabilidad de que los temblores sísmicos o terremotos desencadenen un evento de devastación masiva se incrementa a medida que disminuye la distancia entre la falla y la pendiente (Sinha *et al.*, 1999; Sarkar y Kanungo, 2002; Esmali y Ahmadi, 2003; Tangestani, 2003, Kelarestaghi, 2003; Komac y Ribičič, 2006).

La distancia de la red de desagüe. El aumento de la proximidad de la pendiente a características hidrológicas tales como arroyos, ríos u océanos puede disminuir la esta-

bilidad de la pendiente de diversas formas. Los arroyos y los ríos pueden afectar de manera adversa la estabilidad de la pendiente erosionando el pie de la misma; esta erosión o socavación, disminuye la estabilidad lateral de la pendiente y aumenta la probabilidad de un derrumbe; los arroyos pueden saturar la ladera y aumentar la presión del agua en los poros, provocando la disminución de la cohesión entre las partículas del suelo y la desestabilización general de la pendiente; la acción de las olas marinas, aunada a la erosión de la playa, puede volver más empinadas las pendientes que se encuentran a la orilla del mar, haciéndolas más susceptibles a los deslizamientos de tierra durante los periodos de precipitación alta o provocando derrumbes catastróficos a lo largo de las juntas, estratificaciones y superficies de exfoliación geológicas (Gökçeoğlu y Aksoy, 1996; Talib, 1997; Sinha *et al.*, 1999; Sarkar y Kanungo, 2002; Tangestani, 2003; Esmali y Ahmadi 2003).

La textura del suelo. Ésta determina la cohesión y la fricción interna de los suelos. La cohesión y la fricción establecen la resistencia de los materiales al corte. La cohesión es la tendencia de las partículas del suelo a entrelazarse y permanecer a cierto ángulo. Los suelos arcillosos y las rocas son cohesivos, la arena tiene falta de cohesión. Las fuerzas de cohesión funcionan de forma independiente con respecto a la carga externa (el peso adicional colocado sobre la superficie del suelo en forma de edificios, carreteras, vegetación, etc.). La fricción es la tendencia de las partículas del suelo a resistirse a deslizarse unas a través de otras. Las fuerzas de fricción dependen de la carga que se coloque sobre la superficie del suelo –a mayor carga, mayor

es la probabilidad de que las fuerzas de fricción lleguen a ser superadas. Esto produce como resultado el movimiento de las partículas del suelo dentro de la capa del suelo y, de manera potencial, el derrumbe de la pendiente. (Ramakrishnan, 2002; Tangestani, 2003, Esmali y Ahmadi 2003; Duman *et al.*, 2005; Komac y Ribičič, 2006).

La litología. Muchas fuentes identifican a la litología como un factor muy importante que puede predisponer al área a sufrir deslizamientos de tierra y eventos de devastación masiva (Glasse *et al.*, 1997; Sinha y Mehta, 1999; Esmali y Ahmadi, 2003; Martínez, 2003; Van Westen, 2003; Duman *et al.*, 2005).

Estandarización de la distribución de los factores causales de acuerdo con una escala continua

Para integrar a las formas de los factores causales, tanto continuas como diferenciadas, al análisis de criterios múltiples, es necesario volver a clasificar cada una de las capas involucradas de acuerdo con una escala comparable de clases ordinales que vaya, en nuestro caso, del 0 al 10; el 0 corresponde a las clases donde la probabilidad de que ocurran deslizamientos de tierra es la mínima y el 10 a aquellas donde dicha probabilidad es la máxima. Las secciones siguientes describen cómo se realizó esta reclasificación de acuerdo con los tipos de datos.

Reclasificación de las capas de datos continuos

La mayoría de los factores causales empleados en la metodología presente son continuos, lo cual significa que son de naturaleza cuantitativa, no restringida a adoptar ciertos

valores específicos y la diferencia entre dos valores cualesquiera puede ser arbitrariamente pequeña. Sin embargo, las unidades de medición de los datos varían de un factor a otro. Los datos capturan medidas de longitud (la distancia de las características hidrológicas, carreteras y fallas, así como la elevación relativa), volumétricas (la precipitación diaria máxima anual) y angulares (la inclinación de las pendientes).

En este caso, se utiliza la escala lineal para reclasificar la distribución de estos valores de acuerdo con una escala nominal. Esto se hace empleando la siguiente fórmula, misma que corresponde a una ecuación de escala lineal simple en la cual el valor sin procesar de cualquier píxel determinado se denomina R (Voogd, 1983; Eastman, 2003):

$$x_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \times \text{rango estandarizado} \quad (1)$$

donde:

x_i = el valor ordinal

R_i = el valor sin procesar.

Esta ecuación emplea los valores mínimo y máximo (R_{min} y R_{max}), presentes en la capa continua, como puntos de la escala. El rango estandarizado es el rango de los valores de las clases ordinales (10, en nuestro caso).

La misma ecuación se utiliza para correlacionar positivamente todos los datos de los factores causales con la probabilidad de deslizamientos de tierra. En los casos donde existe una correlación positiva inicial (la probabilidad de deslizamientos de tierra se incrementa a medida que el factor causal aumenta) R_{min} será igual al valor sin procesar mínimo en la serie de datos y R_{max} será igual al valor sin procesar máximo en la se-

rie de datos. Los factores causales con una relación positiva inicial a la probabilidad de deslizamientos de tierra son la pendiente, la elevación relativa y la precipitación diaria máxima anual.

Reclasificación de los factores causales que presentan una correlación negativa

Como se mencionó anteriormente, los factores causales que presentan una correlación negativa respecto a la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra son la distancia de las características hidrológicas, las carreteras y las fallas geológicas (la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra disminuye a medida que aumenta la distancia de la característica). Sin embargo, no existe ningún consenso entre los investigadores en relación a la naturaleza precisa de las relaciones que existen entre la proximidad de estas características y la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra. Como resultado, diferentes investigadores definen la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra de forma distinta con distancias similares de las carreteras, redes de desagüe y fallas geológicas (Anbalagan, 1992; Pachauri y Pant, 1992; Maharaj, 1993; Gökceoğlu y Aksoy, 1996; Luzi y Pergalani, 1999; Donati y Turrini, 2002; Esmali y Ahmadi, 2003; Tangestani, 2003; Ercanoğlu y Gökceoğlu, 2004; Duman *et al.*, 2005; Komac y Ribičič, 2006).

En vista de esta falta de consenso, los rangos máximos que se fijaron para la construcción del Atlas se basaron en la siguiente resolución escogida para las capas de los resultados (1 000 metros):

- 5 000 metros en el caso de las carreteras y las redes de desagüe

- 10 000 metros en el caso de las fallas geológicas.

Por ejemplo, la fórmula siguiente se emplea para reclasificar la distancia hasta una carretera o red hidrográfica, asignando el valor de 0 a $R_{máx}$ y de 5 000 a $R_{mín}$:

$$x_i = \frac{(R_i - 5\,000 \text{ metros})}{(0 \text{ metros} - 5\,000 \text{ metros})} \times (10 - 0) \quad (2)$$

donde:

x_i = el valor ordinal

R_i = el valor sin procesar.

Al aumentar R_i (al alejarse de la característica) x_i disminuye. Los sitios ubicados a más de 5 000 metros de la característica se consideran demasiado distantes como para ser afectados. En el caso de dichos sitios, se asigna un valor de 0 (una clase ordinal de 0) a x_i .

Reclasificación de los factores causales que presentan una correlación positiva

Tanto la precipitación y la pendiente como la elevación relativa guardan una correlación positiva con la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra. Las áreas con una precipitación diaria máxima anual con un periodo de retorno de cinco años, una pendiente pronunciada y una elevación relativa alta, tienen una susceptibilidad elevada a los deslizamientos de tierra y también lo inverso es cierto. Por lo tanto, las áreas que presentan los valores máximos se asignan a un grupo ordinal con un valor de 10, mientras que las áreas con los valores mínimos se asignan a un grupo ordinal con valor de 0, utilizando la siguiente fórmula:

$$x_i = \frac{(R_i - R_{mín})}{(R_{máx} - R_{mín})} \times \text{rango estandarizado} \quad (3)$$

donde:

$R_{mín}$ = el valor mínimo del píxel encontrado en la serie de datos

$R_{máx}$ = el valor máximo del píxel encontrado en la serie de datos

R_i = el valor de un píxel que tenga un valor entre $R_{mín}$ y $R_{máx}$

x_i = el valor ordinal asignado a un píxel con un valor sin procesar de R_i rango estandarizado = $10 \times$ (el valor máximo de la clasificación ordinal)

Reclasificación de las capas de datos diferenciados

Los otros factores (la cobertura del suelo y la textura del suelo) son de naturaleza cualitativa (diferenciada). Las mediciones en el caso de estos datos están asignadas a un número finito de clasificaciones nominales que no están asociadas con las cantidades (p. e., ¿la cobertura del suelo es sabana o pradera; la textura del suelo es fina o media?, etc.).

Las figuras 20 y 21 nos indican los resultados del peligro de deslizamientos para la república mexicana.

A los fines de desarrollar la Metodología para determinar el peligro de inestabilidad de laderas recomendamos la siguiente bibliografía:

029. Manuel Mendoza y Leobardo Domínguez (2006): "Estimación del peligro y el riesgo de deslizamiento en laderas". En Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos. Fenómenos Geológicos. CENAPRED, México, DF. ISBN: 970-628-902-X

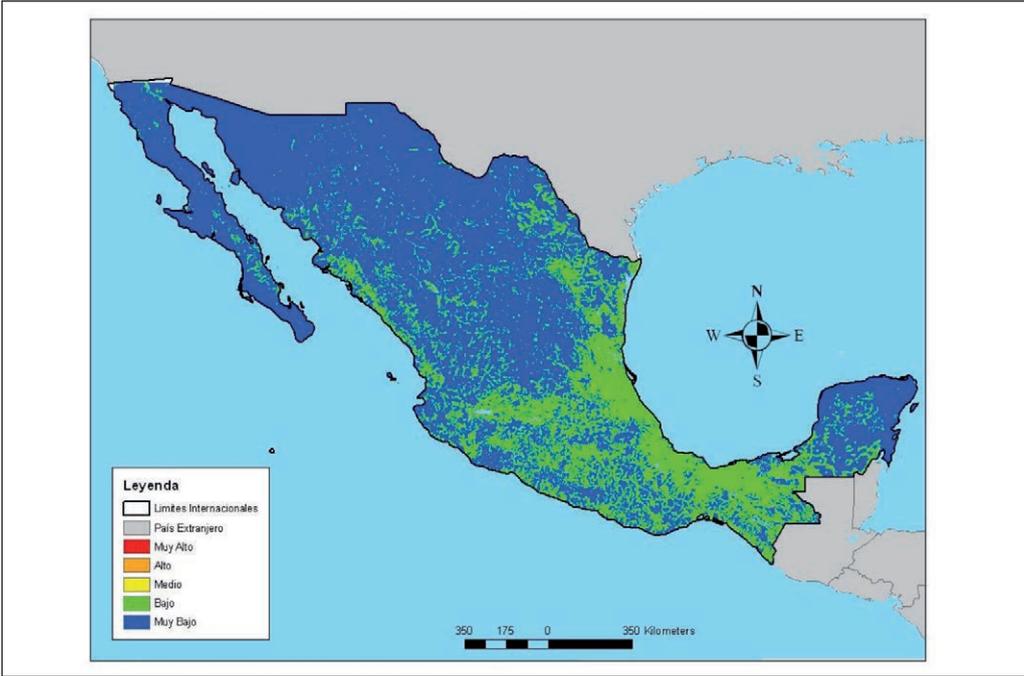


Figura 20. Peligro de deslaves/deslizamientos en la Republica Mexicana con un periodo de retorno de 5 años.

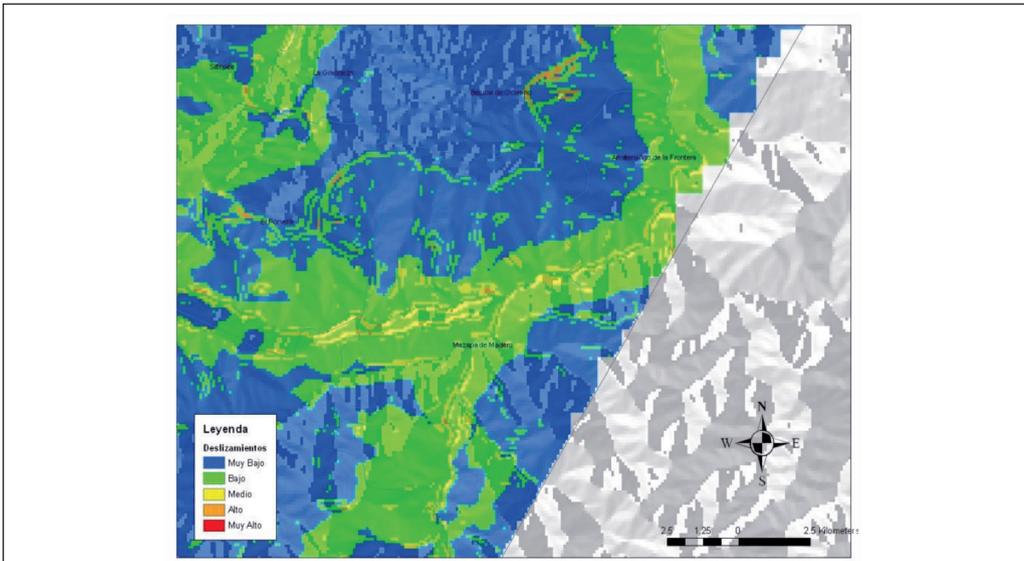


Figura 21. Peligro de deslaves/deslizamientos la zona de Mazapa de Madero, Chiapas periodo de retorno de 5 años.

030. Irasema Alcantará Ayala, Alonso Echavarría Luna, Carlos Gutiérrez Martínez, Leobardo Domínguez Morales e Ignacio Noriega Rioja (1996): “Inestabilidad de Laderas” En Serie Fascículos, CENAPRED. ISBN: 970-628-615-2

031. Fernández del Castillo, T., Ureña Cámara, M. A., Ariza López, F. J., Irigaray, C., El Hamdouni Jenoui, R., Chacón, J. (2006) Diseño de un modelo de datos espaciales de movimientos de ladera. En: El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. pág. 149-164

032. Plan de acción regional para Centro América (PARCA) y Construcción de capacidades para la reducción de desastres naturales (CBNDR). (2000): “Desarrollo de una metodología para la identificación de amenazas y riesgos a deslizamientos en la cuenca del río San Juan, República Dominicana”.

033. Informe Final Proyecto RAP-CA Honduras. “Aplicación de los SIG para el análisis de amenazas y riesgos naturales”.

PELIGRO POR INUNDACIONES

PLUVIALES

Uno de los riesgos de origen hidrometeorológico de mayor significado en México, es el relacionado con las inundaciones, como resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Estas lluvias pueden estar asociadas a diferentes fenómenos como son los ciclones tropicales en verano y los frentes fríos en invierno, a los que se suman las lluvias ocasionadas por las cadenas montañosas y las lluvias convectivas con tormentas de corta duración pero muy intensas.

Las inundaciones pueden clasificarse según su duración en rápidas o dinámicas y lentas o estáticas. Las primeras suelen producirse en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas vertientes presentan fuertes pendientes, por efecto de lluvias intensas. Las crecidas son repentinas y de corta duración. Son éstas las que suelen producir los mayores estragos en la población, sobre todo porque el tiempo de reacción es prácticamente nulo. Las lentas o estáticas se producen cuando lluvias persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte. Entonces el río se sale de su cauce, inundando áreas planas cercanas al mismo. Las zonas que periódicamente suelen quedar inundadas se denominan llanuras de Inundación.

Según el mecanismo de generación pueden ser pluviales, fluviales o por roturas. Las pluviales son en las que se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que ese fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de precipitaciones intensas o persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable. Las fluviales, causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos es atribuida al aumento del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina como crecida. Las roturas están relacionadas con operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica.

La lluvia como elemento desencadenante constituye un factor necesario, pero no suficiente para que se desarrollen los fenómenos de inundación, deben existir otras condiciones del terreno que conjuntamente con la lluvia provoquen una elevación del nivel de las aguas.

Entre los parámetros naturales se destaca por su importancia, los suelos, en dependencia de su capacidad de retención del agua, el contenido de humedad que presentan, los procesos degradativos que ocurran en el, desarrollaran condiciones de susceptibilidad favorables o desfavorable a ser inundados o no, otro factor a tener en cuenta son los factores geomorfológicos, las depresiones del relieve cárstico son zonas potencialmente susceptibles a ser inundadas, la inclinación de las pendientes es un elemento a tener en cuenta, pues en dependencia del ángulo de inclinación que posea el terreno, se desarrollaran los procesos de escurrimiento o empujamiento cuando el agua incide sobre el terreno, la vegetación a su vez desarrolla un papel primordial para los eventos de avenidas pues la misma favorecerá o no los procesos de infiltración o los de escurrimientos.

Otro de los factores naturales a tener en cuenta que juega el papel principal es la red de escurrimiento superficial, pues las aguas una vez depositadas en el terreno utilizan esta vía natural para ser evacuadas.

Entre los factores antrópicos que conjuntamente con la lluvia provocan el desarrollo de grandes avenidas o inundaciones se pueden mencionar, las modificaciones que realiza el hombre sobre el relieve donde provoca cambios o interrumpe la red de escurrimiento superficial de las aguas, mal manejo del relieve cárstico, donde de forma deliberada

se tapan los sumideros naturales, la indisciplina social por el vertimiento de desechos y escombros que provocan la colmatación de los cauces de los ríos, los procesos de deforestación en las franjas hidroreguladoras, los procesos de urbanización que provocan la impermeabilización del terreno, disminución del caudal de los ríos por entubamiento entre otros, lo que provoca una reducción de la evacuación de las aguas, el mal diseño del drenaje pluvial y mantenimiento de la limpieza de estos, son factores que unidos a los anteriores son desencadenantes de fenómenos de inundación.

Desde el punto de vista metodológico la determinación del peligro asociado a las inundaciones por intensas lluvias permiten determinar el área potencialmente afectada por las inundaciones, para lo cual en la práctica pueden ser utilizadas diferentes metodologías que en cierto modo resultan complementarias como son la histórica, la geomorfológica y la hidrológico-hidráulica, tal como se muestra en la figura 22.

El método histórico consiste básicamente en cartografiar las áreas inundables en episodios de inundación pasados. El método geomorfológico se fundamenta en el estudio de las formas del terreno provocadas por el paso del agua. El método hidrológico e hidráulico delimita las áreas potencialmente inundables a partir de los registros pluviométricos y mediciones de los caudales y del comportamiento físico del agua en función de la morfología del terreno; con él es posible, si se desea, calcular el período de retorno o, en otras palabras, la probabilidad de ocurrencia que enriquece el análisis de riesgo. Otros datos como las profundidades y la velocidad del agua, la permanencia de la lámina de

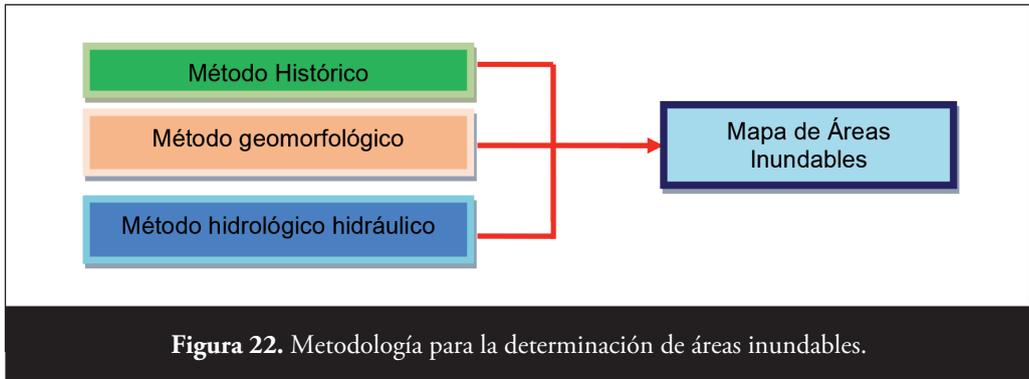


Figura 22. Metodología para la determinación de áreas inundables.

agua o la carga de transporte complementan la elaboración de un mapa de peligro en su relación con la frecuencia de las inundaciones. Esta forma de evaluar el peligro que se define como amenaza es comúnmente usada en países como Australia, Estados Unidos, Suiza, etc., y ha sido aplicada en Nicaragua en el proyecto PRRAC.

La delimitación cartográfica de las áreas de peligro (zonas susceptibles a inundarse) consiste en la identificación de los espacios del territorio, donde están creadas las condiciones, naturales o inducidas de susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones.

Las metodologías empleadas requieren el uso combinado de una serie de parámetros naturales, sobre la base cartográfica elaborada, mediante el empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), tanto en formato vectorial como en formato de celdas (raster), cuyo procesamiento permite delimitar las zonas susceptibles a ser inundadas en el territorio.

Los materiales y parámetros que en forma general servirán de base para la cartografía de los escenarios de peligros (zonas susceptibles a ser inundadas) debido a intensas lluvias se relacionan a continuación son, entre otros:

- Registro histórico de inundaciones

- Mapas topográficos
- Modelo digital de elevación del terreno
- Mapas de suelos. (suelos impermeables)
- Mapa de geomorfología y geodinámica.
- Mapas de pendientes
- Mapas de formas y tamaños de las cuencas
- Mapas planimétricos de localidades y poblados.
- Mapa de cobertura vegetal y usos del suelo.
- Mapa ingeniero-geológico.
- Imágenes satelitales multiespectrales.
- Mapa de isoyetas
- Balance hídrico

La identificación de las zonas susceptibles se comprueban mediante recorridos de campo y por registros documentales históricos, que permiten la comprobación de los datos obtenidos a partir de la interpretación de gabinete, en este caso se realizan encuestas o se fotografían los límites alcanzados por las aguas al ocurrir una inundación. A partir de este criterio se comprueba fundamentalmente la altura alcanzada por las aguas de inundación, su distribución espacial y su comportamiento sobre la cuenca superficial afectada, definiéndose las direcciones y las áreas de origen de dichas inundaciones.

Una vez realizada la identificación de las áreas susceptible, estos se comprueban mediante recorridos de campo y por registros documentales históricos, que permiten la comprobación de los datos obtenidos a partir de la interpretación de gabinete, en este caso se realizan encuestas o se fotografían los límites alcanzados por las aguas al ocurrir una inundación, a partir de este criterio, se comprueba fundamentalmente la altura alcanzada por las aguas de inundación, su distribución espacial y su comportamiento sobre la cuenca superficial afectada, definiéndose las direcciones y las áreas de origen de dichas inundaciones.

Como parte final del análisis de peligro por inundaciones se propone la identificación mediante valores de peligrosidad para cada una de las unidades consideradas en el ordenamiento definiendo diferentes rangos de susceptibilidad a inundaciones (alto, medio, bajo).

Metodología de inundaciones del e-atlas para riesgos de desastres, aplicación a México

Durante los últimos 20 años, se han realizado numerosas investigaciones con el fin de identificar las técnicas para generar los mapas del peligro de inundaciones. Estas técnicas, mismas que se presentan en esta sección, incluyen el análisis de frecuencia de datos hidrometeorológicos, el modelado hidráulico, el modelado hidrológico y los métodos estadísticos.

El análisis de frecuencia de los datos hidrometeorológicos utiliza los datos históricos de inundaciones para calcular la probabilidad y la extensión de eventos de inundaciones futuras a diferentes intervalos (10, 50, 100

y 500 años) (McKerchar y Pearson, 1990; Gabriele y Arnell, 1991; Pearson, 1991; Sarma, 1999; Kjeldsen *et al.*, 2002; Kroll y Vogel, 2002). Este procedimiento requiere datos históricos, meteorológicos y del flujo de las corrientes apropiadas que permitan al análisis estadístico lograr un nivel aceptado de confiabilidad. De manera adicional, los cambios en los flujos de las corrientes y de las inundaciones, provocadas por la regulación de las presas, las mejoras a los canales (diques) o los cambios en el uso del suelo, limitan la utilidad de los datos históricos, puesto que ya no existen los parámetros físicos que existían cuando las inundaciones ocurrieron. Debido a estas dos desventajas, en este protocolo no se utiliza el análisis de la frecuencia de las inundaciones.

Los modelos hidráulicos convierten los valores de los flujos de descarga en profundidad de ríos o de inundaciones. El modelo del sistema de análisis de ríos del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, U.S. Army Corps of Engineers) calcula y estima la duración y la extensión de la inundación, los cambios en la profundidad y la velocidad del agua a través del tiempo en cualquier lugar, basándose en las mediciones de los flujos inestables a través de una red de ríos (USACE, 2001a; USACE, 2001b). Los datos siguientes se requieren para calcular estimaciones viables de las inundaciones utilizando el modelo HEC-RAS: un modelo digital de elevación (DEM, digital elevation model) de alta resolución, un modelo de las redes de las corrientes, las geometrías transversa-

les detalladas de los canales y de las planicies de aluvión adyacentes y los parámetros de la longitud del flujo. A pesar de que este modelo proporciona resultados acertados y procesables en lo referente a pequeñas áreas de captación, es muy difícil aplicar este modelo a un área geográfica grande, tal como un país, debido a los requerimientos de datos de entrada robustos.

Los modelos hidrológicos emplean cálculos matemáticos con valores conocidos o asumidos de los diversos componentes del ciclo hidrológico para analizar el comportamiento de los flujos de las corrientes y de las inundaciones en una cuenca específica. Los modelos hidrológicos se pueden dividir en modelos deterministas, que se basan en parámetros y procesos físicos específicos, y en modelos estocásticos, que permiten la variabilidad probabilística tanto en los parámetros como en los procesos (Storm, 1989; Meijerink *et al.*, 1994; Mannaerts, 1996; Viessman y Lewis, 1996; Venkatesh y Jain, 1997; Seth, 1999; Al-Rawas *et al.*, 2001; Nyarko, 2002). Estos modelos requieren una calibración cuidadosa y precisa para producir estimaciones certeras de las áreas propensas a las inundaciones. La calibración de un modelo hidrológico para México o la Región de América Latina entera, por ejemplo, se llevaría un tiempo enorme.

Los métodos estadísticos combinan la frecuencia histórica de las inundaciones y la distribución de los factores causales de las inundaciones con el fin de predecir cuáles áreas tienen la probabilidad de inundarse, dentro de cierta área geográfica. Este método permite calcular un índice del peligro de inundaciones (FHI) en base a las puntuaciones ponderadas de los factores causales y

a las distribuciones históricas de las inundaciones (Islam y Sado, 2000a).

Los primeros tres métodos aquí descritos requieren recursos y datos que van mucho más allá del marco del proyecto actual; por lo tanto, finalmente se decidió utilizar un método estadístico para “espacializar” la distribución del nivel de intensidad del peligro de inundaciones en la República Mexicana.

Entre los métodos estadísticos que ya se encuentran desarrollados, el que emplearon Islam y Sado (2000a) en Bangladesh presenta varias ventajas:

- Produce estimaciones realistas sin utilizar un modelo empírico.
- Requiere distribuciones históricas de las inundaciones y datos de los factores causales que son fácilmente asequibles en el caso de la República Mexicana entera.
- Se puede aplicar con facilidad con las tecnologías GIS empleadas a través de todo el desarrollo de este Atlas.
- Toma en consideración tanto a la susceptibilidad de cada área a las inundaciones, como a los factores relacionados con la gestión de emergencias.

La implementación de este método pasa por la aplicación de las siguientes etapas (figura 23):

1. Identificación de los factores causales.
2. Clasificación del mapa de la distribución del número de eventos de inundaciones pasadas.
3. Estimación de la puntuación ponderada de cada uno de los factores causales, cruzando a estos datos con la capa reclasificada de la frecuencia de inundaciones.
4. Estandarización de las puntuaciones ponderadas, agregación y clasificación del mapa resultante para obtener la dis-

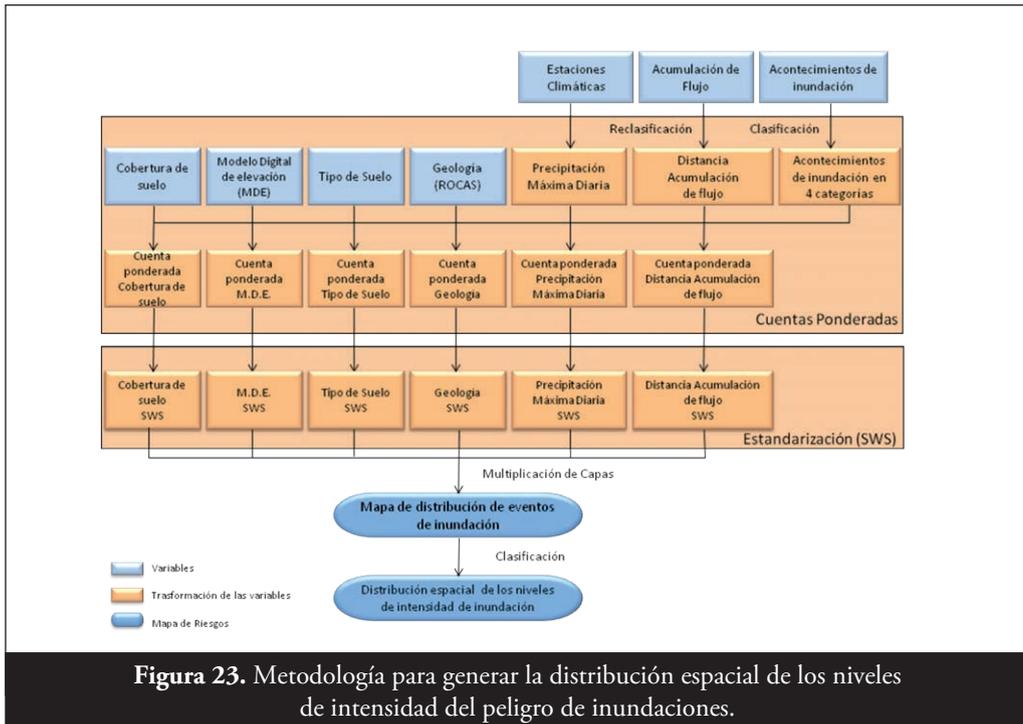


Figura 23. Metodología para generar la distribución espacial de los niveles de intensidad del peligro de inundaciones.

tribución espacial del nivel de intensidad del peligro de inundaciones.

Identificación de los factores causales

La metodología descrita en este documento utiliza un índice compuesto del peligro de inundaciones basado en cinco factores causales. Los factores que aquí se presentan se seleccionaron en base a diferentes estudios relevantes en el territorio mexicano.

1. La cobertura del suelo. Ésta describe la apariencia del paisaje y, por lo general, se clasifica por la cantidad y el tipo de su vegetación, la cual es un reflejo de su uso, ambiente, cultivo y fenología estacional. La cobertura del suelo tiene una influencia directa sobre diversos parámetros del ciclo hidrológico, incluyendo: el comportamiento de la intercepción, la

infiltración, la concentración y la escorrentía y, por lo tanto también influye de manera indirecta sobre las inundaciones. Estas características en conjunto producen la información sobre la respuesta hidrológica y el grado del peligro de inundaciones. (Sarma, 1999; Islam y Sado, 2000b; Nyarko, 2002; Todini *et al.*, 2004; Bapalu y Sinha, 2005).

2. La elevación. La probabilidad de que se presente una inundación aumenta a medida que disminuye la elevación de cierto lugar, lo que la convierte en un indicador confiable de la susceptibilidad a las inundaciones (Islam y Sado, 2000b; Al-Rawas *et al.*, 2001; Nyarko, 2002; Sanyal y Xi Lu, 2003; Shrestha, 2004; Todini *et al.*, 2004; UNDP, 2004; Bapalu y Sinha, 2005; Peduzzi *et al.*, 2005).

3. El tipo y la textura del suelo. Nyarko (2002) y Todini *et al.*, (2004) reportan que el tipo y la textura del suelo desempeñan un papel en la determinación de las características del área en cuanto a la retención y la infiltración del agua y, en consecuencia afectan la susceptibilidad a las inundaciones.

4. La Litología. La naturaleza macroscópica de un área puede influir sobre su susceptibilidad a las inundaciones. Las áreas que están compuestas de una geología superficial altamente impermeable son más susceptibles a inundarse (Islam y Sado, 2000b), en su lugar se utilizó la geología superficial.

5. El volumen y la distancia de la trayectoria de la acumulación de los flujos. Las áreas ubicadas cerca de la trayectoria de la acumulación de los flujos tienen una mayor probabilidad de inundarse, en especial cuando se ha acumulado un gran volumen corriente arriba (Islam y Sado, 2000b; Al-Rawas *et al.*, 2001; Nyarko, 2002; Todini *et al.*, 2004; Bapalu y Sinha, 2005). Estos dos factores se combinaron en uno solo dentro del contexto del presente trabajo.

La acumulación de flujo esta calculado para cada celda mediante el número de celdas corriente arriba que drenan hacia la celda en cuestión. Las celdas de la cuadrícula (Raster) con valores altos de acumulación de los flujos son áreas de flujo concentrado y se identifican como los canales del cauce, de acuerdo con el umbral especificado de la acumulación de los flujos. Las celdas con valores de cero en la acumulación de los flujos son las alturas topográficas o sierras.

Se debe seleccionar un umbral de acumulación de los flujos para poder estimar la red de corrientes a partir de una capa de acumulación de los flujos. El umbral es el número mínimo de celdas que tienen que drenar a una celda para que se determine que ésta última forma parte de la red de corrientes. El empleo de un umbral más bajo de acumulación de los flujos da como resultado una red de corrientes más detallada (y computacionalmente intensiva).

En las publicaciones especializadas no existe un consenso sobre el valor del umbral ideal para reproducir las redes de corrientes reales. En la práctica, la determinación del umbral es un proceso interactivo, en el cual se utilizan diversos valores, hasta lograr la resolución deseada de la red de corrientes. En este protocolo, después de probar numerosos umbrales, se utilizó un valor de umbral de 100 celdas (comparable a un área de desagüe de 100 km²).

Una vez establecido el umbral, las celdas con acumulaciones de flujo superiores al umbral se denominan celdas del “canal de cauce” y las mismas conformarán la red de corrientes estimada. Finalmente, la red de corrientes se amortigua para determinar la distancia de cierto lugar respecto al canal de cauce más cercano.

6. La precipitación. La probabilidad de inundaciones aumenta a medida que se incrementa la cantidad de lluvia y nieve en cierto lugar (Nyarko, 2002; Todini *et al.*, 2004). En este estudio, se utilizó la precipitación diaria máxima anual con un periodo de retorno de 5 años que se calculó empleando el método de Gumbel para el análisis de la frecuencia.¹⁵

- Clasificación de los mapas de distribución del número de eventos pasados de inundaciones y de los factores causales
- La distribución espacial del número de eventos pasados de inundaciones observados entre 1985 y 2005, que se puede considerar como una medida de la frecuencia de las inundaciones, se clasificó en cuatro niveles específicos de peligro histórico (tabla 10).¹⁶
- Correspondencia entre el número de eventos de inundaciones pasadas y el nivel de peligro histórico de inundaciones

De manera similar, los demás factores causales se reclasificaron en clases ordinales siguiendo el proceso que se presenta en el documento titulado *Metodología y procedimientos para modelar la distribución espacial del peligro de inundaciones (Methodology and procedures for modelling the spatial distribution of flood hazard)*, que se puede consultar en el Atlas.

Estimación de las puntuaciones ponderadas

Los factores causales se ponderan en base a su correlación espacial con la distribución de los peligros históricos de inundaciones. Al cruzar el mapa de distribución reclasificada de la frecuencia de las inundaciones con cada cuadrícula (Raster) de distribución de cada factor causal, se obtiene la distribución, en porcentaje del área, de cada clase/categoría, de acuerdo con la clasificación del peligro histórico de inundaciones.

Después se calculó la puntuación ponderada de cada categoría como la suma de los productos entre el porcentaje del área de la categoría por cada nivel de peligro histórico de inundaciones y el coeficiente del daño asociado, por medio de la ecuación siguiente (Islam y Sado, 2000b):

$$\text{puntuación ponderada} = (0 \times a) + (1 \times b) + (3 \times c) + (5 \times d) \quad (4)$$

Tabla 10. Correspondencia entre el número de eventos de inundaciones pasadas y el nivel de peligro histórico de inundaciones.

Número de eventos pasados de inundaciones 1985–2005	Peligro histórico de inundaciones
0	Sin peligro
1–3	Bajo
4–7	Medio
> 7	Alto

¹⁵ Para mayor información sobre la implementación de este método, favor de consultar el documento titulado “Metodología e implementación para generar las series de datos” (*Methodology and implementation for generating the dataset*), que se puede consultar en el primer volumen del Atlas.

¹⁶ Para mayor información sobre la creación del mapa de la distribución de los eventos pasados de inundaciones, favor de consultar el documento titulado *Metodología e implementación para generar las series de datos*, que se puede consultar en el primer volumen del Atlas.

donde:

a = el porcentaje del área de la categoría, en las áreas sin peligro histórico de inundaciones

b = el porcentaje del área de la categoría, en las áreas con un peligro histórico bajo de inundaciones

c = el porcentaje del área de la categoría, en las áreas con un peligro histórico medio de inundaciones

d = el porcentaje del área de la categoría, en las áreas con un peligro histórico alto de inundaciones

$0, 1, 3, 5$ = los coeficientes del daño correspondiente ligado a cada clase específica de peligro histórico de inundación, para expresar la severidad de cada nivel de peligro histórico de inundaciones.

Estandarización de las puntuaciones ponderadas

Después de haber calculado las puntuaciones ponderadas de todas las categorías de un factor, estas puntuaciones se estandarizaron y se volvió a establecer su escala en clases ordinales, de acuerdo con una escala del 1 al 3, en la cual el 1 indica las categorías con la probabilidad mínima y el 3, las categorías con la probabilidad máxima de que ocurra una inundación en un área determinada.

Creación del mapa de distribución del nivel de intensidad del peligro de inundaciones

El mapa de distribución de cada uno de los factores causales se volvió a clasificar para que contuviera la distribución de la puntuación ponderada estandarizada correspondiente antes de combinarlo utilizando el método de superposición multiplicativa. El

método multiplica la puntuación de todos los factores causales, por cada celda, para producir la distribución del índice del peligro de inundaciones.

Por último, el mapa de distribución del índice del peligro de inundaciones se reclasificó en cinco niveles de intensidad (muy baja, baja, media, alta y muy alta) utilizando un esquema de rupturas naturales. El esquema de rupturas naturales (Natural Break) determina los puntos de ruptura entre las clases, al analizar cómo se agrupan los datos. Las fronteras de las clases se establecen en donde existen saltos relativamente grandes en los valores de los datos.

Las figuras 24 y 25 nos indican los resultados del peligro de inundaciones para la República Mexicana

Existen diversos enfoques y pasos metodológicos específicos para determinar el peligro y en tal sentido pueden consultarse las siguientes bibliografías, que muestra formas diversas para realizar mapas de peligro:

034. Héctor Eslava Morales, Martín Jiménez Espinosa, Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez, María Teresa Vázquez Conde, Carlos Baeza Ramírez y David R. Mendoza Estrada (2006): ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS SÚBITAS EN ZONAS RURALES, CON ARRASTRE DE SEDIMENTOS. En: Guía básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos. Serie Atlas Nacional de Riesgos. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES.

035. Salas M.A y M. Jimenez Espinosa (2004): Inundaciones. En Serie Fasciculos. CENAPRED.

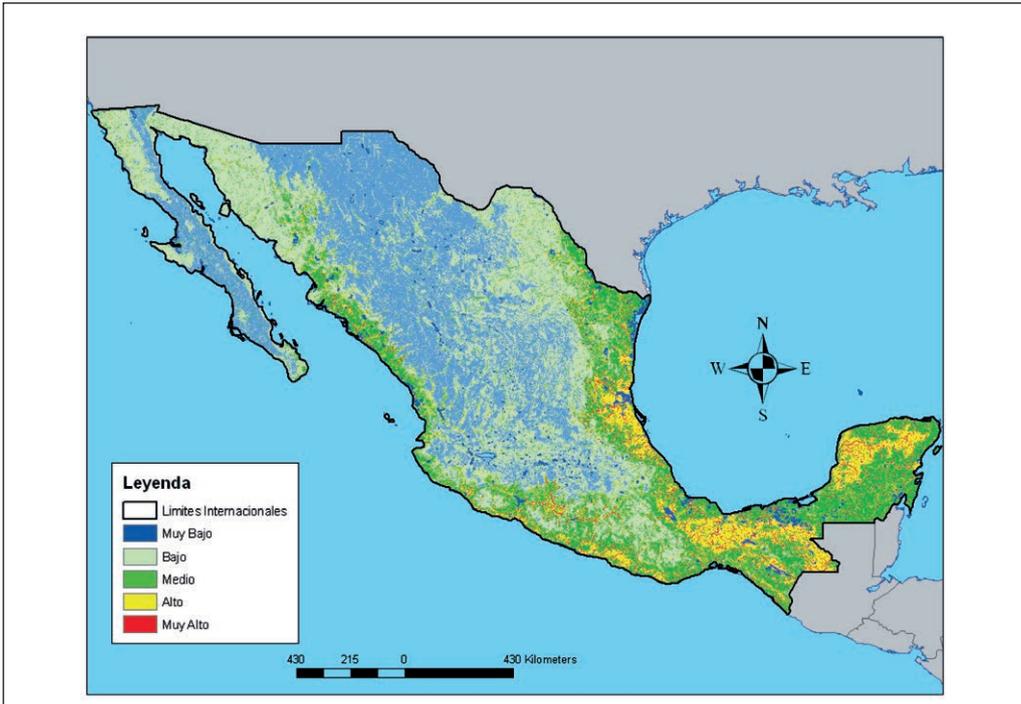


Figura 24. Mapa de peligro de inundación en la República Mexicana con un periodo de retorno de 5 años donde se distingue los distintos niveles de intensidad.

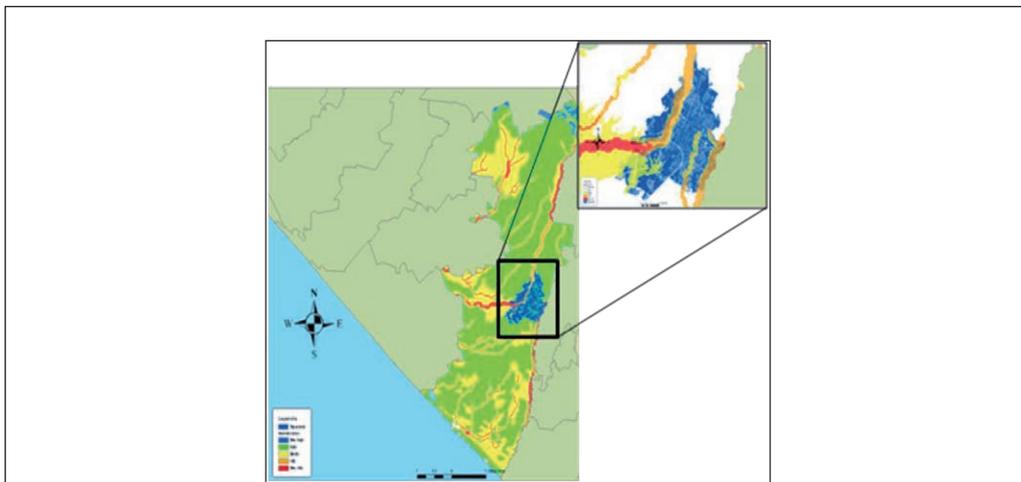


Figura 25. Mapa de peligro de inundación en el municipio de Tapachula, Chiapas con un periodo de retorno de 5 años donde se distingue los distintos niveles de intensidad. En el recuadro se resalta el área urbana de Tapachula.

- 036.** Etxeberria Ramírez P., A. Brazaola Rojo, J.M. Edeso Fito, (2002): CARTOGRAFÍA DE PELIGRO DE INUNDACIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/53.pdf>
- 037.** Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (2005): INUNDACIONES FLUVIALES. MAPAS DE AMENAZAS RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA SU ELABORACIÓN. PROYECTO MET-ALARN INETER/COSUDE <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarin/inundaciones.pdf>
- 038.** Lluís Ribera Masgrau (2004): LOS MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIONES: REPRESENTACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y APORTACIÓN DE LAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS. Doc. Anàl. Geogr. 43, 2004 153-171. Universitat de Girona. Departament de Geografia, Història i Història de l'Art. <http://ddd.uab.es/pub/dag/02121573n43p153.pdf>
- 039.** Olivera, Jorge *et al.* (2009): CARTOGRAFÍA DE LOS ESCENARIOS DE PELIGROS DE INUNDACIÓN ANTE INTENSAS LLUVIAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA ALMENDARES-VENTO. Mapping Interactivo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1539
- 040.** Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de Estados Americanos (1993): MANUAL SOBRE EL MANEJO DE PELIGROS NATURALES EN LA PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO REGIONAL INTEGRADO. <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/begin.htm#Contents>
- 041.** Riccardi, Gerardo Adrián (1997): ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN POR MEDIO DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA HIDRODINÁMICA. Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua. Revista Ingeniería del Agua 1997, vol. 4, núm.3.
- 042.** Erasmo Alfredo Rodríguez Sandoval Ricardo Alfonso González Pinzón, Martha Patricia Medina Nieto, Yuly Andrea Pardo Cotrino, Ana Carolina Santos Rocha: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA. CASO DE ESTUDIO EN LA PARTE BAJA DEL RÍO LAS CEIBAS (NEIVA-HUILA). Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), Universidad Nacional de Colombia.
- 043.** Gloria Espíritu Tlatempa “Detección de zonas de inundación por factores geomorfológicos e hidrológicos, en la cuenca de Coatán. Una propuesta metodológica”. FOMIX COCYTECH
- 044.** Sergio Jiménez Hernández Diego Sánchez González ORDENACIÓN URBANA LITORAL Y PREVENCIÓN ANTE DESASTRES DE INUNDACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DE TAMAULIPAS, MÉXICO. El Sistema de Alerta Temprana contra Eventos Meteorológicos Extremos (SATEME). Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- 045.** Jhonny J Santodomingo C (2006): Índice Potencial de Inundación (IPI): “Una metodología asociada para evaluar la vul-

nerabilidad ambiental presente en el perímetro urbano de la parte baja de la cuenca del río San Rafael producto de inundaciones rápidas o (Flash Floods), en Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar-Venezuela”. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar-Venezuela. En: www.monografias.com

046. Roberto Campaña Toro: Introducción a las Técnicas de Microzonificación para Inundaciones IMEFEN–CISMID. Perú rcampana@uni.edu.pe

047. Ramiro E. Reyes González; Miguel Sánchez, Tereza Imbert, Eugenio Landeiro Yusniel Nuñez (2009): UNA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGOS DE INUNDACIÓN POR INTENSAS LLUVIAS EN DOS SECTORES DE CIUDAD DE LA HABANA, CUBA. En Revista Mapping Interactivo.

Peligro de inundaciones costeras

México está sometido a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos severos, tales como: los ciclones tropicales, frentes fríos fuertes y bajas presiones extratropicales, que producen con cierta frecuencia inundaciones costeras, las cuales han sido reportadas por diferentes autores.

De estos los que tienen una influencia más devastadora son los ciclones tropicales, ya que éstos provocan un ascenso mayor al habitual del nivel medio del mar, lo que origina la entrada de agua marina a las zonas bajas que colindan con el océano y pueden ocasionar inundaciones. Este levantamiento del nivel medio del mar se debe, principalmente, a los vientos de los ciclones tropicales y se le denomina *marea de tormenta*.

Aunque en menor proporción que los vientos, la amplitud de la marea de tormenta

también depende de la presión atmosférica, así como de algunos aspectos físicos del lugar, tales como la forma que tiene la línea de la costa, la configuración del terreno fuera del mar y las profundidades del fondo marino cercano a tierra.

El viento que sopla en la superficie del mar también genera oleaje. Cuanto más grande es su magnitud, la extensión del área donde actúa y el tiempo que dura su acción, resultan ser mayores las olas. Cuando la marea de tormenta es grande, el mar suele tener olas altas y, en estos casos, se incrementa notablemente el efecto destructor de ellas, ya que pueden impactar sobre construcciones costeras y viviendas.

La combinación de la marea de tormenta grande y el oleaje alto también puede destruir instalaciones portuarias, romper obras de defensa costera, hundir embarcaciones o erosionar las playas. Este último, puede socavar la zona de apoyo de los cimientos de los edificios y otras clases de estructuras localizadas encima de ellas, lo que podría ocasionar su falla.

Como puede observarse, estos son fundamentos importantes para que el peligro por inundaciones costeras se convierta en un elemento de extraordinaria importancia para el Ordenamiento Ecológico.

Entre los aspectos más importantes están los siguientes:

- La amplitud de la marea de tormenta depende de varios factores físicos del lugar donde se desee conocerla, como es el fondo marino, o batimetría, la línea de costa y su ubicación respecto de la trayectoria del ciclón y los vientos de éste.
- Para obtener las elevaciones del nivel medio del mar debido a la marea de tor-

menta, a lo largo del tiempo, dentro de un área de interés cercana al continente, se requiere simular el ascenso del nivel medio del mar y las velocidades marinas que provocan los vientos del ciclón tropical sobre la superficie del océano.

Existen varias metodologías para el cálculo del peligro de inundaciones pero en general, a través de las mismas pueden obtenerse mapas que pueden ayudarnos en la definición de las áreas a considerar en el análisis para el Ordenamiento Ecológico.

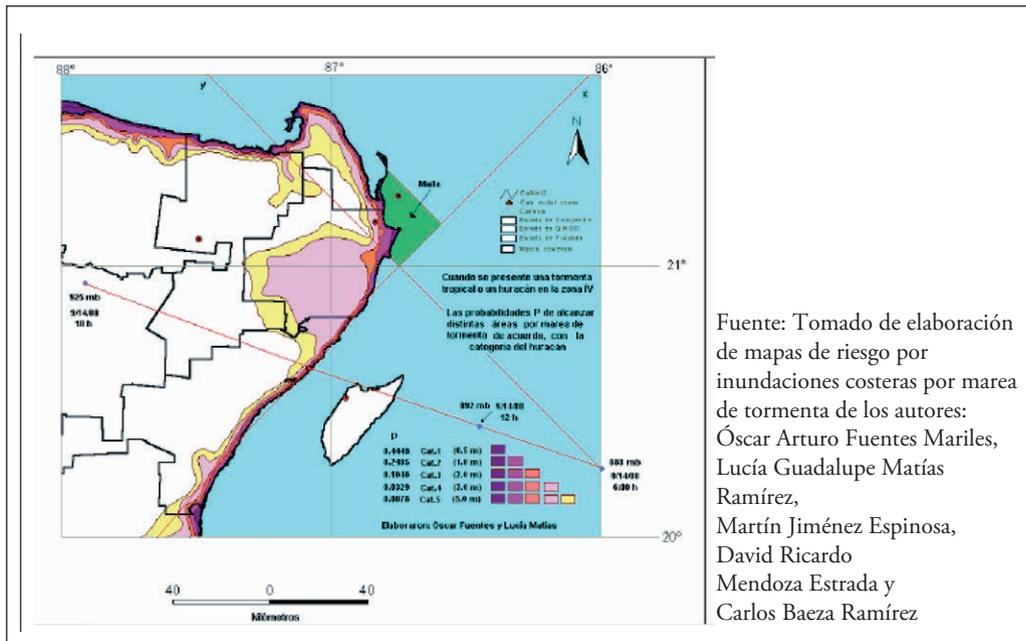
Pueden determinarse el peligro de las áreas según la categoría del huracán como se muestra en la figura 26.

También pueden hacerse los análisis del peligro según el tiempo de retorno como se muestran en las imágenes de la figura 27.

Otro análisis que es posible realizar es el de peligros por surgencias, como se muestra en la figura 28.

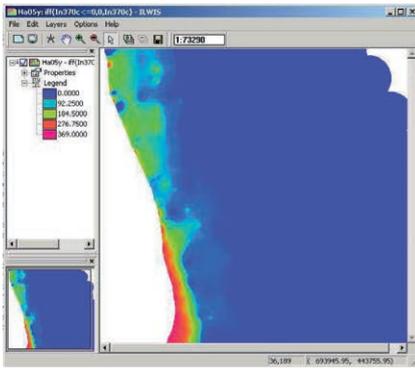
Teniendo en cuenta diversas experiencias, recomendamos la siguiente bibliografía básica:

048. Óscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Martín Jiménez Espinosa, David Ricardo Mendoza Estrada y Carlos Baeza Ramírez (2006): ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA. En: Guía básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos. Serie Atlas Nacional de Riesgos. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES.

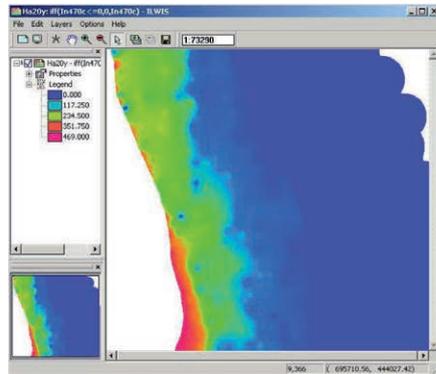


Fuente: Tomado de elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta de los autores: Óscar Arturo Fuentes Mariles, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Martín Jiménez Espinosa, David Ricardo Mendoza Estrada y Carlos Baeza Ramírez

Figura 26. Mapa de peligro por inundaciones por marea de tormenta en el norte de Quintana Roo.



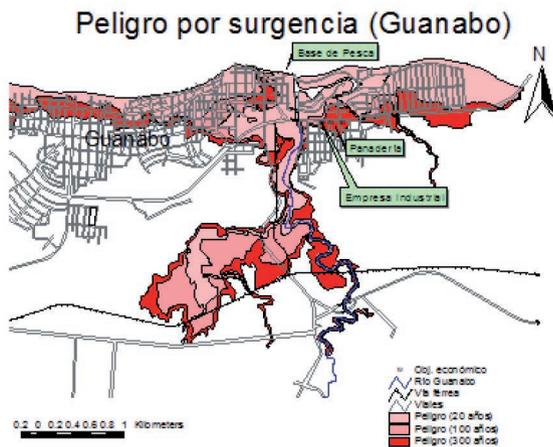
a) Mapa de amenaza por inundación para un período de retorno de 5 años.



b) Mapa de amenaza por inundación para un período de retorno de 20 años

Fuente: M. Damen; Van Western. Modelamiento del riesgo por marejada asociada a la ocurrencia de un ciclón: Bangladesh.

Figura 27. Mapas de peligro por inundaciones para eventos con tiempos de retorno de 5 (a) y 20 (b) años.



Fuente: Batista Silva, J.L
Estudio de la surgencia en un sector del este de La Habana.

Figura 28. Mapa de peligro por surgencias en el este de La Habana.

- 049.** Batista Silva J.L y M. Sánchez Celada (2007): Peligro y Vulnerabilidad en el este de La Habana. En Mappin Intercativo Héctor Eslava Morales, Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Óscar Arturo Fuentes Mariles, Marco Antonio Salas Salinas, Fermín García Jiménez y Martín Jiménez Espinosa (2007): IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIONES COSTERAS POR MAREA DE TORMENTA: CASO ISLA ARENA, MUNICIPIO DE CALKINÍ, CAMPECHE. CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México. Organización Mexicana de Meteorólogos, AC. Memoria del Congreso 20071116-01.
- 050.** M. Damen; Van Western. Modelamiento del riesgo por marejada asociada a la ocurrencia de un ciclón: Bangladesh. Department of Earth Resources Surveys, International Institute Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, Netherlands.
- 051.** Medina, R., y F. Mendez (2006): Inundación Costera originada por la dinámica marina. I.T No 74-2006

PELIGRO DE SEQUÍAS

A diferencia de los anteriores cinco peligros analizados las sequías son períodos secos prolongados en los ciclos climáticos naturales por lo cual en términos de tiempo tenemos fenómenos que se muestran de forma diferentes. En regiones áridas y semiáridas es común que haya períodos más secos o más húmedos que de costumbre y estas variaciones causan serios problemas.

La sequía en forma universal y cuantitativa es considerablemente difícil de explicar, a tal grado, que las definiciones de sequía son casi tan numerosas como las publicaciones

que se refieren a este tema, pero en términos generales, la sequía puede considerarse como la falta de suficiente agua para la demanda de la sociedad. Aunque el término sequía es más comúnmente utilizado con respecto a la precipitación y la humedad del suelo, también se aplica para deficiencias o carencias de agua de otras fuentes, por ello muchos investigadores consideran sólo los efectos adversos para el hombre.

La desertificación es la expansión de condiciones de tipo desérticas, causada por las actividades humanas con la consiguiente disminución en la producción de biomasa. Se manifiesta como pérdida de suelos productivos, erosión hidráulica o eólica, creación y movimiento de dunas, anegamiento, reducción de la cantidad y calidad de aguas superficiales y subterráneas, y un rápido agotamiento del tapiz vegetal.

La desertificación es el resultado de la interrelación de varios fenómenos; con frecuencia, la erosión y salinización causadas por el hombre agravan la sequía (meteorológica). La erosión hidráulica ocurre en cualquier tipo de pendiente, pero puede acelerarse con el exceso de pastoreo, la deforestación, ciertas prácticas agrícolas, la construcción de carreteras y el desarrollo urbano y por estos motivos resulta importante valorarla a los fines del Ordenamiento Ecológico.

Muchos de los problemas asociados con la desertificación pueden evitarse con una buena planificación. Esto requiere información sobre las condiciones físicas y el contexto sociocultural del área. Si el área tiene potencial de desertificación, debería hacerse una evaluación sobre la amenaza de desertificación al comienzo del estudio de planificación del desarrollo.

Se han desarrollado métodos simples y eficaces para realizar dichas evaluaciones, que pueden ser aplicados en las primeras etapas de planificación. Estos métodos utilizan en la forma más simple el déficit hídrico que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Déficit hídrico} = \text{precipitaciones} - \text{evapotranspiración real}$$

La evapotranspiración corresponde a la cantidad de agua (expresada en milímetros) evaporada de los suelos sumada a la cantidad de agua que proviene de la transpiración de los vegetales. Para la elaboración del mapa de déficit no se toman en cuenta otros factores que también condicionan las sequías tales como el viento (deseccación de los suelos), la heliofanía (soleamiento), la naturaleza de los suelos (capacidad de almacenar agua) y la altura (mientras más alto, el aire es más seco).

El mapa resultante de la amenaza de desertificación puede utilizarse para diseñar y evaluar proyectos de desarrollo considerando la escasez de aguas y el potencial de desertificación. Este método, que utiliza datos generalmente disponibles, puede utilizarse en la misión preliminar para lograr una primera estimación del peligro utilizando

En México, se tiene conocimiento que desde las primeras civilizaciones prehispánicas que se establecieron, se padeció el fenómeno de la sequía en sus diferentes manifestaciones y en los últimos años por el desarrollo propio del país, ha adquirido una gran relevancia, dado que los daños originados por ella, superan en magnitud, a los de otros fenómenos hidrometeorológicos.

Dada la importancia de los efectos de la sequía meteorológica en diferentes actividades económicas y sociales en el país, se considera relevante mostrar en forma espacial y temporal las áreas afectadas por este evento atmosférico de rango excepcional, aspecto previo y necesario para el establecimiento de propuestas de ordenación territorial.

Para determinar el inicio de una sequía meteorológica, las definiciones operativas especifican el grado de partida del promedio de precipitación o alguna otra variable climática en un periodo de tiempo. Esto es comúnmente hecho al comparar la situación actual con el promedio histórico, y a menudo basado en un periodo de registros de 30 años.

Si bien el criterio más común o más conocido es aquel que agrupa a las definiciones por tipos: meteorológico, hidrológico, agrícola y socioeconómico, cada uno proporciona una definición y caracterización distinta. Los tres primeros se aproximan más a considerar a la sequía como un fenómeno físico. La última se asocia con la sequía en términos de suministro y demanda, y los efectos del déficit de agua como afectaciones en los sistemas socioeconómicos.

Entre las instituciones y fuentes de información para el análisis de la sequía pueden considerarse las siguientes:

- Comisión Nacional del Agua (CNA).
- Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
- IG. (1991). Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. UNAM.
- SEGOB – CENAPRED. (2000b). Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. Versión Digital. CENAPRED. México.

- Castorena, G., Sánchez, M. E., Florescano, M. E., Padilla, R. G. y Rodríguez, M. L. (1980). Análisis histórico de las sequías de México. Comisión Nacional Hidráulica. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 137 p.
- Sancho y Cervera, J., Zavala, Z. F., Sánchez, V. M. y Martínez, V. V. (1980). Monitoreo de sequías y heladas. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Dirección de inventarios de agua y suelo. Proyecto IA800/. México. Pp. 14-16.
- Tinajero, G. J., Huesca, L. A, Martínez, V. V., Morelos R. J, Ruíz, H., J., Escalante, M., F y Díaz, E. (1986). Análisis de la sequía en México en el periodo 1976-1980. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. Pp. 33-51.

El tema de la sequía es tal vez uno de los peligros naturales más difíciles de integrar al OET, tanto por su expresión territorial (espacial) como por su dimensión temporal (cómo se expresa en el tiempo). Y al mismo tiempo es un fenómeno que sirve de vínculo para enlazar las amenazas con los efectos del calentamiento global.¹⁷

Independientemente de la magnitud o intensidad de la sequía (dada por la superficie que afecta o por el número de meses ó años que puede durar) el OET tiene serios

retos para incluir este peligro, pero por otro lado y casi de manera paradójica la planeación territorial (independientemente de la institución que la promueva, en este caso sea SEMARNAT, SEDESOL o SAGARPA) requiere integrar este conjunto de variables del clima y sus definiciones. Entre otras razones por la cadena de consecuencias y vínculos con otros fenómenos o procesos que a su vez se expresan como nuevas amenazas sean naturales o sociales.

Una de las derivaciones de esta condición se expresa en el aumento de frecuencia o intensidad de incendios, sea en cultivos, pastizales o forestales. De igual modo, una sequía intensa puede afectar también la vulnerabilidad de los ecosistemas (stress hídrico). Y por supuesto problemas asociados a la seguridad alimentaria e incluso de abasto de agua a las ciudades.

En esta sección por ello haremos referencia no sólo a los índices y definiciones más utilizadas sino sobre todo a las instituciones y discusiones que sobre el tema existen y son más avanzadas.

Entre ellas cabe destacar los esfuerzos del gobierno de Cuba¹⁸ y República Dominicana cuyos resultados son plenamente aplicables al OET así como también a las instituciones de Estados Unidos¹⁹ que monitorean constantemente y de manera muy útil y accesible este fenómeno.²⁰

¹⁷ <http://pembu.atmosfcu.unam.mx/~cambio/>

¹⁸ <http://www.medioambiente.gob.do/cms/archivos/web/cambioclimatico/doc/estnac/adap.pdf>
<http://www.undp.org/cu/proyectos/riesgos/Doc/Informe%20Fina-Componente%20APF-VER-SION%20ESPA%20D1OL.pdf>

índices de cuba http://www.undp.org/cu/eventos/cclimatico/Presentaci%20F3n%20Cuba%201_1.pdf

¹⁹ <http://drought.unl.edu/dm/>

²⁰ <http://drought.unl.edu/DM/classify.htm>

Conceptos como sequía hidrológica pueden tener también usos muy útiles tanto en el diagnóstico como en el pronóstico del OET puesto que las condiciones de uso de suelo (cambios en la vegetación, deforestación o degradación de suelos) o desarrollo de infraestructura terminan modificando las características hidrológicas de las cuencas. La figura 29 muestra la concatenación y relación de estas categorías y de los procesos asociados a estas variaciones del clima.

Las sequías son episodios difícilmente predecibles y de lenta gestación, pero potencialmente catastróficos que amenazan con alterar gravemente el modo y calidad de vida

de la sociedad, su seguridad y su desarrollo económico.²¹

La sequía es uno de los eventos hidrometeorológicos extremos más complejos que puede afectar a más gente que cualquier otro. A pesar de que es una característica normal y recurrente del clima, erróneamente se le considera un acontecimiento raro y al azar, debido a que su comienzo y final no están al alcance de la percepción humana, a diferencia de otros fenómenos hidrometeorológicos como los huracanes, ésta tiene un proceso lento de desarrollo y retiro; su duración depende del concepto del tipo de sequía bajo el cual se analice, por lo que ésta

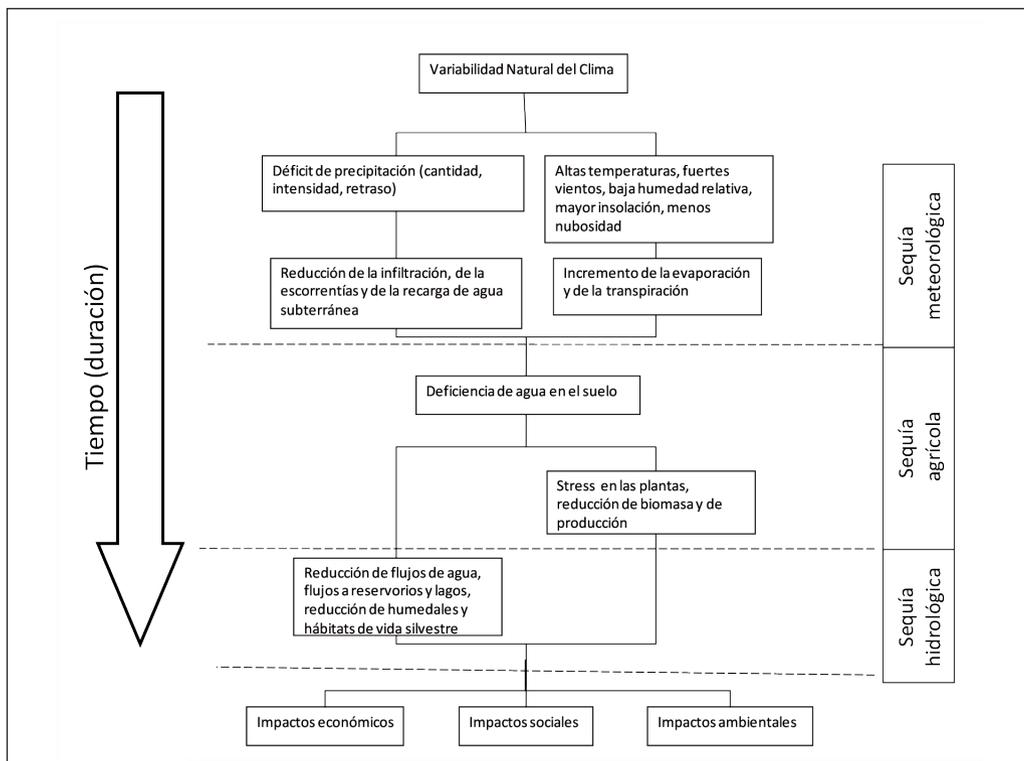


Figura 29. Diagrama que relaciona la influencia de unos y otros procesos desencadenados por la variabilidad del clima en distintos segmentos de los sistemas naturales y productivos. Traducida de *What is Drought? Understanding and Defining Drought*. <http://drought.unl.edu/whatis/concept.htm>

puede ser de meses o años; su escala espacial es difícil determinar, ya que los límites no se pueden precisar con exactitud, a diferencia de otros eventos como las erupciones volcánicas o deslizamientos de tierra; y sus efectos son difícilmente notados en el tiempo en el que se presenta y pueden continuar años después de que haya terminado.²²

En el sentido más general, la sequía se origina de la deficiencia de precipitación sobre un período de tiempo largo, dando por resultado escasez de agua para el desarrollo de diversas actividades socioeconómicas. No obstante, la evaluación de las afectaciones de esa falta de agua requiere comprender que los impactos de la sequía son secuenciales, es decir, resultan de la interacción de la frecuencia, severidad y del grado espacial de la sequía (la naturaleza física de la sequía) y del grado de vulnerabilidad de la población o sector.

La falta de una definición de sequía universalmente aceptada, provoca confusión sobre si existe o no en un lugar y tiempo determinado, así como su severidad, lo cual refleja la complejidad de este fenómeno climático (Wilhite, 1997)²³. Aunque las definiciones son numerosas, la mayoría de ellas no establecen las características del fenómeno, lo que dificulta el entendimiento

entre científicos, tomadores de decisiones y cualquier usuario de la información climática. Por ejemplo, los indicadores utilizados para declarar una sequía están asociados con aspectos diferenciales como cantidad de precipitación, contenido de humedad del suelo, niveles de ríos, lagos y presas, e incluso salud de la vegetación.

De acuerdo con el National Drought Mitigation Center ²⁴, la sequía ocurre de forma implícita en todas las zonas climáticas, pero sus características varían de forma significativa de una región a otra. La sequía es una aberración temporal de la lluvia y difiere de la aridez, la cual está restringida a regiones con una baja precipitación y es un rasgo permanente del clima.

Con frecuencia se confunde la sequía con la aridez, por lo que la World Meteorological Organization (1975) las distingue de la siguiente manera: la aridez se define generalmente en términos de baja precipitación y alta evapotranspiración (en promedio) y es una característica permanente de la región. La sequía por su parte, es una característica temporal en el sentido de que tiene presencia cuando la lluvia o humedad disponible se desvía apreciablemente por debajo de lo normal. La aridez está restringida a las regiones con baja precipitación y usualmente

²¹ Aparicio-Florido, J. A. 2007. El riesgo de sequía y su inclusión en los planes de protección civil. Boletín de la A.G.E. N.º 44 - 2007, págs. 95-116. <http://age.ieg.csic.es/boletin/44/05-aporicio.pdf/>

²² Texto integro tomado Neri, Carolina. (2010). Tesis de Maestría: Elementos para un Sistema de Alerta Temprana ante Sequías. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

²³ Wilhite, D.A. 1997. State Actions to Mitigate Drought: Lessons Learned. *Journal of the American Water Resources Association* 33(5):961-968. Wilhite, D.A. 1997. Responding to Drought: Common Threads from the Past, Visions for the Future. *Journal of the American Water Resources Association* 33(5):951-959. <http://www.drought.unl.edu/pubs/dawpubs.htm>

²⁴ <http://drought.unl.edu/>

altas temperaturas, mientras que la sequía es posible virtualmente en cualquier régimen de temperatura y/o humedad. Mientras la aridez ocasiona que las actividades humanas se realicen en función de la baja en humedad permanente, con la sequía se interrumpen las actividades normales en la zona que afecta ante la disminución extraordinaria de humedad. El National Drought Mitigation Center²⁵ usa diferentes definiciones de sequía:

- **Sequía meteorológica:** se define generalmente en base al grado de sequedad (en la comparación a una cierta “cantidad normal” o media) y de la duración del período seco. La definición de sequía meteorológica debe considerar específicamente las condiciones atmosféricas de la región ya que las diferencias de las formas en que llueve varían de región en región.
- **Sequía agrícola:** la sequía agrícola relaciona varias características de la sequía meteorológica (o hidrológica) y los impactos en la agricultura. La demanda del agua de la planta depende de las condiciones atmosféricas que prevalecen en la región, así como de las características biológicas de la planta específica, de su etapa del crecimiento y de las características físicas y biológicas del suelo. La sequía agrícola puede llegar a explicar la susceptibilidad de los cultivos durante las diversas etapas de su desarrollo; una deficiente humedad en la tierra puede obstaculizar la etapa de germinación, resultando en una reducción de la producción final.

- **Sequía hidrológica:** se asocia a los efectos del déficit de precipitación en el abastecimiento de agua superficial o subterránea. Aunque todas las sequías se originan de la deficiencia de precipitación, los hidrólogos se refieren al papel de esta deficiencia fuera del sistema hidrológico. Las sequías hidrológicas son generalmente fuera de fase de la ocurrencia de las sequías meteorológicas y agrícolas. Por ejemplo, una deficiencia de la precipitación puede dar lugar al agotamiento rápido de la humedad del suelo que es inmediatamente perceptible a los agricultores, pero el impacto de esta deficiencia en los niveles de agua subterránea puede no afectar la producción de energía hidroeléctrica en varios meses.

En México el Centro de Investigación Sobre Sequía²⁶, define a este fenómeno climático de la siguiente manera: una sequía es un período considerado como anormalmente seco, el cual persiste a través del tiempo y puede producir graves desbalances hidrológicos en una determinada región. La severidad de una sequía, depende en gran medida del grado de deficiencia de humedad, de la duración y de la superficie afectada.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2002) propone la siguiente definición: la sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación es menor que el promedio y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas.

²⁵ <http://drought.unl.edu/whatis/concept.htm>

²⁶ <http://www.sequia.edu.mx/>

En resumen, cada usuario del agua tiene su propia idea o concepción de sequía y cada concepción cambia con las condiciones operativas del usuario (Dracup *et al.*, 1980).²⁷

Los impactos de la sequía

Se ha comprobado que la sequía es uno de los fenómenos climáticos que mayor daño económico causa a México. La sequía ocurrida en 1997-1998 por causas de El Niño, se considera una de las más severas de que se tenga registro ya que afectó la mayoría del territorio nacional, produciendo pérdidas del orden de 4 mil millones de pesos por concepto de cosechas siniestradas, así como importaciones adicionales de granos con un costo de 1 300 millones de dólares debido a la disminución registrada en la producción nacional (Magaña *et al.*, 1999, Delgadillo *et al.*, 1999).²⁸

Uno de los sectores económicos más afectados por la sequía en el país, es el sector agrícola. Los efectos de la sequía en la agricultura son de diversos grados, según su periodicidad e intensidad pueden alcanzar desde daños patrimoniales al productor y a la economía familiar por pérdida parcial o total de la inversión y del ingreso esperado hasta daños a la economía regional y nacional por la interrupción del ciclo productivo, reducción del ingreso, desocupación pro-

ductiva, desabasto de alimentos, pérdida del nivel de bienestar, desarraigo y migración (AGROASEMEX, 2006).²⁹

Las costosas pérdidas que año con año se presentan en la producción agrícola, debido a su gran dependencia de los factores climáticos, principalmente de la precipitación, la hace altamente vulnerable ante el retraso, irregularidad o deficiencia persistente de la lluvia. Ante este déficit de lluvia, los productores agrícolas se han protegido con el desarrollo de sistemas de irrigación, el uso de diversas semillas, cambios en los usos del suelo, entre otras estrategias de manejo flexibles. Por su parte, el gobierno diseñó un mecanismo financiero para apoyar a los productores afectados ante la ocurrencia de contingencias climatológicas atípicas, en el que se incluye a la sequía, titulado: Fondo para atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). En el 2003 se crea el FAPRACC como un nuevo instrumento financiero, auspiciado por el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC).³⁰ A partir del 2008 FAPRACC dejó de operar con este nombre y continúa solo como PACC.

Una de las sequías más recientes y que ha sido considerada como una de las más excepcionales del siglo xx, fue la que presentó en 1998, se reportaron 14 445 incendios

²⁷ Dracup, J. A., Fee, K. S. & Paulson, E. G., Jr. (1980). On definitions of droughts. *Wat. Resour. Res.* 16(2), 297-302

²⁸ http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/wg2/531.htm
http://www.grida.no/CLIMATE/IPCC_TAR/wg2

²⁹ AGROASEMEX. 2006. La Experiencia Mexicana en el Desarrollo y Operación de Seguros Paramétricos Aplicados a la Agricultura. Querétaro, México. Disponible en http://www.agroasemex.gob.mx/media/publicaciones/agricola_es.pdf

³⁰ Para más información véase: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Programas/Paginas/ProgramadeAtencionContingenciasClimatologicasPACC.aspx>

que afectaron 849 mil ha. (Palacios *et al.*, 1999).³¹ Además, durante este año se incrementaron las ondas de calor que hicieron rebasar las temperaturas máximas históricas en muchos lugares del país.

Según los registros del CENAPRED, entre los años 1979 y 1988 el estado de Coahuila sufrió 10 años de sequías. En número de años de ocurrencia le siguieron Guanajuato (10), Durango (9), y Zacatecas (9). Los estados que más pérdidas sufrieron por estas causas fueron, en orden decreciente: Guanajuato, Zacatecas, Jalisco, Durango y Tamaulipas (tabla 11).

En la década siguiente, se tiene referencia de sequías que tuvieron efectos devastadores en varios estados, como las de 1994, cuando fallecieron 54 personas por deshidratación en Chihuahua, se reportó la muerte de 20 mil reses en Baja California Sur, se registra-

ron pérdidas por 100 millones de pesos en la agricultura del estado de Guerrero, resultaron también dañadas 5 000 hectáreas de cultivos en Tlaxcala y se perdieron 12 mil hectáreas de maíz en Chiapas, estado que, sin embargo, tiene históricamente el mayor índice de precipitación del país (1 982 mm al año, siendo la media nacional de 777 mm).

Durante este periodo de sequía en la década de los 90, se presentaron graves problemas relacionados con el abasto de agua en la frontera norte del país. Los niveles promedio de almacenamiento de las presas Amistad-Falcón fueron de sólo el 30% de su capacidad total y en algunos casos llegaron a registrar niveles del 16 y 8%, respectivamente, por lo que México no pudo cumplir con sus obligaciones según el Tratado del 44 y comenzó a generar una deuda sin

Tabla 11. Afectaciones por sequías 1979-1988 (millones de pesos corrientes).

Fuente: CENAPRED, 2001.

Estado	Ha (000) Pérdidas	Monto	Años de ocurrencia en el periodo
Coahuila	260	20	10
Durango	1 287	66	9
Guanajuato	4 525	234	10
Guerrero	741	32	8
Jalisco	1 973	175	7
Nuevo León	397	40	8
Querétaro	507	29	8
Tamaulipas	1 116	47	8
Zacatecas	2 627	150	9
Otros	6 979	419	
TOTAL	20 412	1 212	

³¹ Palacio-Prieto, J.L., Laura Luna-González^o y Lyssania Macias-Morales. Detección de incendios en México utilizando imágenes AVHRR (temporada 1998). Investigaciones geográficas. Boletín 38, 1999. <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol38/b38art1.pdf>

precedentes que llegó a sumar en 2001 hasta 1.8 millones m³ de agua. El conflicto de índole binacional en el río Bravo dio lugar a la modificación de los acuerdos internacionales para establecer los pagos de México a Texas vía río Conchos, según consta en el Acta 308 de la Comisión Internacional de Límites y Aguas firmada en el 2002³² y fue hasta el 2007 cuando México concluyó con el pago de su histórica deuda de agua con los Estados Unidos.

El futuro se torna más amenazador al considerar el Cambio Climático, entre cuyos efectos está el aumento en la frecuencia de sequías en determinadas zonas del planeta. Se considera que este puede llegar uno de los más serios problemas que enfrentará la humanidad, en especial los países ubicados en las zonas subtropicales, donde los altos niveles de radiación solar y evaporación se combinan con escasas precipitaciones y favorecen la recurrencia de periodos prolongados de sequía en áreas extensas.

Acciones gubernamentales ante la sequía

Ante la alta vulnerabilidad que enfrenta el sector agrícola, el gobierno federal ha impulsado mecanismos para atender los impactos de eventos climáticos extremos que resultan en daños o pérdidas. En 1995 desarrolló el FONDEN,³³ mediante el cual se dan apoyos para la recuperación de desastres producidos por fenómenos naturales extremos, como la sequía. Debido a los altos montos requeri-

dos año con año para mitigar las pérdidas agrícolas, en el 2003 se crea el FAPRACC³⁴ como un nuevo instrumento financiero, auspiciado por el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC), que cuenta con dos formas de apoyo:

Atiende las necesidades de los productores de bajos ingresos ante la ocurrencia de eventos climáticos catastróficos, que no cuentan con ningún tipo de aseguramiento público y/o privado, y que realicen preponderantemente actividades de tipo agrícola de temporal, pecuarias, acuícolas y pesqueras, esto mediante la entrega de recursos de forma directa a los productores.

Apoyo económico a los gobiernos estatales para la contratación de seguros agropecuarios, para evitar utilizar recursos presupuestales de manera directa en desastres de alto impacto en las actividades agropecuarias, a lo que se denomina Seguro Agropecuario Catastrófico (SAC) siendo éste un instrumento de administración de riesgos que permite adoptar estrategias financieras para el manejo y transferencia del riesgo catastrófico, enfrentar con mayor eficiencia las consecuencias económicas y sociales que generan los eventos climáticos extremos en la actividad agropecuaria y disminuir la presión sobre las finanzas públicas por la ocurrencia de dichos eventos.

Un apoyo más es el Programa Integral de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva en Zonas de Siniestralidad Recurrente³⁵ (PIARSE), mediante este programa se

³² <http://portal.sre.gob.mx/cilanorte/pdf/308.pdf>

³³ Para más información véase: <http://www.proteccioncivil.gob.mx>

³⁴ Para más información véase: <http://www.sagarpa.gob.mx/fapracc/>

³⁵ Para más información véase: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/programas/piasre.htm>

busca fomentar el desarrollo sustentable en regiones frecuentemente afectadas por fenómenos climatológicos adversos que inciden en la disminución de productividad. Con el surgimiento del FAPRACC, el FONDEN se desliga del sector rural y el PIARSE y FAPRACC se complementan junto con PROCAMPO³⁶ y Alianza para el Campo³⁷, para impulsar al sector productivo agropecuario. Es importante hacer notar que una diferencia entre el FAPRACC y el PIARSE es que este último, también atiende obras de carácter social. El FAPRACC puede ser ejecutado en aquellos lugares que no estén recibiendo apoyo de PIARSE.

Al igual que el FONDEN, el FAPRACC cuenta con ciertas reglas para hacer la llamada Declaratoria por Contingencia Climatológica. Cuando ocurre una sequía (o helada), los gobiernos de los estados deben dirigirse a la SAGARPA para solicitar la emisión de la Declaratoria. Este proceso cuenta con varias etapas para que los campesinos obtengan finalmente los apoyos. Y si bien existen contradicciones entre las definiciones de sequía que una y otra institución utiliza, y por tanto existe la posibilidad de declarar sequía cuando no existe la condición, el tema de las reglas de operación es útil en cuanto a la traducción de políticas públicas y el territorio.

El proceso de planeación ante sequías se ha estado desarrollando desde principios de los años 80 principalmente a través del ensayo y error, de ahí que el proceso aún es confuso y las perspectivas de la planeación pueden ser desalentadoras. Sin embargo, aunque la sequía es una amenaza natural, la

sociedad puede reducir su vulnerabilidad y por lo tanto disminuir los riesgos asociados. Los impactos de la sequía, así como los de otros peligros naturales, se pueden reducir con la mitigación y la prevención (gestión del riesgo).

La vulnerabilidad ante una sequía en países en vías de desarrollo como México, es bastante diferente que en los países desarrollados, ya que en los primeros las preocupaciones principalmente se enfocan hacia problemas de seguridad, alimentación (para satisfacer las necesidades nutritivas de la población), degradación ambiental, y su retraso en el proceso de desarrollo, en esos países es común que los fenómenos naturales se enfrenten de manera reactiva, es decir, una vez ocurrido un evento se actúa ante los efectos que éste haya provocado.

Indicadores

Los indicadores de sequía están relacionados con cientos de datos de precipitación, nieve, caudales de los ríos e indicadores de suministro de agua. En general, no se utiliza un único indicador para caracterizar la sequía en una zona. La sequía como fenómeno requiere de una base territorial para su manejo. Por ello desde la perspectiva de protección civil en España se afirma, "Información territorial: donde se describirán los datos geográficos y demográficos que caracterizan el espacio físico abarcado por el plan, con especial significación de los rasgos climáticos, la distribución y flujos poblacionales, las estructuras geológicas más destacadas, la información hidrológica de los acuíferos

³⁶ Para más información véase: <http://www.sagarpa.gob.mx/infohome/procampo.htm>

³⁷ Para más información véase: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/pages/sagri/pfa.htm>

-superficiales y subterráneos- y de los caudales circulantes, la existencia, ubicación y capacidad de las plantas desaladoras y de los centros de depuración y reciclado de aguas residuales, las redes más importantes de distribución de agua para consumo urbano y regadío, los canales de trasvase, los aspectos más relevantes de la vegetación, los espacios protegidos y los usos del suelo, así como los procesos industriales con mayor dependencia de los recursos hídricos, entre otros datos de interés”.³⁸

En este apartado daremos algunas definiciones cuyas fuentes de información están disponibles para cualquier usuario.

Índices de sequía utilizados por US Drought Monitor Center³⁹, y avalados científicamente por la National Drought Mitigation Center.⁴⁰

Existen muchas buenas referencias y traducciones sobre los índices utilizados por Estados Unidos⁴¹, mismos que también son manejados por el Sistema de alerta temprana para Centroamérica, Monitor de Sequía.⁴²

*Índice de Precipitación Estandarizada (IPE)*⁴³

El índice de precipitación estandarizada (SPI)⁴⁴ fue desarrollado en el entendido que un cierto déficit de precipitación tiene diferentes impactos en la humedad del suelo, el agua de la tierra, almacenamiento de reser-

vorios, nieve y flujo de corriente. El SPI fue diseñado para cuantificar el déficit de precipitación para múltiples escalas de tiempo. Estas escalas reflejan el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de los varios tipos de recursos de agua. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías en la precipitación sobre una escala relativamente corta, mientras que el agua de la tierra, el flujo de corriente, y el almacenamiento de reservorios reflejan las anomalías de precipitación a largo plazo. Por estas razones, el SPI fue originalmente calculado para períodos de tiempo de 3, 6, 12, 24 y 48 meses.

El SPI es un índice basado en el registro de precipitación para un lugar y período elegido (meses ó años). El registro está ajustado a una distribución de probabilidad que es transformada a una distribución normal, así que el SPI medio para el lugar y período es cero. El índice es negativo para sequía y positivo para condiciones de no sequía.

La tabla 12 muestra un sistema de clasificación que enlaza el SPI con intensidades de sequía. Un evento de sequía ocurre en cualquier tiempo que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad menor o igual a -1.0. El evento termina cuando el SPI llega a ser positivo. Cada evento seco tiene una duración definida por su principio y fin, y una intensidad para cada mes que el

³⁸ Aparicio-Florido, J. A. 2007. El riesgo de sequía y su inclusión en los planes de protección civil. Boletín de la A.G.E. N.º 44 - 2007, págs. 95-116. <http://www.medioambiente.gov.do/cms/archivos/tematico/PROYECTORDPDF.pdf>

³⁹ <http://drought.unl.edu/dm/>

⁴⁰ ¿Qué es una sequía? Texto explicando los índices. <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm>

⁴¹ <http://www.monografias.com/trabajos44/indicadores-sequias/indicadores-sequias.shtml>

⁴² <http://www.satcaweb.org/alertatemprana/sequia/>

⁴³ Tomado de http://tresproblemas.sdsu.edu/tres_problemas_sequia03.html

⁴⁴ Utilizado por Centro de Investigación Sobre Sequía <http://www.sequia.edu.mx/>

Tabla 12. Sistema de clasificación del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI).

Clasificación de SPI	
2.0 o más	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Casi normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
-2.0 ó menos	Extremadamente seco

evento dura. La suma de los SPI para todos los meses dentro de un evento de sequía es la magnitud de la sequía.

Índice de severidad de sequía de Palmer⁴⁵

En 1965 Palmer desarrolló un índice para medir la salida (déficit) del suministro de humedad, Palmer basó su índice sobre el concepto de suministro -demanda de la ecuación del balance del agua, tomando en consideración el déficit de precipitación. El objetivo del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP o PDSI, en inglés), es el de proporcionar medidas estandarizadas de condiciones de humedad, de tal forma que permita hacer comparaciones entre condiciones locales y entre duraciones.

El ISSP es un índice de sequía meteorológica que responde a una condición anormal del tiempo, en cualquiera de las dos situaciones presentes, de sequía o de humedad, por ejemplo, cuando cambian las condiciones de sequía a condición normal o de humedad, la medición de la sequía por el índice de ISSP

se determina sin tomar en consideración el flujo de los arroyos, lagos y niveles de los reservorios y otros aspectos hidrológicos. El ISSP es calculado en base a los datos de temperatura y precipitación, así como los datos locales del contenido de agua disponible en el suelo (CAD, AWC, por siglas en inglés). De las entradas, todos los términos básicos de la ecuación del balance del agua pueden ser determinados, incluyendo la evapotranspiración, recarga del suelo, escorrentía y pérdida de humedad de la capa superficial (del suelo). Los impactos humanos sobre el balance de agua, como la irrigación no son considerados.

Palmer desarrolló el ISSP para incluir la duración de una sequía o un período húmedo (*wet spell* un periodo casi sin humedad). Un mes anormalmente húmedo a la mitad de un periodo de sequía, no debería tener un impacto mayor sobre el índice, o una serie de meses con precipitación cercana a la normal seguido de una seria sequía, no significa que la sequía ha terminado. Por tanto, Palmer desarrolló criterios para determinar cuándo una sequía o un período húmedo (*wet spell*) inicia y termina, para ajustar de acuerdo a estos criterios el índice de Palmer. En la actualidad el Índice de Palmer no se considera un índice meteorológico, sino que ha llegado a ser un índice hidrológico, propiamente referido como El índice de Sequía Hidrológica de Palmer (ISHP). En la tabla 13 se presenta su sistema de clasificación.

El índice no es tan fácil de calcular, pero se puede hacer según: redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/407/40703611.pdf

⁴⁵ Utilizado y explicado en el National Drought Mitigation Center

Tabla 13. Sistema de clasificación del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (ISSP). <http://hispagua.cedex.es/>

Clasificación del ISSP	
4 o más	Extremadamente humedo
3.0 a 3.99	Muy humedo
2.0 a 2.99	Moderadamente humedo
1.0 a 1.99	Ligeramente humedo
0.5 a 0.99	Incipientemente humedo
0.49 a -0.49	Cercano a lo normal
-0.5 a -0.99	Incipientemente seco
-1.0 a -1.99	Sequía ligeramente moderada
-2.0 a -2.99	Sequía moderada
-3.0 a -3.99	Sequía severa
-4.0 a less	Sequía extrema

Porcentaje de Precipitación Normal (PPN)

El porcentaje de precipitación normal se refiere a la relación que existe entre la precipitación acumulada en un año y la precipitación media anual, para una región y en un periodo dado, expresado de manera porcentual. La precipitación media anual se le conoce como precipitación normal y se obtiene a partir del valor promedio de las precipitaciones anuales ocurridas en un periodo no menor de 30 años. Los valores porcentuales estimados para cada año indican el déficit (valores negativos) y el excedente (valores positivos) en la precipitación anual ocurrida. Por su parte, valores porcentuales próximos a cero corresponden a valores cercanos al promedio histórico. <http://www.sequia.edu.mx/>

Índice de precipitación estandarizada (ESPI)

Fue desarrollado por McKee y otros investigadores en 1993. Este índice normalizado permite estudiar diferentes escalas de tiem-

po y se recomienda para registros de largo plazo. ESPI representa el número de desviaciones estándar que cada registro de precipitación se desvía del promedio histórico. Bajo este contexto, puede deducirse que registros de precipitación superiores al promedio histórico del mes correspondiente, darán valores del SPI positivos, esto representa condiciones de humedad; mientras que, registros de precipitación inferiores al promedio histórico del mes correspondiente, arrojarán valores del SPI negativos, lo cual indica una intensidad en el déficit de humedad. El procedimiento para el cálculo del SPI involucra el ajuste de series históricas de precipitación mensual a la función de distribución probabilística Gamma, que de acuerdo con Thom (1966) y Young (1992), es la función de distribución que mejor ajuste ofrece en series de precipitación. La distribución gamma está definida por su frecuencia o función de densidad de probabilidad. Para cada registro de precipitación se determina su valor de probabilidad acumulada mediante la función de distribución gamma incompleta. Dado que esta función de distribución no está definida para valores iguales a cero, es necesario estimar la probabilidad acumulada de los registros que tienen este valor. En una última fase, la probabilidad acumulada se transforma a la variable z de una función de distribución normal estándar que tiene un valor promedio igual a cero y una varianza igual a uno, el valor resultante de esta transformación corresponde al valor de SPI.

De acuerdo con McKee *et al.* (1995), el SPI corresponde al número de desviaciones estándar que cada observación se desvía del promedio histórico, quedando éste último representado por cero. Los valores negativos

del índice, representan el déficit de la precipitación y de manera contraria, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida fue superior al promedio histórico. En la siguiente tabla se muestra la clasificación empleada en el sistema de monitoreo del CEISS en función del SPI. <http://www.sequia.edu.mx/> <http://www.drought.unl.edu/monitor/spi.htm>.

Índice de suministro de agua superficial (ISAS/SWSI)

Este índice complementa al índice de Palmer que no está diseñado para grandes variaciones topográficas y no considera el almacenamiento de nieve y su escorrentía. El ISAS fue diseñado para conocer las condiciones de humedad superficial, incluyendo la nieve acumulada.

Índice de Riesgo de Sequía (IRS)

El IRS está formado por cuatro componentes: precipitación media anual corregida en función de la temperatura media anual, estacionalidad pluviométrica, variabilidad y persistencia de la sequía. Este índice se definió para poder determinar la severidad, y duración de la sequía y para predecir el inicio y el final de este período. <http://www.ub.es/medame/Oscar.pdf>.

Indicador de la Humedad del Cultivo (CMI)

El indicador CMI utiliza un planteamiento meteorológico para hacer un seguimiento semanal de las condiciones de los cultivos. Fue desarrollado por Palmer, en 1968, a partir del método de cálculo del PDSI. Mientras el PDSI hace un seguimiento meteorológico de los periodos húmedos y secos a largo plazo, el CMI fue diseñado para evaluar las

condiciones de humedad a corto plazo en las principales regiones dedicadas a la producción agrícola. Se basa en los datos medios semanales de temperatura y pluviometría total, dentro de una zona climática (en los Estados Unidos), así como en el valor del CMI de la semana anterior. Responde con rapidez a los cambios de condiciones, se mide por lugares y por tiempos para que los mapas que representan los valores semanales del CMI puedan ser utilizados para comparar las condiciones de humedad entre diferentes localidades. Por estar diseñado para hacer un seguimiento a corto plazo de las condiciones de humedad que afectan a un cultivo en desarrollo, el CMI no es un buen instrumento para hacer un seguimiento de la sequía a largo plazo. Otro rasgo característico del CMI, que limita su uso, es que, normalmente, comienza y finaliza cada temporada vegetativa con valores próximos a cero, por lo que no se puede utilizar para valorar las condiciones de humedad fuera de la época vegetativa general, y, en especial, en períodos de sequía que se prolongan durante varios años. El CMI tampoco es de aplicación durante la fase de germinación de las semillas, al comienzo del período de crecimiento de un cultivo concreto. <http://agua.geoscopio.com/medioambiente/temas/sequia/indicadores.php>.

Potencial Agro-Hidrológico (AHP)

Este indicador marca la demanda de agua como la capacidad de una zona determinada de satisfacer las necesidades de un cultivo concreto, que exista en ella, mediante el cociente entre el agua consumida (V_f) y la requerida (V_i). En otras palabras, el Potencial Agro-Hidrológico es la relación entre la eva-

potranspiración real de un cultivo (E_{tr}), y la evapotranspiración óptima del mismo (E_{opt}). Según Petrasovits, 1984, este indicador puede mostrar, hasta qué punto y durante cuánto tiempo, es un terreno capaz de satisfacer la demanda de agua del cultivo que lo ocupa; este indicador también es útil para expresar la frecuencia de las sequías y de los diferentes grados de escasez de agua. Explicaciones más detalladas sobre este indicador se pueden encontrar en la publicación de Palfai *et al.* (1995). Los valores numéricos del AHP están comprendidos entre 0 y 1. De acuerdo con las investigaciones húngaras tales valores son: si AHP= 1.0-0.8 la escasez de agua del cultivo es sólo teórica, porque a las plantas se les suministra agua de forma continua e ilimitada. si AHP= 0.8-0.5 la capacidad para satisfacer la demanda de agua de la zona sigue siendo continua, pero se va restringiendo progresivamente. si AHP= 0.5-0.3 la escasez de agua empieza a ser alta, el suministro de agua a las plantas es periódico y restrictivo, y, como consecuencia, aparecen síntomas de estrés hídrico. si AHP= menor que 0.3 se produce un gran estrés hídrico, que causa considerables pérdidas de biomasa y, si esta situación se prolonga, también causa la muerte de la planta. Para expresar la severidad (o intensidad) de la sequía pareció bueno determinar el número de días con estrés hídrico, es decir, el número de días en los que los valores del AHP estaban por de-

bajo de 0.5 (lo que significa que las plantas disponían de menos de la mitad del agua que necesitaban). El término “estrés hídrico” indica la tensión fisiológica que se produce en la planta como consecuencia de una falta - o exceso - de agua, que causa en ella daños vegetativos o degenerativos, y reduce su cosecha. Cuantos más días dure la situación de estrés hídrico más severa será la sequía para las masas de cultivo, o para toda una zona.

Con la ayuda de este método se puede hacer el diagnóstico de la sequía de una parcela agrícola dada, o de una zona, y, mediante el cálculo de los datos de frecuencia, se puede calcular el grado de sensibilidad frente a la sequía de toda clase de plantas o de parcelas cultivadas, lo cual puede servir de base para determinar una estrategia ante la sequía. Para cada parcela (área), o para cada cultivo, se puede calcular la relación que existe entre los valores del AHP y los rendimientos potenciales de una determinada especie vegetal, y mediante estos resultados se puede expresar la intensidad del efecto de la sequía. <http://agua.geoscopio.com/medioambiente/temas/sequia/indicadores.php>⁴⁶

Ejemplos de indicadores de sequía

Desde nuestro punto de vista este ejemplo en tanto fuente de información técnica y conceptual, pero sobre todo en cuanto a disponibilidad de los datos a nivel de Norteamérica hace de este caso algo excepcional

⁴⁶ Más índices: <http://agua.geoscopio.com/medioambiente/temas/sequia/indicadores.php>
Indicadores de sequía en Planes Especiales de Sequía de la Confederación Hidrográfica del Júcar: <http://www.chj.es/index2.HTM>
Libro blanco de indicadores de sequía: <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm>
www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/12604530802376064198846/catalogo26/03inve26.pdf

para su integración en el OET, dado que permite integrarlo al diagnóstico, al pronóstico y al esquema de decisiones institucionales asociadas a las políticas del territorio.

El National Drought Mitigation Center desarrolló el Reporte de Impacto de la Sequía (Drought Impact Reporter) en respuesta a la necesidad de contar con una base de datos nacional para Estados Unidos (figura 30).

D0-D4: El mapa del Monitor de la Sequía identifica áreas de sequía generales etiquetándolas por intensidad, D1 la menos intensa y D4 las de mayor intensidad. D0 son áreas que se están secando o hacia donde se dirige la sequía o bien en recuperación pero

que aun no han recobrado la normalidad y que experimentan impactos de largo plazo como bajos niveles en sus reservorios.

A y H: Dado que sequía significa un déficit de humedad suficientemente malo como para provocar efectos sociales, económicos y ambientales, generalmente se incluye una descripción de cuáles son los efectos físicos principales.

A = agricultura (cultivos, y pastizales)

H = abasto de agua (ríos, agua subterránea y presas)

La tabla 14 muestra las categorías y la combinación de los indicadores (<http://drought.unl.edu/DM/classify.htm>) del monitor de la sequía en Estados Unidos.

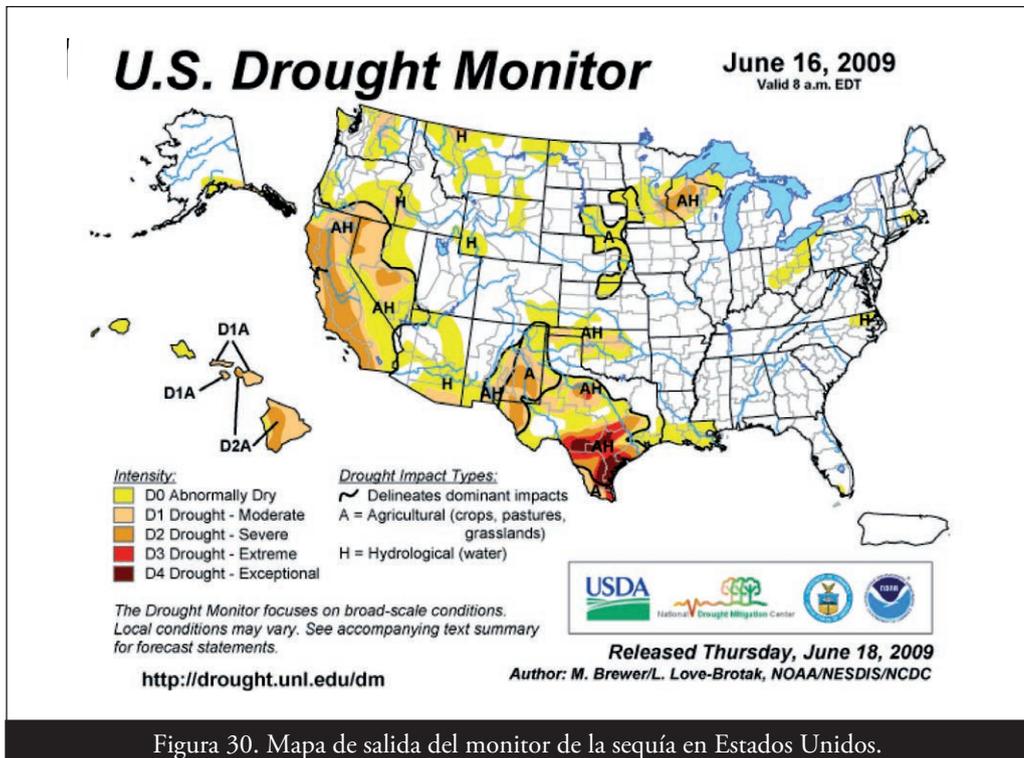


Figura 30. Mapa de salida del monitor de la sequía en Estados Unidos.

Tabla 14. Categorías y relación de indicadores para clasificar la severidad de la sequía.

Drought Severity Classification							
Category	Description	Possible Impacts	Ranges				
			Palmer Drought Index	CPC Soil Moisture Model (Percentiles)	USGS Weekly Streamflow (Percentiles)	Standardized Precipitation Index (SPI)	Objective Short and Long-term Drought Indicator Blends (Percentiles)
D0	Abnormally Dry	Going into drought: short-term dryness slowing planting, growth of crops or pastures. Coming out of drought: some lingering water deficits; pastures or crops not fully recovered	-1.0 to -1.9	21-30	21-30	-0.5 to -0.7	21-30
D1	Moderate Drought	Some damage to crops, pastures; streams, reservoirs, or wells low, some water shortages developing or imminent; voluntary water-use restrictions requested	-2.0 to -2.9	11-20	11-20	-0.8 to -1.2	11-20
D2	Severe Drought	Crop or pasture losses likely; water shortages common; water restrictions imposed	-3.0 to -3.9	6-10	6-10	-1.3 to -1.5	6-10
D3	Extreme Drought	Major crop/pasture losses; widespread water shortages or restrictions	-4.0 to -4.9	3-5	3-5	-1.6 to -1.9	3-5
D4	Exceptional Drought	Exceptional and widespread crop/pasture losses; shortages of water in reservoirs, streams, and wells creating water emergencies	-5.0 or less	0-2	0-2	-2.0 or less	0-2

Ejemplo del Monitor de Sequía para Norteamérica – Enero 2009⁴⁷

México: El Servicio Meteorológico Nacional ubicó a enero como el décimo mes con menos precipitación dentro del período histórico de 1941-2009, con una lámina acumulada de 13.5mm (0.53pulg.) lo que

representa un 47% por debajo de lo normal que es de 25.5mm (1.0 pulg.). Las precipitaciones que se presentaron en este mes estuvieron asociadas al paso de seis frentes fríos y a la entrada de aire húmedo principalmente del océano Pacífico la cual fue favorecida por la corriente en chorro.

⁴⁷ <http://smn.cna.gob.mx/productos/sequia/2009/sequia0109.pdf>

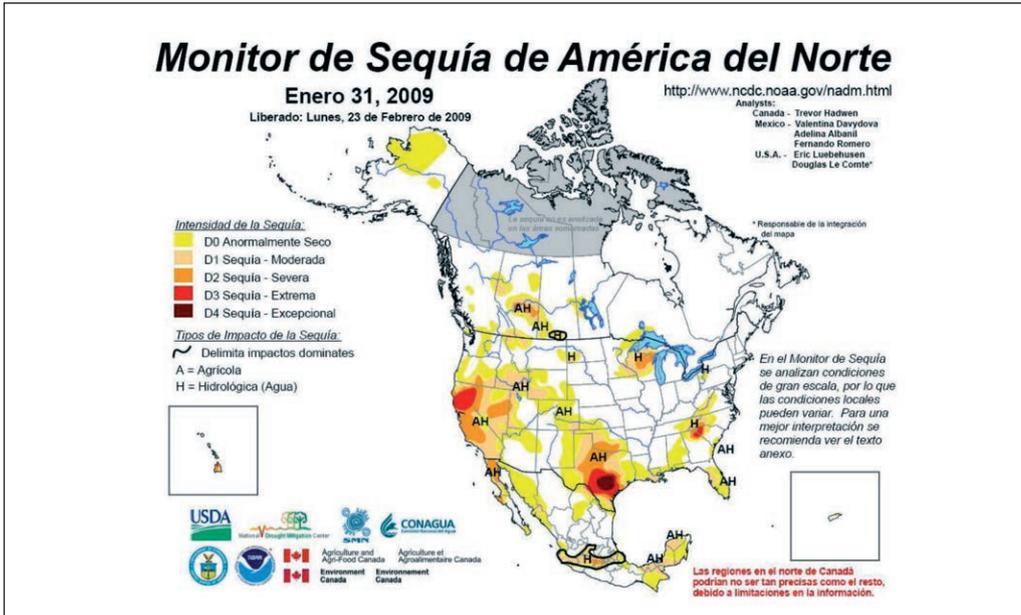


Figura 31. Mapa de salida del monitor de la sequía para América del Norte. Nota del mapa: “Los criterios utilizados para delimitar las zonas y severidad de la sequía en este producto no son iguales a los que se aplican para el FONDEN o del FAPRACC. Por ello no debe ser utilizado como diagnóstico oficial en asuntos relacionados con el FONDEN o el FAPRACC”.

Las condiciones secas que se registraron en enero afectaron la gran parte del país excepto al Distrito Federal y a los estados de Campeche, Hidalgo y Quintana Roo que presentaron una anomalía por arriba de lo normal del 68.5%, 12.9%, 7.5% y 5.3% respectivamente.

En cuanto a las condiciones de sequía en enero se observa un incremento en las áreas identificadas en diciembre como anormalmente secas (D0) sobre el noroeste, norte y noreste de México. La península de Baja California mantiene las categorías de sequía de anormalmente secas (D0) a sequía severa (D2) sin cambios significativos.

Se mantiene la sequía hidrológica que ha afectado en los últimos cinco meses el centro del país la cual se extiende de occidente a oriente, cubriendo considerablemente a los

estados de Nayarit, costa de Jalisco y Colima, norte y centro de Michoacán, Guanajuato, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala, norte y centro de Puebla, centro de Veracruz y norte de Guerrero, en esta franja la condición de sequía es de anormalmente seca (D0) a sequía severa (D2), esta última se localiza en los estados de Michoacán y México además del Distrito Federal en donde a pesar que se presentaron precipitaciones en la segunda decena del mes no lograron mitigar esta sequía, es importante destacar que la Comisión Nacional del Agua ha tomado medidas para evitar el desabasto de agua por los bajos niveles de agua que presentan las presas que suministran agua a la población principalmente en el Distrito Federal y Estado de México.

En el sureste de México y península de Yucatán se ha intensificado la sequía D0 a D1 en los estados de Chiapas, Campeche y Yucatán. Tabasco se encuentran afectados por sequía moderada (D1) y Quintana Roo por (D0).

La agencia oficial CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), reportó que durante el periodo del 1 al 29 de enero de 2009, se registraron 260 incendios forestales, afectando un total de 950 hectáreas (2 347 acres), el 94% del área afectada correspondió a pastos, arbustos y matorrales, el resto correspondió a áreas arboladas. Las entidades federativas con mayor número de incendios fueron: Distrito Federal, Tlaxcala, Veracruz, México, Hidalgo, Michoacán, Chiapas, Puebla, Jalisco y Guerrero.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) durante enero, reportó una disminución en los niveles de las presas en la región noroeste de 84.4% a 80.4%, central norte 97.3% a 96.9%, noreste 84.6% a 83.1%, centro 85.3% a 81.5% y sur 95.3% a 92.4%. Estos niveles se consideran dentro de lo normal para esta época del año.

Estados Unidos: Dos sistemas de tormenta aligeraron las condiciones de sequía durante el mes en el sureste del altiplano y en la región del valle de Ohio, aunque las precipitaciones por debajo de lo normal la acentuaron al sur. La lluvia por debajo de lo normal también provocó la expansión de áreas con condición de sequía en Florida y también las empeoró al norte de California.

Un frente de tormenta en el Pacífico a principios de mes produjo inundaciones en la zona oeste de Washington y Oregón. Estas y otros sistemas de tormentas contribuyeron a registrar lluvias por encima de lo normal

durante el mes así como acumulado de nieve cercano o por encima de lo normal en el norte de Montana y Dakota del Norte y hacia el sur en algunas regiones de Colorado y Nevada. La humedad redujo ligeramente las condiciones secas y de sequía en la región noroeste y entre las montañas. En contraste, la mayor parte de California registró precipitación por debajo de lo normal, con poca humedad durante las primeras tres semanas del mes. Por ejemplo, Los Ángeles no reportó lluvias significativas entre el 1 y el 21 de Enero. Un sistema de tormenta en el Pacífico finalmente rompió la racha seca entre el 22 y el 26 del mes, registrándose desde unos 8 mm de lluvia (un tercio de pulgada) en la costa sur, hasta más de 120 mm (5 pulg.) en la Sierra. No obstante, el estado terminó el mes con lluvias registradas por debajo de lo normal durante el mes, el déficit de unos 100 mm (4 pulg.) contribuyó a la expansión del área clasificada con D3 (sequía extrema) en el norte del estado. Además temperaturas por encima de 1 a 3 °C (2 a 5 °F) incrementaron la evaporación.

Aspectos agrícolas e hidrológicos sobresalientes: En California, el contenido de agua en la nieve promedió alrededor de un 60% de lo normal para fin de mes. Muchas reservas en el norte permanecen a la mitad de su capacidad normal.

Enero fue el quinto mes consecutivo con lluvia por debajo de lo normal en gran parte de Texas y el sur de Oklahoma, algunas zonas del centro de Texas reportaron menos de 25 mm (1 pulg.) de lluvia y la mayoría de las regiones en la mitad oeste del estado acumularon menos de 6 mm (0.25 pulg.). Las condiciones de sequía severa (D2) se expandieron hacia el norte desde el centro de

Texas y hasta el sur de Oklahoma. Las zonas con condición de sequía extrema (D3) también se expandieron hasta cubrir la mayor parte del centro del estado y una región con condición D4 continúa presente en el área de San Antonio-Austin.

Las condiciones de los cultivos de invierno declinaron, 64 % del trigo se clasificó como pobre a muy pobre para inicios de febrero, algunos granjeros reportan pérdida total. Los pastizales se deterioraron, lo cual crea dificultades a los productores de ganado. El riesgo de incendios forestales se incrementó y 153 condados instauraron alertas al final de mes, incluyendo condados cercanos al centro de Texas.

Las lluvias en enero 30 llevaron 12 mm (0.5) y hasta 25 mm (1.0 pulg.) en Florida, sin embargo el extremo sur de la península terminó el mes con precipitación por debajo de lo normal, continuando así la tendencia que tiene desde noviembre. La sequía persiste en el centro de Florida y a lo largo de la costa sur.

Hacia el norte del país, un sistema de tormenta durante la primera semana del enero alivió significativamente de sequía algunas áreas, algunas localidades registraron hasta 75 mm (3.0 pulg.). El lago Lanier al norte de Georgia creció 1.8 m (2 pies) entre el 5 y el 7 del mes, aunque los niveles aún permanecen por debajo de lo normal. La precipitación durante la tormenta que trajo mezcla de hielo, lluvia y nieve a una vasta región del país entre el 26 y 27 del mes contribuyó a aliviar ligeramente la sequía en Ohio y en la región del valle de Tennessee.

Perspectiva histórica: De acuerdo con información preliminar dada por el Centro Nacional de Datos Climáticos, Texas tuvo

su cuarto enero más seco en la historia y el más seco en 35 años. El centro sur de Texas, en donde la sequía ha alcanzado condición de excepcional (D4), el período septiembre-enero fue el más seco de la historia. Oklahoma tuvo su quinto enero más seco, mientras que para Kansas fue su tercer enero más seco. California tuvo el noveno enero más seco en 115 años así como su sexto más cálido enero.

Canadá: Durante enero 2009, las condiciones de sequía en Canadá permanecieron relativamente sin cambios con respecto a diciembre 2008, lo cual puede considerarse como esperado para la época del año. Pequeñas regiones al norte de la Columbia Británica han mejorado a lo largo de los últimos dos meses; sin embargo, la porción sureste de la provincia permanece seca. Debido a las pocas precipitaciones registradas en gran parte del otoño e invierno, las condiciones de sequía persisten en la mayor parte de Alberta. El sur de Saskatchewan continúa con un acumulado de nieve por encima de lo normal, aunque la disponibilidad de agua aún es un motivo de preocupación. Las condiciones secas en el centro oeste de Manitoba permanecen sin cambios con precipitaciones por debajo de lo normal durante enero. Se desarrolló una nueva región con condiciones de sequía anormal al sur del noroeste de Ontario. Algunos detalles sobre esto se discuten más abajo.

La isla Vancouver y las costas adyacentes continúan recibiendo lluvias por debajo de lo normal, estas áreas continuaron con disminución de lluvias durante el mes. Las zonas centrales de la isla son las más secas, registraron entre un 40-60% por debajo de lo normal en cada uno de los tres últimos

meses. La región del sur registró niveles similares, 60-85% por debajo de lo normal en los últimos tres meses. La capa de nieve en el área está unos 250 mm (10 pulg.) por debajo de lo normal. Como resultado, el centro y sur de la región se han clasificado una vez más con condición de sequía D0 (anormalmente seco). El interior de la Columbia británica, incluyendo la región montañosa al norte de Vancouver, reportaron entre 60-85% de lo normal en precipitación también durante los pasados tres meses, lo cual representa una anomalía negativa de alrededor de 400 mm (16 pulg.). El área al oeste de Kelowna y noreste de Abbotsford también muestra un acumulado de lluvias por debajo de lo normal en tres meses. De igual forma, área Nelson-Cranbrook tiene registros de lluvia por debajo de lo normal para el mismo período. En la región del sur de Cranbrook, las condiciones mejoraron ligeramente durante enero. Sin embargo, hacia el este (en la esquina sureste de la provincia) las lluvias continúan por debajo de lo normal. Por lo tanto, la clasificación de las condiciones de sequía permanece en forma similar a la descrita el mes anterior. El área al oeste del lago Williams aún continúa con lluvias por debajo de lo normal, con menos del 40% de lo correspondiente a la normal de enero. En contraste, la región del río Peace alrededor de Fort St. John ha mejorado significativamente con un 115-150% de lo normal en precipitación durante los tres últimos meses, incluso durante enero se registró hasta un 150% de lo normal, esto condujo a una reducción de las áreas clasificadas con D0 y D1.

Al igual que en la Columbia Británica, la zona del río Peace en Alberta continúa me-

yorando, en los últimos tres meses recibió hasta un 150% de lo normal en lluvias. De hecho, gran parte de la región se ha acercado a niveles normales de precipitación, y en algunas áreas aisladas, ya ha sobrepasado los niveles de normalidad para un periodo de 5 meses. Estas condiciones han resultado en una reducción de las áreas con D0 y D1 en la región. En el centro alrededor de Edmonton y hacia el norte, las zonas también están recuperándose. Sin embargo, de acuerdo con los indicadores a corto y largo plazos, las regiones al sureste y suroeste de Edmonton aún están extremadamente secas. Esta condición se intensificó en áreas alrededor de Coronation y Red Deer, en donde solo se registró un 40% de lo normal en lluvias en los pasados tres meses. La nieve acumulada en esta zona también es poca, se reporta menos de 30 mm de equivalente en agua (1.2 pulg.) en algunos lugares. Durante Enero, la precipitación fue extremadamente baja en la parte este del centro de la provincia, con alrededor de un 35% menos de lo normal en algunos lugares. El acumulado de lluvias de 5 meses también se encuentra debajo del 50% de lo normal. Como resultado, las áreas con condiciones de sequía D1 (moderada) y D2 (severa) se han extendido en la región. Todo el sur de Alberta, desde Red Deer hasta la frontera con Saskatchewan y hacia el sur hasta la frontera con los Estados Unidos tuvo entre un 40-60% de precipitación en enero con algunas áreas cercanas a Lethbridge registrando menos del 40%. La región este de Calgary (Strathmore) se reporta por encima de lo normal, el equivalente en agua de la nieve acumulada se acerca a 100 mm (4 pulg.). En el suroeste alrededor de Pincher Creek, el área permanece más seca de

lo normal, aproximadamente un 40-60% de lo normal en el mes. Esta región ha tenido lluvias permanentemente por debajo de lo normal durante los últimos 6 meses y por tanto permanece clasificada con D0 a D1.

El sur de Saskatchewan continúa recibiendo precipitación normal. Durante enero, el acumulado en la región centro sur fue más del doble de lo normal. Hay optimismo respecto a que el acumulado de nieve por encima de lo normal pueda reabastecer adecuadamente las reservas para las granjas y mejorar la humedad del suelo hacia la primavera, aliviando así algunas de las consecuencias de la sequía en la región centro sur de la provincia. Sin embargo, hasta que la nieve se derrita, los productores continúan afectados por la sequía del verano pasado y deberán seguir transportando agua para el ganado. Como resultado, la región permanece clasificada con D0 a D1. Por el contrario, el suroeste de la región, incluyendo Swift Current, Maple Creek y Consul, continúan secos y recibieron menos lluvia durante enero, la mayor parte del área registró menos del 40% de lo normal. Aunque Prince Albert y las áreas cercanas tienen una abundante cubierta de nieve y precipitación por encima de lo normal, hasta el este de la bahía de Hudson, los resultados no han sido tan favorables. Continúan secas y con lluvia por debajo de lo normal. Esto aunado a las lluvias por debajo de lo normal durante el otoño pasado y el invierno provocan que la región siga con condición de sequía D0.

El área del río Swan en el centro oeste de Manitoba continúa recibiendo lluvias por debajo de lo normal y ha alcanzado menos del 40% para el trimestre, recibiendo menos de 10 mm (0.4 pulg.) en enero. Esta región

ha estado con condiciones de sequía por algún tiempo ya, ha recibido alrededor de un 75% de lo normal durante el otoño e invierno y menos del 85% para el período anual. La precipitación ha estado por debajo de lo normal por más de dos años; por lo tanto el área permanece con clasificación D0 a D1, aun cuando las corrientes de los ríos están con niveles cercanos a lo normal. En la región entre lagos de Manitoba, las lluvias se han reportado alrededor de un 40% de lo normal en los últimos dos meses y entre un 60-85% en el trimestre, con menos de 3 mm (0.12 pulg.) en enero. Aunque los valores de lluvias han sido extremadamente bajos los últimos 3 meses, no se ha clasificado la región con condiciones de sequía debido a que el suelo está excesivamente húmedo, lo cual ha causado incluso algunas inundaciones. Al acercarse la primavera, esta área será monitoreada de cerca.

Una pequeña región al noroeste de Ontario alrededor de Thunder Bay ha recibido lluvia por debajo de lo normal por algunos meses, por tanto se ha clasificado con condición D0. Aunque las zonas al norte y al este de Thunder Bay están con un 40% de lo normal en enero, el área permanece con alrededor de un 60% para el trimestre. Por ahora no hay preocupación por condiciones de sequía en Quebec ni en la región Atlántica de Canadá.

Ejemplos de Cuba

Entre ellas cabe destacar los esfuerzos realizados en Cuba y República Dominicana con el apoyo de muchas agencias internacionales, particularmente el PNUD.⁴⁸ En estos ejemplos se encuentran serios esfuerzos por sistematizar los conceptos y los métodos

para estimar y representar tanto la sequía como sus impactos, pero también las respuestas institucionales para prevenirlos. El resultado de esta iniciativa se concentra en dos libros que se incluyen como parte de las referencias.⁴⁹

En el contexto de la agricultura, la sequía “no comienza cuando cesa la lluvia, sino cuando las raíces de las plantas no pueden obtener más humedad del suelo” y puede ser definida sobre la base de la humedad del suelo más que sobre alguna interpretación indirecta de los registros de precipitación.

Dado que la reserva de humedad productiva del suelo depende del carácter del suelo y la vegetación, “existe sequía agrícola cuando la humedad del suelo en la rizosfera se encuentra en un nivel tal que limita el crecimiento y la producción de esa vegetación”.

Marco conceptual y metodológico

La información del periodo más reciente (1998-2005) utilizada en el Sistema para la Vigilancia de la Sequía Agrícola en Cuba y para el desarrollo del estudio de caso de la Sequía Agrícola en una zona de alto riesgo, fue extraída de los archivos preliminares de

la red informática de estaciones meteorológicas (62) y pluviométricas (809) pertenecientes al Instituto de Meteorología y al Instituto de Recursos Hídricos, respectivamente.

Los materiales y métodos empleados en este caso se describen a detalle en el Manual de Técnicas y Procedimientos para el Desarrollo de la Climatología de la Sequía Agrícola. Los datos utilizados fueron la precipitación (periodo de 40 años), duración efectiva de la insolación, temperaturas extremas y humedad relativa media del aire y velocidad del viento (periodo de 30 años). El periodo definido como unidad de análisis fueron 10 días (una década).

Los índices de sequía agrícola se obtuvieron mediante la combinación de herramientas disponibles en diferentes programas de computación, tales como hojas de cálculo y sistemas de información geográfica. En la figura 32 se muestra el procedimiento realizado en el SIG para evaluar la Sequía Agrícola.

Resultados

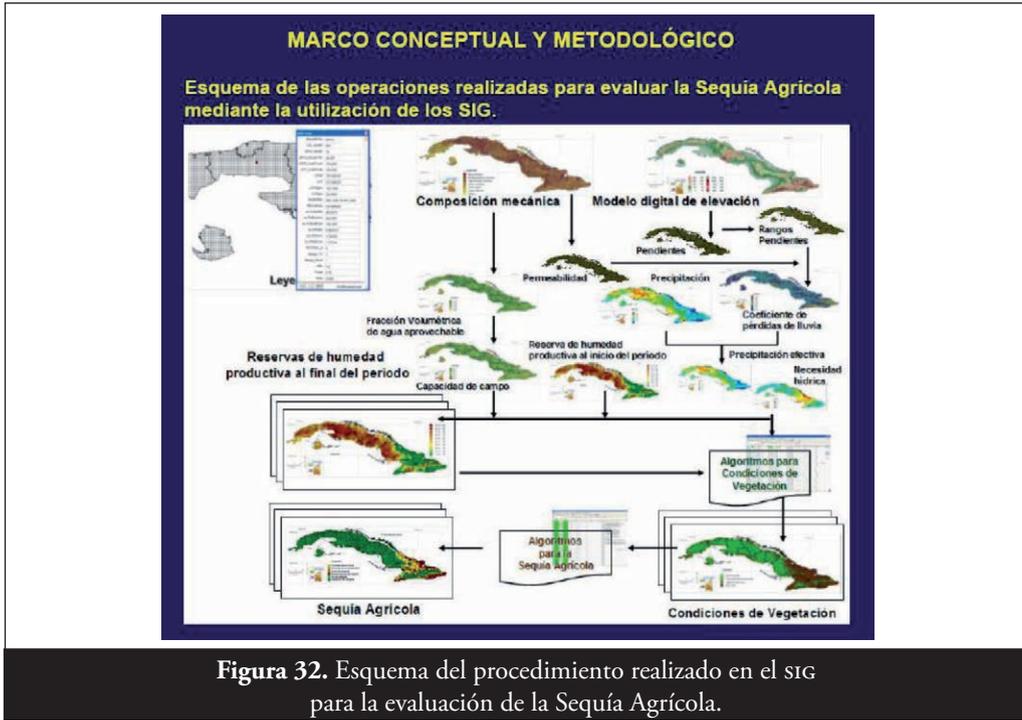
La Sequía Agrícola del año 1986 fue la que más duro durante el periodo de estudio

⁴⁸ <http://www.medioambiente.gob.do/cms/archivos/web/cambioclimatico/doc/estnac/adap.pdf>
Centella, A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González, J. Sille, P. Rosario y L. Duarte. 2006. La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. PNUD Cuba. 174 pp.
Presentaciones ejecutivas:

http://www.undp.org/cu/eventos/cclimatico/Presentaci%F3n%20Cuba%201_1.pdf

http://www.undp.org/cu/eventos/cclimatico/Presentaci%F3n%20Rep%20Dom%201_1.pdf

⁴⁹ Centella, A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González, J. Sille, P. Rosario y L. Duarte. 2006. La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. PNUD Cuba. 174 pp. Bases de datos: <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>
C. Rodríguez, A. Pérez, A. Boquet, L. Fabier, J. Mancebo, N. Díaz, T. Sandoval, E. Matos, et al. 2005. Políticas de adaptación a la sequía actual y proyectada en la República de Cuba y la República Dominicana. PNUD Cuba. 172 pp. <http://www.undp.org/cu/proyectos/riesgos/Doc/Informe%20Fina-Componente%20APF-VERSION%20ESPA%D1OL.pdf>



(1951-1990), mientras que la de 1954 fue la que menos tiempo duro. La Sequía Agrícola de mayor intensidad fue la de 1951, mientras que la presentada en 1978 fue la menos intensa. En términos de extensión geográfica del fenómeno, la presentada en 1989 fue la de mayor extensión espacial, mientras que la de 1983 fue la de menor extensión en el territorio. Como parte de los resultados se elaboraron mapas de intensidad y extensión espacial de la Sequía Agrícola tomando en cuenta las características de precipitación de los años tipo: Año medio, lluvioso y poco lluvioso (figura 33).

Como contraparte de la estimación del peligro de la sequía, otro ejemplo también en Cuba, muestra los elementos clave para la

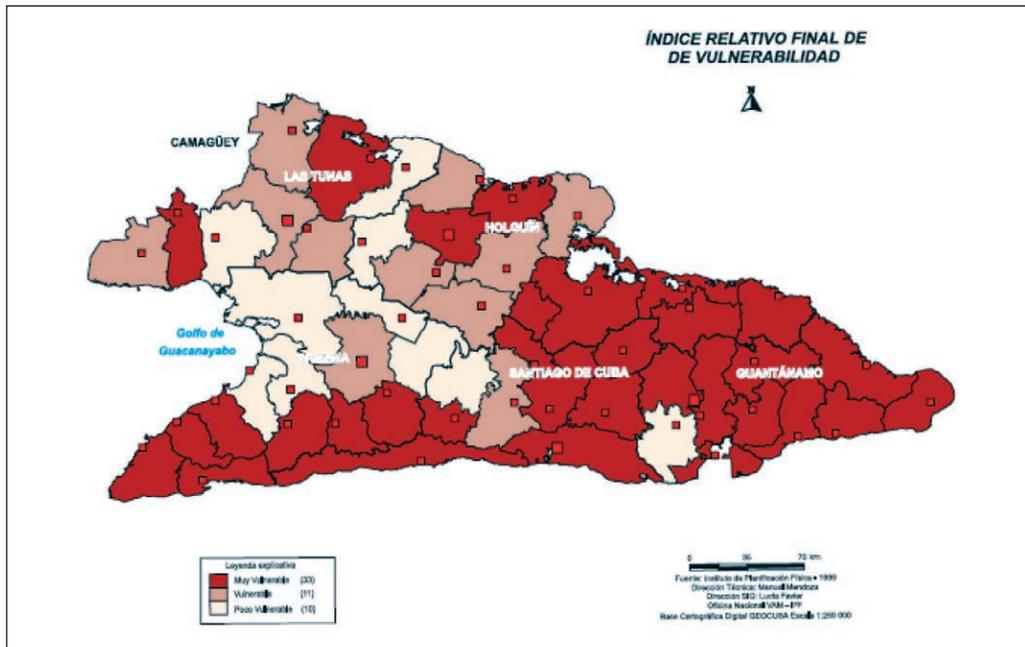
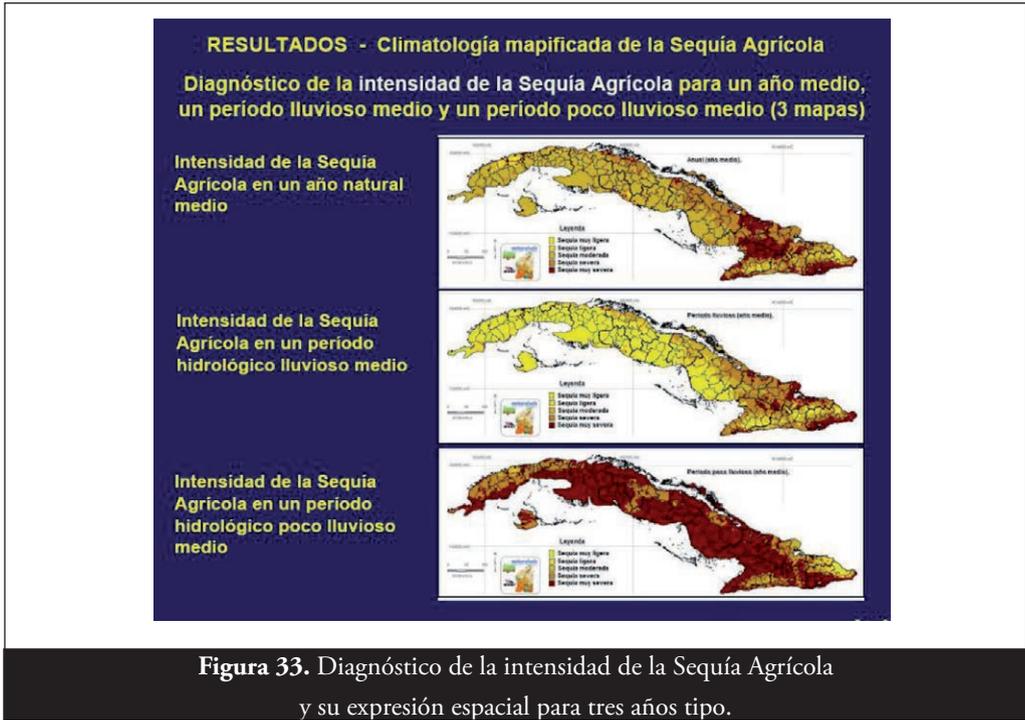
estimación de la vulnerabilidad y por tanto del riesgo, expresado en el ámbito productivo del sector agrícola con implicaciones en la seguridad alimentaria.⁵⁰

En el ejemplo presentado se muestran los resultados finales del índice relativo de vulnerabilidad (figura 34) y el índice relativo de capacidad de respuesta (figura 35), con los que se llega al resultado final expresado en el índice relativo de riesgo (figura 36).

DETERMINACIÓN DE ÁREAS BAJO INFLUENCIA DE PELIGROS MÚLTIPLES

Aunque en el capítulo anterior se dijo que la determinación de mapas de peligros múltiples no tiene que realizarse necesariamente, si

⁵⁰ Programa Mundial de Alimentos-Instituto de Planificación Física. 2001. Análisis y Cartografía de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Cuba. 143 pp. Impreso y en CD.



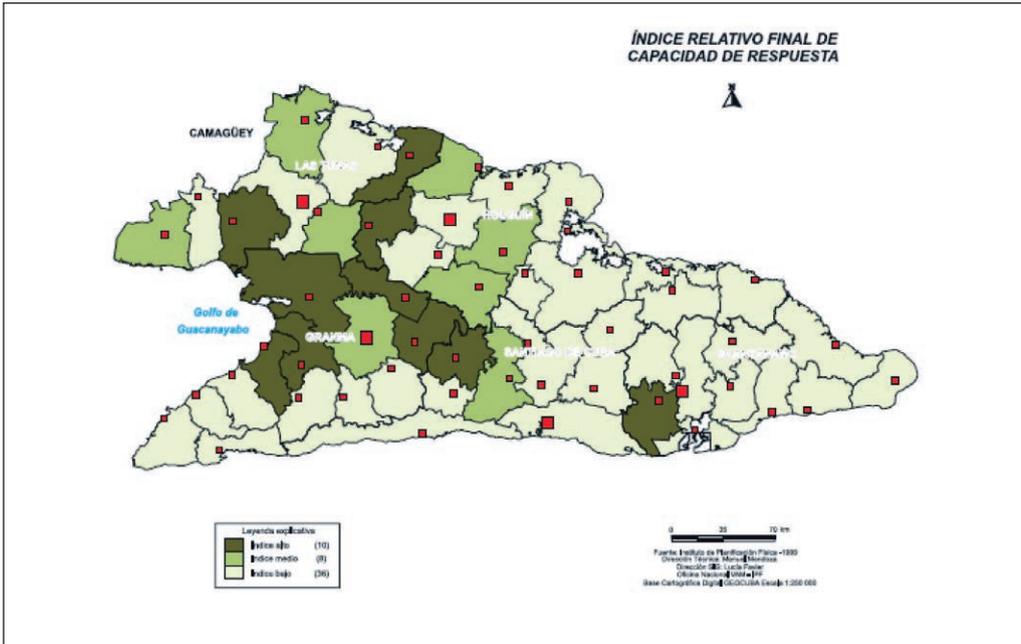


Figura 35. Resultado final y expresión geográfica del índice relativo de capacidad de respuesta.

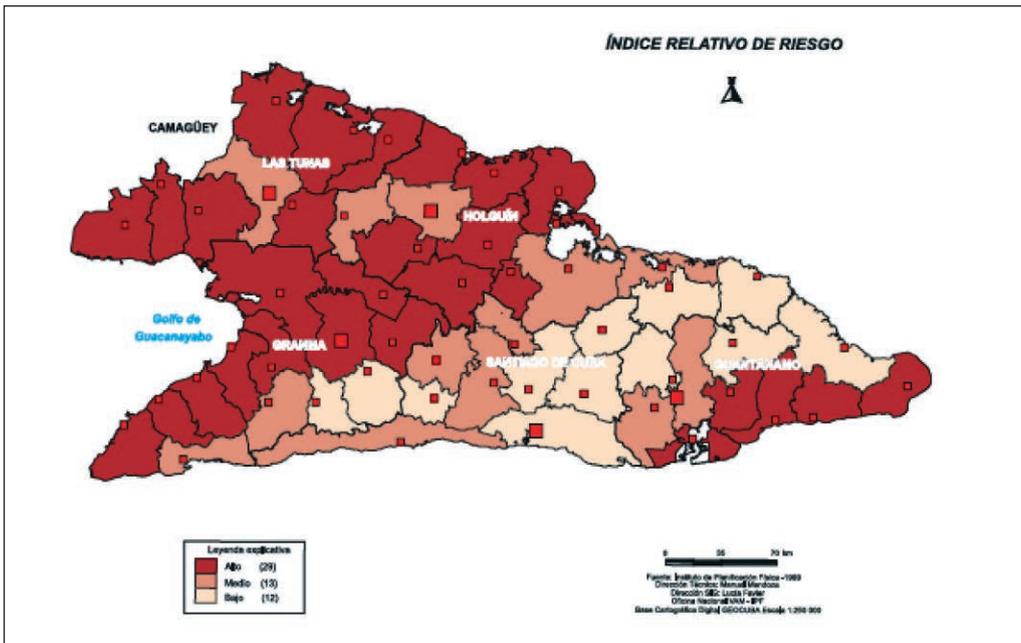


Figura 36. Resultado final y expresión geográfica del índice relativo de riesgo.

se convierte en una herramienta que puede facilitar los análisis y delimitar áreas con un mayor nivel de conflictos y una idea general de los territorios más expuestos a los distintos tipos de amenazas que sobre todo en el ordenamiento eólico estatal puede tener un gran valor. Por ello desde el punto de vista metodológico puede ser útil hacer el intento de mapas de síntesis de los peligros o amenazas

En el plano de la evaluación y representación cartográfica, los mapas de peligros múltiples se resuelven habitualmente mediante estrategias básicas de superposición y adición, asumiéndose que la concurrencia en un área de peligros de distinta etiología se traduce en un aumento in situ de la peligrosidad total.

Este tipo de simplificación que puede ser útil a escalas estatales pierde su valor en los ordenamientos municipales, donde con este tipo de cartografía orientada a la planificación, se ignoran aspectos como la seriación topológica de acciones imbricadas en los distintos peligros, los procesos de retroalimentación y sinergia consecuente, y la transfe-

rencia espacial y temporal entre las causas y las consecuencias.

De este modo, la comprensión del peligro como un proceso sistémico en los ordenamientos municipales, deberán intentar integrar peligros que, aún teniendo distinta etiología, actúan de forma interrelacionada, evaluando por ejemplo peligros que se presentan asociados espacial y temporalmente (erosión hídrica, movimientos en masa e inundación).

Desde el punto de vista del planeamiento ambiental y el ordenamiento ecológico, existe un aspecto central en las metodologías a emplear y es que para cada uno de los peligros se debe hacer una evaluación, diferenciando las áreas propensas a peligros en áreas con una intensidad de peligro distinta que permitan realizar los mapas de peligros múltiples.

Por ejemplo, estos son dos mapas utilizados en el Programa Estatal de Ordenamiento de Baja California Sur donde se sintetiza a nivel de paisajes la peligrosidad natural (figura 37).

IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS EXPUESTOS

La vulnerabilidad a los desastres constituye la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos expuestos, al impacto de un peligro de determinada severidad. Se relaciona directamente con las cualidades y propiedades de los elementos en cuestión, en relación con el peligro o los peligros que podrían incidir sobre ellos. En la mayoría de los casos, son obras construi-

das por el hombre; sin embargo, también se cubren los casos de formaciones geológicas naturales, como laderas que pueden deslizarse o mantos de suelo blando que pueden agrietarse y que pueden ocasionar algún tipo de daño.

La vulnerabilidad es compleja y está formada por varias dimensiones, pues confluyen aspectos relacionados con los hogares,

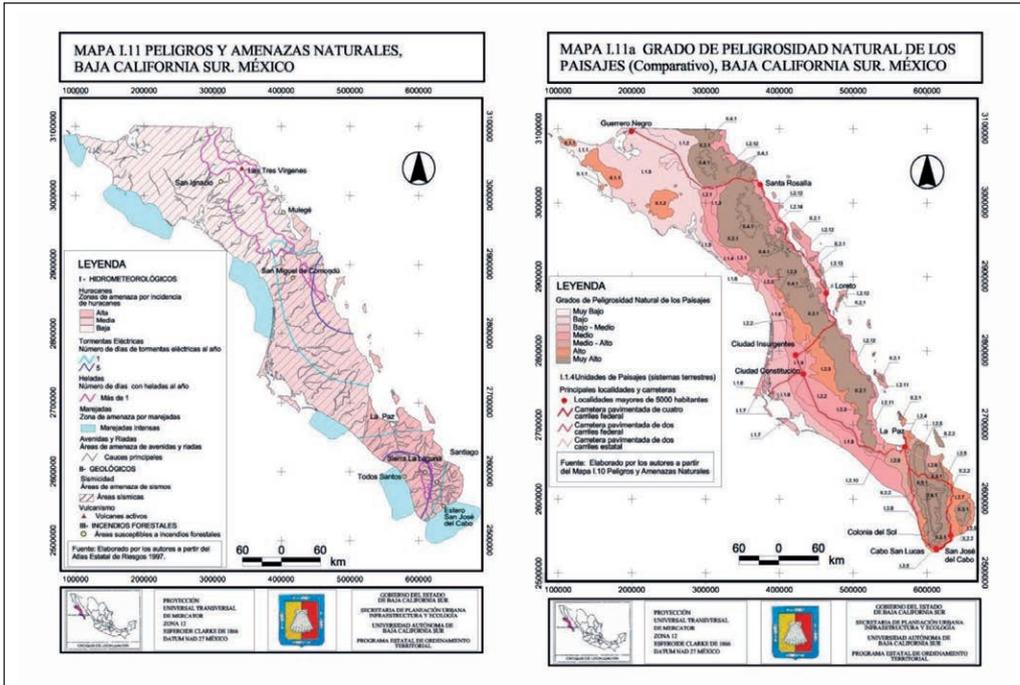


Figura 37. Ejemplo de mapas de peligros múltiples para el estado de Baja California Sur.

los individuos, como así por las características ambientales, económicas, culturales y políticas de la sociedad. Esas dimensiones están vinculadas con el hábitat (medio ambiente y vivienda), el capital humano (salud y educación), la dimensión económica (empleo e ingresos) y el capital social y las redes de protección forma. Las variables de población se relacionan con estas dimensiones a corto y largo plazo (Busso, 2002).

El hábitat que se refiere a las condiciones ambientales y habitacionales, tiene como variables indicativas al tipo de vivienda, el hacinamiento, la forma de tenencia, el saneamiento, la infraestructura y accesos urbanos, equipamiento de las viviendas, peligros de origen natural. El capital humano tiene como variables a la educación (escolaridad, alfabetismo), la salud (salud reproductiva,

morbilidad, mortalidad, desnutrición) y experiencia laboral (trabajos). La dimensión económica presenta como variables a la condición de actividad, el empleo, desempleo, ingresos, tipo de inserción laboral. El capital social tiene como referentes a la participación política, comunitaria, gremial; mientras que la protección social tiene como variables indicativas a los sistemas de jubilación y pensiones, cobertura de seguridad social y seguros. La vulnerabilidad en ese sentido es mayor en los hogares pobres que poseen menor cantidad y diversidad de elementos para enfrentar los peligros, es decir, la exposición a los peligros y la capacidad de prevención y respuesta varía según se trate de hogares pobres o no pobres (Foschiatti, 2009).

Una estratificación de la población de un área, en grados de vulnerabilidad, es importante ya que hay alta heterogeneidad en la condición humana y ambiental, y la carga social de desastres de forma repetida recae en la población más vulnerable. A su vez, es urgente evaluar si la vulnerabilidad puede o no ser mitigado por infraestructura, procedimientos y medidas que son eficaces en reducir los efectos inmediatos y de mediano plazo posteriores. Para tal fin, es importante contar con herramientas tecnológicas, además de la implementación de procesos informáticos para pronosticar los niveles de peligro, y evaluando la vulnerabilidad integral, predecir riesgo a multi-escala espacial y temporal.

La mitigación de desastres naturales depende, en parte, al nivel de la planeación oportuna de la infraestructura civil y sanitaria en las regiones para asegurar comunicación y accesibilidad, y por otro lado la prevención oportuna. Ambas están requeridas en diferentes tiempos para no desatar epidemias de enfermedad, y para prevenir la agudización de padecimientos crónicos por ausencia de atención básica de la población. Así, los peligros y riesgos derivados de los fenómenos naturales o del cambio global, son distintos en cada región y perfil demográfico, desde el punto de vista social, económico y ecológico. La capacidad de respuesta, al igual, debe responder al desequilibrio creado por los fenómenos en cuanto al bienestar social, la oferta de servicios, interrupción de servicios y programas del cuadro básico, así como al daño directo sobre los activos de las familias en los asentamientos humanos.

En la actualidad, se requiere de la participación intersectorial y multidisciplinaria

para diseñar las estrategias óptimas que deben ser implementadas durante las contingencias emergentes en el contexto local, estatal y regional, con el objetivo de hacer más eficiente la solución de los problemas asociados. La información en materia de prevención de riesgos y mitigación de los efectos provocados por los desastres, debe abordar la problemática desde diferentes perspectivas como la de salud pública, ambiental, ecológica, económica y antropológica, con la finalidad de proporcionar diversos conocimientos al personal responsable de la toma de decisiones entre los diferentes sectores y niveles jerárquicos de autoridad.

Para el cálculo de la vulnerabilidad se requiere de la compilación de información sobre los bienes y el bienestar así como estilo de vida de la población expuesta al peligro. Es necesario el uso de mapas e información socioeconómica sobre la población, las viviendas, los servicios, la salud, las instalaciones críticas y las líneas vitales (comunicación), los cultivos, expuestos al peligro potencial. Se pueden utilizar métodos cuantitativos que requieren el empleo de expresiones matemáticas llamadas funciones de vulnerabilidad, que relacionan las consecuencias probables de un fenómeno sobre una construcción, una obra de ingeniería, o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad del fenómeno que podría generarlas. Sin embargo, el impacto y daño por un desastre no es solo monetario o inmediato, ya que los efectos más debilitantes son de largo plazo y acorde con una discapacidad provocada o disminución de la resiliencia. Por ello, los variables que conforman la vulnerabilidad deben ser precisos para la condición de vida de las poblaciones.

Desde el punto de vista metodológico los modelos conceptuales para el análisis de la vulnerabilidad asociada a cada fenómeno se corresponden con dos enfoques. El primero tiene la posibilidad de armar un modelo teórico general con todas las variables y tipos de vulnerabilidad. Resulta muy complejo y es apenas posible dada la poca disponibilidad de datos reales. Por ello el segundo enfoque que utiliza la información existente es a nuestro juicio el pertinente.

Así, desde el punto de vista preventivo, en el caso de la vivienda es importante estimar el nivel de daño esperado para un nivel de intensidad dado, de manera que se puedan tomar las medidas preventivas para disminuir su vulnerabilidad. Si se tratara de una obra civil, como por ejemplo de un hospital, las consecuencias se podrían medir en términos del servicio que dejaría de prestar.

Para generar las funciones de vulnerabilidad correspondientes, se deberá hacer una selección cuidadosa de los parámetros de intensidad generados por un fenómeno, de manera tal que tengan una adecuada correlación con las consecuencias que de ellos se derivan. El nivel de vulnerabilidad existente de los elementos expuestos, condicionará la magnitud de las pérdidas al impactar un agente peligroso de una “intensidad” dada, el cual puede ocasionar una situación de desastre en un área determinada (mortalidad directa o indirecta, morbilidad por diferentes causas agudas o crónicas).

Tanto las variables de la vulnerabilidad como los juicios de valores deben ser determinados en talleres por criterios de expertos. En general deben considerarse los siguientes tipos de vulnerabilidad: física, social, sanitaria, ecológica y económica.

VULNERABILIDAD FÍSICA

Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego), para asimilar los efectos del peligro (INDC, 2006).

Analiza la capacidad resistiva de las edificaciones (habitacionales, infraestructura y de servicios) a las fuerzas destructivas de los diferentes peligros, para esto se considerará la tipología constructiva, el estado técnico y la altura de las mismas, así como parámetros de localización como tipo de suelo, cota altitudinal, etc., en dependencia del peligro. Esto refiere de forma familiar o colectiva, así como sectores de respuesta (comunicación, salud, educación).

Los daños sufridos por las viviendas o por las instalaciones en general, dependerán del tipo de peligro, esto se expresará con el factor de coeficiente de daño (D_c) a las construcciones. Este coeficiente expresará el grado de daño, que pueden sufrir las edificaciones, considerando la calidad de la vivienda o de la construcción en general (tipología y estado técnico) y la intensidad del peligro.

Este parámetro se podrá evaluar con una ponderación como, sin daño, con daños considerables o daños graves, dándole diferentes pesos en la ecuación general. Este factor de daño, incrementado o no por los elementos de localización que también tendrán un peso, sumará un valor total para la vulnerabilidad estructural.

Asimismo se evalúan las afectaciones que pueden sufrir las líneas vitales de comunica-

ción y servicios del territorio, como carreteras, sistemas de gasificación, sistema energético, torres de alta tensión y redes eléctricas (incluidas las subterráneas, en caso de inundación), así como el estado del sistema de drenaje y las redes de alcantarillado. Asimismo, se debe contar con las afectaciones al sistema de salud a nivel primario y secundario, infraestructura, materiales y recursos humanos, y del acceso a servicios en situaciones extremas.

VULNERABILIDAD SOCIAL

La noción de vulnerabilidad social es entendida como un proceso multidimensional que confluye en la probabilidad del individuo, hogar o comunidad de ser herido, lesionado o dañado ante cambios o permanencia de situaciones externas o internas. La vulnerabilidad social de sujetos y colectivos de población se expresa de varias formas, ya sea como fragilidad e indefensión ante cambios originados en el entorno, como desamparo institucional desde el Estado que no contribuye a fortalecer ni cuida sistemáticamente de sus ciudadanos; como debilidad interna para afrontar concretamente los cambios necesarios del individuo u hogar para aprovechar el conjunto de oportunidades que se le presenta; como inseguridad permanente que paraliza, incapacita y desmotiva la posibilidad de pensar estrategias y actuar a futuro para lograr mejores niveles de bienestar (Busso, 2001).

Se analiza a partir del nivel de organización y participación que tiene una colectividad, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia. La población organizada (formal e informalmente) puede superar más fácilmente las consecuencias de

un desastre, que las sociedades que no están organizadas, por lo tanto, su capacidad para prevenir y dar respuesta ante una situación de emergencia es mucho más efectivo y rápido (INDC, 2006).

Valora el grado en que los factores sociales puedan incrementar la vulnerabilidad. Se evalúa el total de población expuesta a cada peligro identificado, densidad de población o afectación a la población, percepción del riesgo y grado de preparación, presencia de desechos sólidos en las calles y la preparación de los órganos de dirección, entre otros. Los indicadores desarrollados por el INEGI sobre pobreza, marginación, accesibilidad a servicios y vías de comunicación, son de gran ayuda para la definición del grado de vulnerabilidad social.

El nivel de vulnerabilidad depende de varios factores que se relacionan, por un lado con los riesgos de origen natural y social, y, por otro, con los recursos y estrategias que disponen los individuos, hogares y comunidades. En otras palabras, los diversos tipos e intensidades de riesgo de origen natural o social se vinculan con el grado de exposición a los mismos, los cuales dependerán en gran medida de los recursos o activos internos y las estrategias de uso de esos recursos para prevenir, reducir y afrontar los choques externos. La relevancia de la noción de vulnerabilidad social se relaciona con la posibilidad de captar cognitivamente cómo y por qué diferentes grupos y sectores de la sociedad están sometidos de forma dinámica y heterogénea a procesos que atentan contra su subsistencia y capacidad de acceso a mayores niveles de bienestar. En este sentido, la noción se orienta a enfocar su atención en la existencia y posibilidad de acceso a

las fuentes y derechos básicos de bienestar como, entre otros, el trabajo, ingresos, tiempo libre, seguridad, patrimonio económico, ciudadanía política, identidad cultural, autoestima, integración social (Busso, 2001).

El enfoque de la vulnerabilidad social se integra en tres componentes centrales: los activos, las estrategias de uso de los activos y el conjunto de oportunidades que ofrece el mercado, el Estado y la Sociedad Civil a los individuos, hogares y comunidades. En este marco, la vulnerabilidad remite al análisis de la relación dialéctica entre entorno y el “interno” que presenta determinadas características que califican la unidad de análisis como vulnerable en función de los riesgos a los que están expuestos. El “interno” se entiende, en forma general, como diversos niveles de agrupamiento que tiene su expresión territorial y temporal, como puede ser el individuo, hogar, grupo, comunidad o región. En este sentido, la exposición a los impactos y riesgos que provienen del entorno se combina con las características internas básicas de los individuos, hogares, grupos o comunidades que enfrentan (a la vez que generan) cambios en su contexto de referencia (Busso, *op cit*).

La reducción de los impactos causados por la variabilidad climática en la población puede ser abordada bajo el entendimiento y la modificación de los factores de vulnerabilidad social de la población dentro de su contexto geográfico específico.

VULNERABILIDAD ECOLÓGICA O AMBIENTAL

La vulnerabilidad ambiental es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recur-

sos naturales a sufrir un daño o una pérdida por eventos naturales o de origen socioeconómico. La comprensión de la vulnerabilidad ambiental de una determinada región implica comprender con precisión la susceptibilidad o resistencia de dicha área respecto a su problemática ambiental y como se manifiesta. La importancia que tiene el estudio de la vulnerabilidad ambiental, como una dimensión vital para ser considerada en la proyección del desarrollo de una región, hace necesario disponer de mecanismos para evaluarla y en consecuencia para mitigar sus posibles impactos, fortaleciendo con ello la capacidad de la región para diseñar estrategias adaptativas para minimizar con ello la menor pérdida económica, social y ambiental (Pérez, 2012).

Según Wilches-Chaux (1989), la vulnerabilidad ecológica se relaciona a la forma de convivencia con el medio ambiente (vulnerabilidad de los ecosistemas frente a los efectos directos o indirectos de la acción humana y a los riesgos provocados por las comunidades que los explotan o habitan. Esa convivencia debe evitar la destrucción del medio ambiente. Calva (2007) enfatiza en el componente hidrológico del ecosistema y DeLange *et al.* (2006) en la susceptibilidad a contaminantes.

El Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú (2006) lo define como el grado de resistencia del medio natural y de los seres vivos que conforman un determinado ecosistema, ante la presencia de la variabilidad climática. La sequía por ejemplo, dado que los seres vivos requieren de agua para vivir, es un riesgo para la vida el que se convierte en desastre cuando una comunidad no puede abastecerse del líquido que requiere para su consumo.

Todos los seres vivos tienen una vulnerabilidad intrínseca, que está determinada por los límites que el ambiente establece como compatibles, por ejemplo la temperatura, humedad, densidad, condiciones atmosféricas y niveles nutricionales, entre otros, así como por los requerimientos internos de su propio organismo como son la edad y la capacidad o discapacidad natural. Igualmente, está relacionada con el deterioro del medio ambiente (calidad del aire, agua y suelo), la deforestación, explotación irracional de los recursos naturales, exposición a contaminantes tóxicos, pérdida de la biodiversidad y la ruptura de la auto-recuperación del sistema ecológico, los mismos que contribuyen a incrementar la vulnerabilidad.

Para valorar la vulnerabilidad ecológica o ambiental es necesario desarrollar indicadores de la comunidad biótica que incluyan las características de las poblaciones, sus propiedades e interacciones que definen la función e estructura de la comunidad. Esto incluye la susceptibilidad a un peligro, la sensibilidad para estresores particulares, y la resiliencia a nivel población y de comunidad (Ippolito *et al.*, 2010). Los indicadores de vulnerabilidad ecológica deben de integrar todos estos componentes, al nivel población, comunidad, funcionalidad y de flujos, enfocándose en los indicadores claves para medir la estabilidad (menor vulnerabilidad) o inestabilidad (mayor variación) de cada ecosistema en particular.

VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Constituye el acceso que tiene la población de un determinado centro poblado a los activos económicos (tierra, infraestructura, servicios y empleo asalariado, entre otros),

que se refleja en la capacidad para hacer frente a un desastre. Está determinada, fundamentalmente, por el nivel de ingreso o la capacidad para satisfacer las necesidades básicas por parte de la población, la misma que puede observarse en un determinado centro de población, con la información estadística disponible en los indicadores de pobreza que han elaborado las instituciones públicas. La población pobre, de bajos niveles de ingreso que no le es posible satisfacer sus necesidades básicas, constituye el sector más vulnerables de la sociedad, quienes por la falta de acceso a las viviendas, invaden áreas ubicadas en las riberas de los ríos, laderas, rellenos sanitarios no aptas para residencia; carecen de servicios básicos elementales y presentan escasas condiciones sanitarias; asimismo, carecen de alimentación, servicios de salud, educación entre otras. Dichas carencias que se presentan en la población pobre, condicionan la capacidad previsora y de respuesta ante los peligros de su entorno y en caso de ser afectados por un fenómeno adverso el daño será mayor, así como su capacidad de recuperación. Esta situación, se da también entre países, tal es el caso que países de mayor ingreso real per cápita, tienen menor cantidad de víctimas frente a un mismo tipo de peligro, que aquellos en que el ingreso por habitante es menor. La pobreza incrementa la vulnerabilidad (INDC, 2006).

Desde el punto de vista de Wilches-Chaux (1989), existe una relación indirecta entre los ingresos de la población y el impacto de los fenómenos físicos extremos, es decir, la pobreza aumenta el riesgo, ya que la vulnerabilidad de los sectores más deprimidos, por desempleo, insuficiencia de ingresos, explotación e inestabilidad laboral, dificult

tad de acceso a los servicios de educación y salud, así como la posibilidad de acceso a la cultura y el esparcimiento, es mayor.

Para definir la vulnerabilidad económica es necesario evaluar principalmente los factores económicos de la población, pero también hay que tener en cuenta las zonas industriales en áreas de riesgo, la cantidad de áreas cultivadas y animales en zonas de riesgo. La cartografía de la vulnerabilidad se realizará con ayuda del sistema de información geográfica y como productos esperados estarán los mapas de vulnerabilidad de población, infraestructura, y otros, en los cuales se señalen las zonas en donde el potencial de daño es mayor; así como mapas que definen el tamaño y magnitud de los sistemas afectables.

VULNERABILIDAD SANITARIA

Desde hace algunas décadas la OMS ha puesto énfasis en diez determinantes que influyen en la salud como el estatus socioeconómicos, desempleo, estrés, corta edad, exclusión social, adicción, acceso a alimentos, transporte, apoyo social y ocupación; debido a esto cuando hablamos de vulnerabilidad humana y un enfoque holístico de esta debe tomar variables de tipo social, climática, estructural, política y que en su conjunto repercuten en los determinantes de la salud.

Una de las propuestas para abordar la vulnerabilidad que puede servir dentro de los estudios en salud es aquel propuesto por Rogers, (1997), que divide los factores determinantes de la vulnerabilidad por dos tipos; individuales como el intelecto, la experiencia, el humor, el género etc. y ambientales como son el hogar, las redes sociales, el hábitat, las políticas públicas, la economía etc.

Por otro lado el concepto de vulnerabilidad ha sido usado para la evaluación de los riesgos dentro de las sociedades humanas hacia las enfermedades transmitidas por vector. Para Sutherst, la vulnerabilidad es una medición de los impactos potenciales acarreados por el cambio. Tomando en cuenta la capacidad adaptativa del sistema o de la comunidad para responder al cambio. Para evaluar el potencial impacto en la salud e la variabilidad y el Cambio Climático se requiere una aproximación tanto a la vulnerabilidad de la población así como su capacidad de responder a nuevas condiciones (Patz *et al.*, 2007).

La vulnerabilidad es determinada por el nivel de exposición al riesgo, la sensibilidad que se tenga a él y la capacidad que se tenga de adaptarse. Los efectos en salud del cambio climático pueden ser substancialmente diversos dependiendo de la región. El estudio de la vulnerabilidad social y ambiental de las poblaciones sujetas a efectos de los pactos climáticos en su integridad física, bienestar y salud es fundamental para la orientación de acciones preventivas (Confalonieri, 2003). Sin duda uno de los aspectos a considerar en el análisis de los desastres son los efectos en la salud humana, los cuales dependen de una combinación de las vulnerabilidades anteriores. La CMNUCC (Convención Marco sobre el Cambio Climático) señala que el principal requisito para la adaptación en la salud humana radica en mejorar los sistemas de salud pública, especialmente fortalecer sistemas de vigilancia (Samaniego, 2009 e IPCC, 2007). No obstante es igualmente importante conocer y comprender las interacciones entre los peligros y la salud dentro de los contextos vulnerables de pobreza,

interculturalidad, inequidad, corrupción institucional, y escasa de infraestructura. En la figura 38 se muestra un esquema integral para determinar la vulnerabilidad sanitaria.

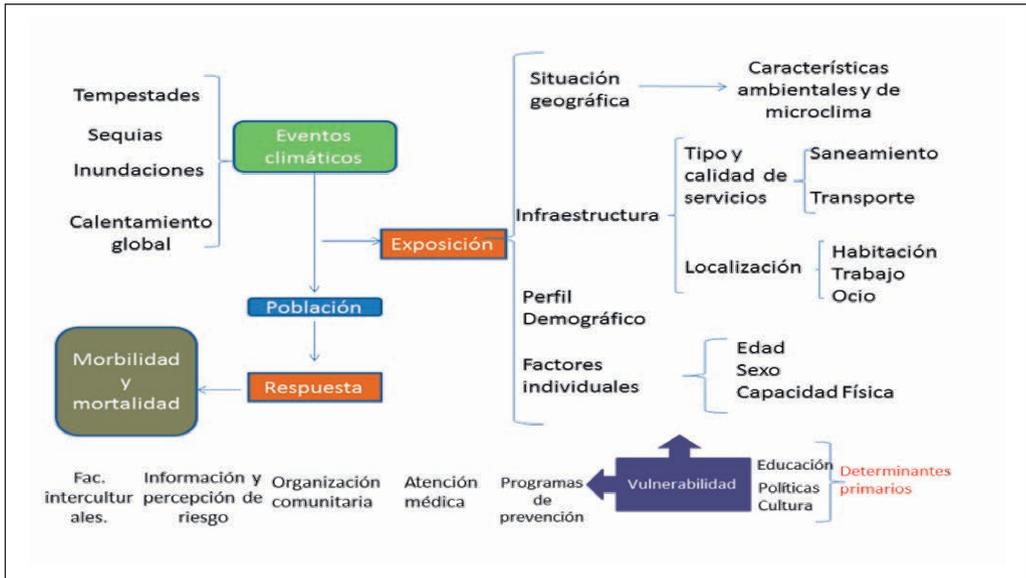


Figura 38. Esquema integral para determinar la vulnerabilidad sanitaria.

EVALUACIÓN DE LOS DIFERENTES NIVELES DE RIESGO ASOCIADO A CADA TIPO DE FENÓMENO, TANTO NATURAL COMO ANTROPOGÉNICO

El riesgo puede representarse mediante una sencilla ecuación matemática:

$$\text{Riesgo de desastre} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

El riesgo total considerará además, la valoración económica de las pérdidas y se expresará según la siguiente fórmula:

$$R = C \sum_{i=1}^n V_i * P_i \quad (5)$$

Donde:

C: Valor de los bienes expuestos, expresado en pesos.

V_i : Vulnerabilidad de los bienes expuestos ante un peligro de intensidad i ésima.

P_i : Peligro de intensidad i ésima.

n: Cantidad de intervalos de intensidades analizadas.

Para fines de planificación ambiental una de las herramientas de mayor utilidad para la toma de decisiones es la construcción de escenarios en los que se detecten las zonas con niveles elevados de riesgo, en términos,

por ejemplo, de las pérdidas monetarias derivadas de las consecuencias ocasionadas por la ocurrencia de un fenómeno.

Entre los productos esperados se encuentran los mapas de riesgo que identifiquen las zonas en donde, para un fenómeno con intensidad dada, las consecuencias del daño sean máximas, medias o mínimas; mapas de afectación ante la ocurrencia de algún fenómeno; estadísticas sobre la ocurrencia y efecto de los fenómenos perturbadores.

METODOLOGÍA DE CALOR EXTREMO DEL E-ATLAS PARA RIESGOS DE DESASTRES, APLICACIÓN A MÉXICO

Las estimaciones de la distribución espacial de los datos meteorológicos tienen una importancia cada vez mayor en el modelado regional y global de peligros. Este atlas utiliza una técnica de mapeo objetiva que emplea datos empíricos y procedimientos estadísticos para estimar la distribución espacial del índice de calor diario máximo anual en periodos de retorno de dos, cinco y diez años, como medida del peligro de calor en la República Mexicana.

Esta técnica pasa por la aplicación de los siguientes pasos (figura 39).

- La extracción de los datos de la temperatura y punto de rocío diarios.
- Para cada estación climática, la estimación de la temperatura diaria máxima anual y el punto de rocío para periodos de retorno de dos, cinco y diez años, empleando el método de Gumbel para el análisis de frecuencia.
- El cálculo del índice de calor diario máximo anual utilizando los resultados del análisis de frecuencia de Gumbel, junto con la fórmula de Steadman.
- La identificación de los parámetros relevantes y, para cada zona y periodo de retorno, la selección del modelo de regresión para espacializar el índice de calor diario máximo anual empleando un análisis de regresión por pasos.
- La interpolación del índice de calor diario máximo anual para cada periodo de retorno y zona, utilizando los modelos de regresión seleccionados.
- La agregación y clasificación de los mapas resultantes, para obtener el mapa de la distribución del peligro de calor.

DELIMITACIÓN DE ÁREAS SUJETAS A RIESGOS NATURALES O ANTRÓPICOS EN LA ETAPA DE DIAGNÓSTICO DEL OET

El objetivo de la Etapa de Diagnóstico en la fase de formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET) persigue identificar y analizar los conflictos ambientales entre los sectores con actividades en el área a ordenar. En este contexto es de vital importancia identificar las áreas

(unidades de gestión ambiental) sujetas a peligros y riesgos potenciales por lo que no son aptas o tiene limitaciones específicas para un tipo de actividad particular.

El análisis de varios POET realizados hasta el presente, muestran que por regla general en la etapa de caracterización y diagnóstico

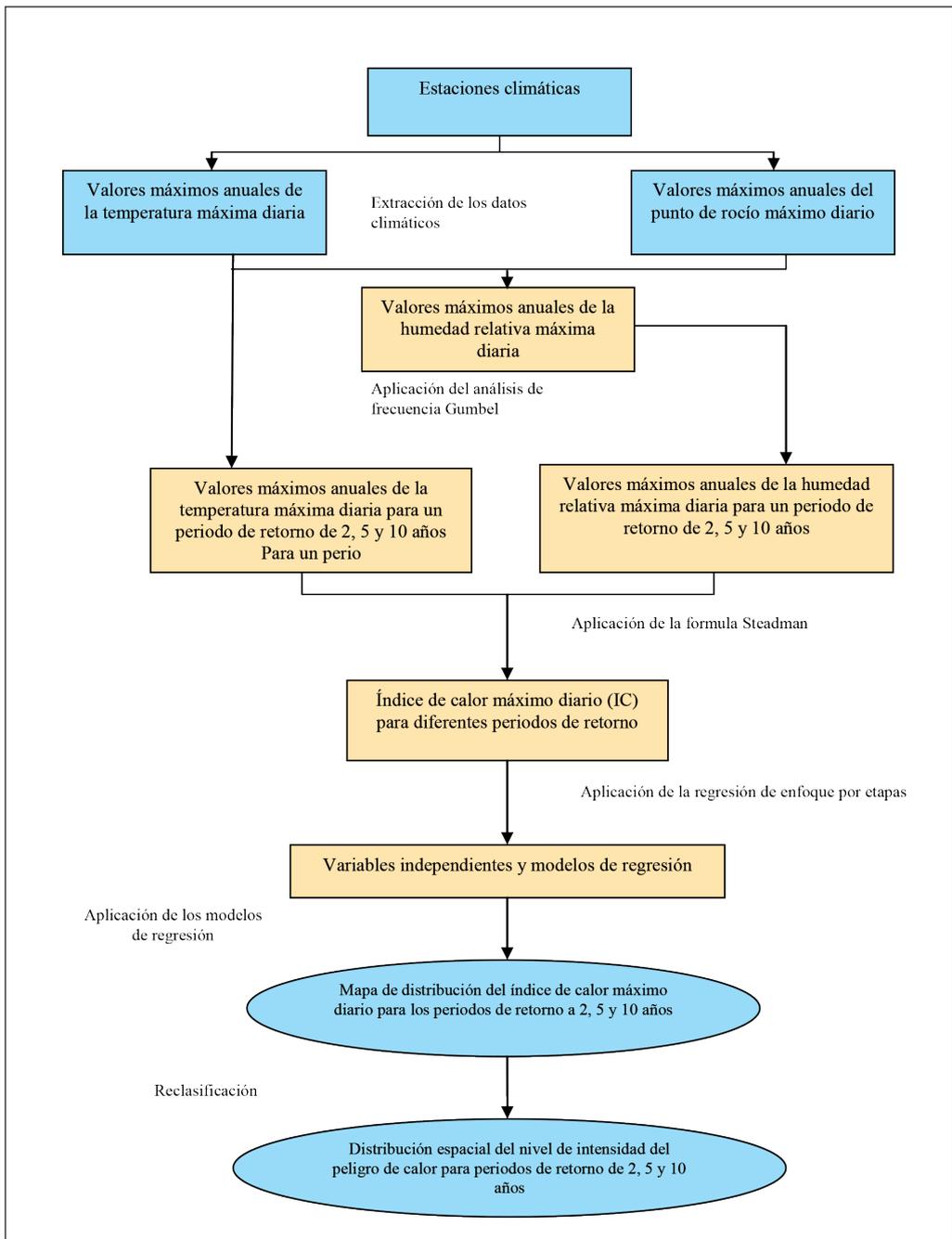


Figura 39. Metodología utilizada para obtener la distribución espacial del nivel de peligro de la intensidad de calor en la República Mexicana.

se incluye algún tipo de análisis de peligros. No obstante, los resultados de ese análisis no son utilizados como un elemento importante en la elaboración de los mapas de aptitud sectorial, situación que deja de lado las restricciones que, por la eventual manifestación de un peligro, impone el territorio a las actividades de cada sector.

Es por ello que tanto en la identificación de los conflictos, como en la delimitación de las áreas a aprovechar, preservar, conservar, proteger, restaurar (unidades de gestión ambiental) es donde se puede incorporar el tema de los peligros, la vulnerabilidad, y los riesgos, siguiendo esa secuencia lógica.

La identificación de limitantes e incompatibilidades de la expresión geográfica de los peligros con los mapas de aptitud de cada sector y el uso y función actual del territorio puede realizarse a partir de dos tipos de análisis:

- El primero se realiza a partir del mapa integrado de peligros que permite definir la variación del peligro (muy alto,

alto, moderado, bajo, nulo) y que este se combine con los mapas de aptitud de cada sector, determinando las áreas con conflictos entre el uso del territorio y la ocurrencia potencial de peligros geológicos e hidrometeorológicos.

- El segundo análisis más específico está dirigido a correlacionar los mapas individuales de cada peligro con los mapas de aptitud de cada sector y el uso actual del suelo.

Ambos análisis se pueden realizar tomando en cuenta los propios métodos definidos para la formulación del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) y por lo tanto no detallaremos el asunto.

Como resultado deberá obtenerse las áreas que tienen conflictos o limitan el desarrollo de una u otra actividad debido a la intensidad y/o frecuencia de los peligros naturales. Un ejemplo de los resultados a generar podría ser el siguiente (tabla 15).

En esta etapa, tal como establece el proceso de Ordenamiento Ecológico, deben pro-

Tabla 15. Propuesta de categorización de conflictos en el territorio por presencia de peligros y su manifestación en los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET).

Conflicto	Descripción
Sin conflicto.	La aptitud potencial del territorio y el uso actual no están afectados por peligros hidrometeorológicos o geológicos.
Conflicto bajo.	El uso actual y las aptitudes potenciales del área presentan peligros hidrometeorológicos o geológicos bajos, con vulnerabilidad nula o baja.
Conflicto medio	El uso actual y las aptitudes potenciales del área presentan peligros hidrometeorológicos o geológicos moderados, que determinan la necesidad de realizar análisis de vulnerabilidad. Dependiendo de ella pueden ser determinantes en las decisiones.
Conflicto alto.	El uso actual y las aptitudes potenciales del área presentan algunos peligros hidrometeorológicos o geológicos altos, que limitan su desarrollo futuro
Conflicto muy alto.	El uso actual y las aptitudes potenciales del área presentan varios peligros hidrometeorológicos o geológicos altos, que determinan en la delimitación de políticas exclusivas de conservación

ducirse talleres de validación que permitan verificar si la intensidad y frecuencia de los peligros afectan considerablemente el uso o las aptitudes del territorio, así como identificar la vulnerabilidad de las poblaciones, la infraestructura, los sistemas productivos y los ecosistemas.

Una vez determinado el peligro algunos de los análisis para determinar las áreas que se deberán preservar, conservar, proteger o restaurar pueden ser los siguientes (tabla 16):

En este caso lo más importante estriba en las consideraciones que se deben tener para integrar la dimensión del peligro en el OET y la forma que toman como limitantes o restricciones de uso de suelo. Aquí vemos la caracterización más general de la propuesta para cada política del OET. Como se mencionó en cada uno de los apartados de la guía, hay consideraciones de escala que deben re-

solverse y que deben ser representados e incluidos en las distintas fases o etapas del OET.

En la siguiente tabla (tabla 17) se sintetiza lo que podría considerarse el modelo “*ex post*”, dada como una sobreposición de condiciones de peligro con las políticas del OET. Conforme a lo que se propone en esta guía, el resultado de la inclusión “*ex ante*” se puede lograr en el momento que se realiza la valoración de aptitud y dentro de los conflictos (compatibilidad de usos) al ser considerado como un sector (ver la propuesta metodológica del reciente Ordenamiento Ecológico General del Territorio, SEMARNAT-INE-UNAM, 2009a y 2009b).

Algunos ejemplos de medidas asociadas a peligros naturales y su influencia en la definición de las Políticas de áreas a aprovechar, conservar, proteger o restaurar se muestran en la tabla 18.

Tabla 16. Propuesta de política ambiental según los peligros identificados.

Unidad	Peligros Hidrometeorológicos			Peligros Geológicos			Evaluación Peligro Total	Política ambiental según peligro
	Inundaciones	Inundaciones costeras	Sequías	Sismicidad	Volcanes	Movimientos laderas		
1	Baja	Nulo	Baja	Alta	Nulo	Alto	Bajo	Aprovechamiento sustentable No influye el peligro en política ambiental
2	Alta	Alta	Baja	Baja	Nulo	Alto	Alto	Protección Implementar medidas de adaptación y mitigación para disminuir la vulnerabilidad
3	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Alto	Preservación Implementar medidas de adaptación y mitigación para disminuir la vulnerabilidad

Tabla 17. Modelo para incluir e integrar la dimensión de los peligros naturales o provocados en el OET. Relación y condicionantes entre políticas del OET y presencia de peligros.

		Peligro				
		Muy alto (1)	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Aprovechamiento con impulso ^[2]		Negado. Se convierte en protección-conservación. Si hay zonas residenciales se propone reubicación y análisis fino mediante atlas de riesgos urbanos/municipales.	Altamente Restringido. Limitado a manejar y disminuir la vulnerabilidad en sus planes y proyectos. Generar medidas preventivas y de respuestas de gestión del riesgo (comunicación). Esta limitación aplica cuando las zonas peligrosas son muy puntuales y no afectan a toda la unidad.	<i>Restringido</i> (permitido) sólo a las áreas menos susceptibles o con menos probabilidad de presentar peligros múltiples. Esta limitación aplica cuando las zonas peligrosas son muy puntuales y no afectan a toda la unidad.	Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad. Esta limitación aplica cuando las zonas peligrosas son muy puntuales y no afectan a toda la unidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.
		Negado para residencial-urbano. Limitado a presentar medidas específicas para evitar, prevenir/diminuir el riesgo en sus planes y proyectos (usos agrícola-ganadero y forestal) mediante el manejo y disminución de la vulnerabilidad. Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Altamente Restringido. Limitado a disminuir/anular la vulnerabilidad en sus planes y proyectos. Generar medidas preventivas y de respuestas de gestión del riesgo (comunicación). Recomendaciones de construcción y normas-ejemplos de actividades productivas e Infraestructura. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	<i>Restringido</i> según el tamaño de la unidad ambiental. En grandes unidades territoriales con este nivel de peligro, mayores restricciones de uso.	Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad.	

¹ Ante peligros considerados muy altos y altos, debe existir un explícito consenso (Riesgo aceptado) de los riesgos que la sociedad está dispuesta a correr. Debe contar con la armonización-ensamblaje para la coordinación institucional y metodológica de los atlas de riesgo. Independientemente de la política asignada estas dos columnas deben incluir en sus recomendaciones acciones asociadas a los sistemas de alerta temprana, modelos climáticos y proyecciones del clima y de la elevación del nivel del mar.

² Las propuestas de OET de la UABC, Programa regional de ordenamiento ecológico del corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe. Periódico oficial del Estado de Baja California. Mexicali B.C. 8 de septiembre de 2006. Tomo CXIII, No. 37, pp 226 Impulso es donde no hay uso actual y se quiere transformar y control es donde ya hay un uso pero se quiere intensificar dicho uso.

Tabla 17 (continuación). Modelo para incluir e integrar la dimensión de los peligros naturales o provocados en el OET. Relación y condicionantes entre políticas del OET y presencia de peligros.

		Peligro				
		Muy alto (1)	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Conservación		Condicionado. Requiere incluir/ presentar medidas para disminuir/anular la vulnerabilidad en sus planes y proyectos, particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento humano. Requiere tener lineamientos para la gestión del riesgo que permitan respuestas muy rápidas. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Condicionado. Requiere incluir/ presentar medidas para disminuir/anular la vulnerabilidad en sus planes y proyectos, particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento humano. Requiere tener lineamientos para la gestión del riesgo que permitan respuestas muy rápidas. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo esquemas de monitoreo de la evolución de la vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro. Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.	Sin restricciones/ Codicionada condicionantes asociadas al peligro.
		Requiere incluir/ presentar medidas para disminuir/anular la vulnerabilidad en sus planes y proyectos particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento humano. Requiere presentar –incluir en los planes de manejo y operación (anual) propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo y operación (anual) propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo esquemas de monitoreo de la evolución de la vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.
Protección						

¹ Ante peligros considerados muy altos y altos, debe existir un explícito consenso (Riesgo aceptado) de los riesgos que la sociedad está dispuesta a correr. Debe contar con la armonización-ensamblaje para la coordinación institucional y metodológica de los atlas de riesgo. Independientemente de la política asignada estas dos columnas deben incluir en sus recomendaciones acciones asociadas a los sistemas de alerta temprana, modelos climáticos y proyecciones del clima y de la elevación del nivel del mar.

² Las propuestas de OET de la UABC, Programa regional de ordenamiento ecológico del corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe. Periódico oficial del Estado de Baja California. Mexicali B.C. 8 de septiembre de 2006. Tomo CXIII, No. 37, pp 226 Impulso es donde no hay uso actual y se quiere transformar y control es donde ya hay un uso pero se quiere intensificar dicho uso.

Tabla 17 (continuación). Modelo para incluir e integrar la dimensión de los peligros naturales o provocados en el OET. Relación y condicionantes entre políticas del OET y presencia de peligros.

		Peligro				
		Muy alto (1)	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Restauración	<i>Requiere ser considerada como alta prioridad</i>	especialmente si está asociada a porciones de la cuenca que genera peligros sobre asentamientos humanos	<i>Requiere ser considerada como alta prioridad</i>	especialmente si está asociada a porciones de la cuenca que genera peligros sobre asentamientos humanos.	<i>Requiere ser considerada como prioridad media</i>	especialmente si está asociada a porciones de la cuenca que genera peligros sobre asentamientos humanos.
					<i>Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.</i>	<i>Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.</i>

¹ Ante peligros considerados muy altos y altos, debe existir un explícito consenso (Riesgo aceptado) de los riesgos que la sociedad está dispuesta a correr. Debe contar con la armonización-ensamblaje para la coordinación institucional y metodológica de los atlas de riesgo. Independientemente de la política asignada estas dos columnas deben incluir en sus recomendaciones acciones asociadas a los sistemas de alerta temprana, modelos climáticos y proyecciones del clima y de la elevación del nivel del mar.

² Las propuestas de OET de la UABC, Programa regional de ordenamiento ecológico del corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe. Periódico oficial del Estado de Baja California. Mexicali B.C. 8 de septiembre de 2006. Tomo CXIII, No. 37, pp 226 Impulso es donde no hay uso actual y se quiere transformar y control es donde ya hay un uso pero se quiere intensificar dicho uso.

Tabla 18. Ejemplos de medidas asociadas a peligros naturales para la política de aprovechamiento sustentable.

Políticas	Peligros hidrometeorológicos				Efectos Cambio Climático	
	Inundaciones ¹	Fuertes Vientos	Sequías	Peligros geológicos		
	Pluviales	Costeras ²	Sísmico	Volcánico ³	Deslizamiento de laderas ⁴	
Aprovechamiento	SEDESOL: Programa Hábitat/Atlas de riesgo (Ejecución de obras y acciones para la prevención o mitigación de riesgos y desastres originados por fenómenos naturales. Elaboración y actualización de planes y programas de desarrollo urbano y de ordenamiento territorial).	Seguros para construcciones y bienes compañías privadas.	Lineamientos para abasto y manejo de agua eficiente (conflictos campo-ciudad).	Sistemas de alerta, planes contingencia. Normas de construcción. Reubicación.	Sistemas de alerta, planes contingencia (caso del Popocatepetl). Programa Hábitat.	A modelar con los escenarios (ver capítulo de CC).
Urbano	SEGOB: FOPREDEN/sistemas de alerta temprana					
Agrícola-ganadero	SAGARPA: Programa PIASRE Atención a Contingencias Climatológicas Aprovechar suelos inundables por eventos extremos con agricultura resistente a inundaciones: Uso Sustentable de Recursos Naturales para la Producción.	SAGARPA/ Agroasemex Seguros contra pérdida de cosechas.	SAGARPA/ Agroasemex Seguros contra pérdida de cosechas.		SAGARPA: (manejo de laderas). Uso Sustentable. de Recursos Naturales para la Producción.	
Forestal-natural	CONAFOR ProÁrbol, Pago por Servicios Ambientales (PSA).				Reforestación y manejo de laderas.	

¹CONAFOR: Reforestación, Suelos Forestales, Sanidad Forestal, Humedales, Servicios Ambientales. COANANP : PROCODES, acciones y programas prioritarios, Fondo para Áreas Naturales Protegidas

²Zonas Costeras bajas propensas a inundaciones con vegetación costera deben incluirse como áreas a proteger.

Programas de reubicación de población donde existieron manglares degradados deben incluirse como áreas a restaurar para mitigar efectos de inundaciones costeras.

³ Las Zonas de Conos Volcánicos dado su alto riesgo deben mantenerse como áreas a proteger-conservar.

⁴ Programas de conservación y manejo de laderas: toda actividad agrícola (subsídios de gobierno) deberá estar condicionada al uso de técnicas de conservación de suelos.

METODOLOGÍA DE INCORPORACIÓN DEL PRONÓSTICO DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

La etapa de pronóstico en el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) está dirigida a la evaluación del comportamiento futuro de una situación, basándose según se define en el Manual del Proceso de OET, en el análisis del pasado, por lo que depende de un buen diagnóstico para que las previsiones que se puedan hacer sean robustas y permitan hacer inferencias validas. Se especifica que en general el objetivo del pronóstico es examinar la evolución de los conflictos ambientales, a partir de la predicción del comportamiento de las variables naturales, sociales y económicas que puedan influenciar el patrón de ocupación territorial que hagan los diversos sectores en el área de Ordenamiento Ecológico.

Sin embargo, nos encontramos ante nuevos dilemas que modifican en parte el pensamiento anterior, dado que el pasado pierde su poder para determinar el presente. El lugar que ocupa la experiencia presente estará ocupado por el futuro, es decir, por algo inexistente, construido y ficticio. Debatimos y discutimos acerca de algo que no sucede, pero que podría ocurrir si seguimos en la misma dirección, o que podría ocurrir alrededor de un periodo de tiempo establecido estadísticamente (periodo de retorno).

Los dilemas principales que determinan estos procesos estarían asociados con en el Cambio Climático. Las amenazas globales han conducido a un mundo donde las bases de la lógica establecida del riesgo son minadas e invalidadas, en las que lo único que hay son peligros difíciles de controlar en lugar de riesgos calculables. Los nuevos peligros destruyen los pilares del cálculo convencional de la seguridad: los daños apenas pueden atribuirse ya

a responsables definidos, del mismo modo que el principio de quién contamina paga pierde virtualidad; los daños no pueden ya compensarse financieramente - no tiene sentido asegurarse a uno mismo contra los peores casos de la espiral de amenaza global..

En este contexto el Cambio Climático se convierte en un aspecto fundamental de análisis, toda vez que la construcción y descripción de los escenarios tendencial, contextual y estratégico y el conocimiento del posible comportamiento futuro de los atributos ambientales que determinan la aptitud del territorio para sustentar las actividades de cada sector, tienen que tener en cuenta necesariamente los pronósticos del mismo y cómo afectaría al territorio objeto de Ordenamiento, así como las actividades que se desarrollan.

En la metodología del pronóstico se plantea la modelación del comportamiento futuro de los atributos ambientales en 4 aspectos a) El deterioro de los bienes y servicios ambientales (*e.g.* procesos de contaminación de suelo, agua y aire, etc.), así como los procesos de pérdida de cobertura vegetal y degradación de ecosistemas; b) Las tendencias de crecimiento poblacional y las demandas de infraestructura urbana, equipamiento y servicios urbanos; c) Las tendencias de crecimiento de la frontera agrícola y d) Las tendencias socioeconómicas de la región, considerando el crecimiento urbano a 25 años. La realidad actual demuestra que en los referidos procesos de modelación debe incorporarse un quinto aspecto relacionado con el comportamiento futuro de las variables ambientales alteradas por el cambio climático.

En años recientes, el estudio de los factores que regulan el clima del planeta ha re-

gistrado un considerable avance. Recursos esenciales como el agua dulce, comienzan a escasear de manera significativa a nivel mundial resultado de alteraciones en el clima, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, la salud humana, la salud ambiental y la estabilidad política, tanto nacional como internacional (Anderson, 2011; Estenssoro, 2010; FAO, 2007; MEA, 2005; Fischer *et al.*, 2002).

La evidencia observacional indica que muchos de los cambios a escala regional, principalmente aquellos relacionados con la temperatura ya han afectado a un gran número de sistemas físicos y biológicos (Moreno y Urbina, 2008; Sarukhán *et al.*, 2009). Aunque se sospecha que los cambios en la precipitación también tendrán un gran impacto en los mismos, no existen datos para un periodo suficientemente largo que permitan definir con precisión cómo serán esos cambios a escala regional. Existen indicaciones preliminares de que algunos de los sistemas humanos están siendo afectados por el aumento en la frecuencia de inundaciones y sequías (Schwalm *et al.*, 2012; INE, 2006).

Para México, los cambios de mayor relevancia serán aquellos asociados a la precipitación, pues viviendo en un país con extensas regiones semiáridas, la disponibilidad de agua se vuelve un elemento de seguridad nacional. Un análisis más detallado de los sectores más vulnerables ante el Cambio Climático de acuerdo con los resultados del Primer Estudio de País (INE, 1995) muestra lo siguiente:

- la agricultura de temporal, se vería afectada en áreas que en la actualidad son medianamente aptas para el cultivo del maíz reduciéndose así, la extensión para

- su cultivo, lo cual afectaría a millones de personas que subsisten gracias a éste;
- la incidencia de algunas enfermedades transmitidas por vector (*e.g.* fiebre amarilla, dengue, malaria, además de las clásicas enfermedades gastrointestinales) se podría ver incrementada. La mala adaptación al problema del agua, con gente almacenando este recurso en botes o tambos podría inducir brotes de paludismo;
 - más de 15 mil kilómetros cuadrados de zonas costeras se podrían ver amenazados por la elevación del nivel del mar, afectando por igual a los ecosistemas, la ganadería y la agricultura. Zonas que requieren especial atención son las desembocaduras del río Bravo, en Tamaulipas, del Usumacinta, Grijalva en Tabasco, las lagunas costeras en Veracruz, etc. En algunos lugares el agua de mar podría introducirse más de 40 km tierra adentro;
 - las industrias que requieren el agua como insumo se podrían ver amenazadas. La generación de energía eléctrica competiría por este recurso con el consumo humano y la agricultura. El país, de acuerdo a los escenarios, también presenta una tendencia a la desertificación (erosión) que se agravaría. Habría que tratar de revertir esta tendencia al menos en lo que toca al desordenado cambio de uso de suelo;
 - muchos ecosistemas también se verían amenazados. El 50 % de la vegetación cambiaría de características con un calentamiento de 3 a 4 °C sobre todo los bosques templados de pino y encino, y con ellos, la fauna y flora asociadas.

Las estrategias seguidas hasta ahora para generar escenarios futuros de condiciones en el clima son diversas. Sin embargo, los modelos desarrollados hasta ahora han sido muy útiles para comprender los retos al nivel global, pero su resolución no es suficiente para la elaboración de modelos regionales y locales, mismos que hay que generar caso por caso. Se pueden tomar directamente las salidas de los modelos globales existentes, bajo la consideración que no reflejan totalmente la dinámica atmosférica en los trópicos, ni los efectos locales de cambios en la precipitación, entre muchas otras cosas, lo que aumenta el grado de incertidumbre al nivel regional y local.

Cada día cobran más importancia los aspectos relacionados con el Cambio Climático, a partir de diferentes escenarios de emisiones (SRES, según siglas en inglés). El IPCC (2000) ha elaborado estos escenarios sobre la base de diferentes niveles de emisiones de gases de invernadero: A1B (Emisiones Altas), A2 (Emisiones Media-Alta), B2 (Emisiones Media-Baja) y B1 (Emisiones Bajas). En México, empleando modelos del clima de muchos centros de pronóstico meteorológico se establecieron escenarios al 2020, 2050 y 2080 para esos diferentes niveles de emisión (figura 40), que indican, de manera general, que la parte más septentrional del país experimentará los mayores ascensos de la temperatura superficial en junio.

Los escenarios construidos hasta ahora a partir de modelos o técnicas de reducción de escala sugieren que la precipitación en muchas regiones del país podría disminuir, en forma similar a lo que acontece en veranos “Niño” en México. Bajo un escenario de

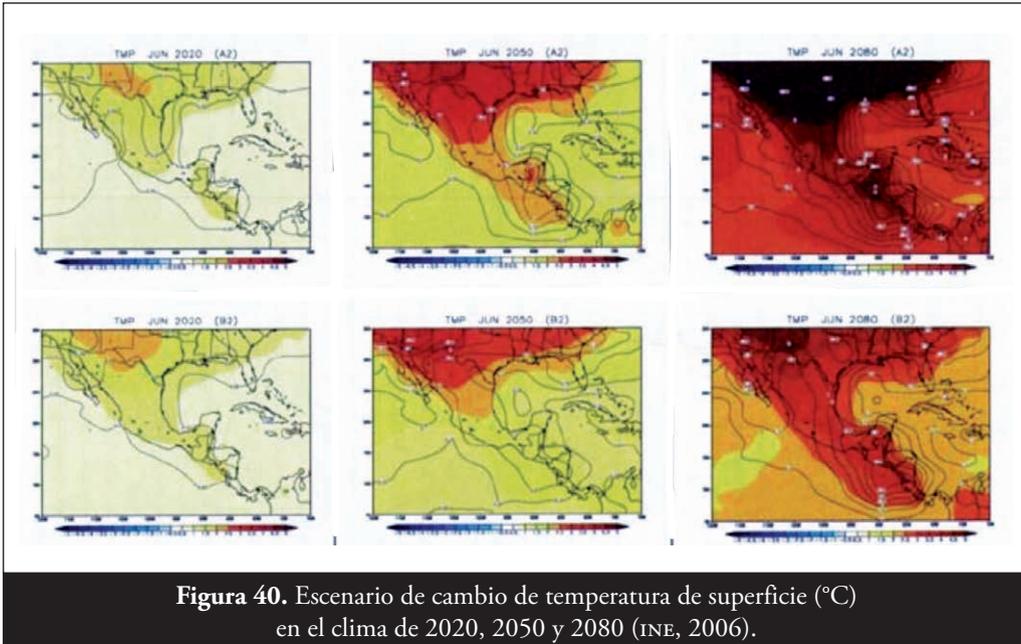


Figura 40. Escenario de cambio de temperatura de superficie (°C) en el clima de 2020, 2050 y 2080 (INE, 2006).

cambio climático con condiciones de sequía prolongada, el desarrollo sostenido de la sociedad estaría en serio peligro.

Los cambios de las lluvias de invierno indican una disminución en las precipitaciones que fluctúa entre 0 y 0.6 mm/día, lo cual indica reducciones de un 15% en la zona central de México y de un 5% en la zona costera del Golfo de México. En el caso de la lluvia se proyectan disminuciones entre 0 y 20% para la primera parte del año, las cuales se hacen de menor magnitud hacia el inicio del verano e incluso se revierten en aumentos hacia el último trimestre del año.

Los modelos muestran posibles disminuciones en la frecuencia de los frentes fríos con tendencias a la disminución de las precipitaciones en la zona costera del Golfo, donde actualmente se producen los mayores montos de precipitaciones de tipo frontal. Con relación a los ciclones tropicales se considera

que aumenten de intensidad al ocurrir una disminución barométrica central promedio del sistema de un 14%, con aumentos de 6% en la intensidad de los vientos y de 18% de las precipitaciones en un radio de 100 km con respecto al centro del evento ciclónico.

Por otra parte, las teorías sugieren el aumento de tormentas severas y de prolongados períodos de sequía, por efecto del aumento de la intensidad del ciclo hidrológico. Según los expertos nacionales, las observaciones de los últimos años en México, refuerzan este escenario.

A los efectos del pronóstico para el Ordenamiento Ecológico del Territorio, cobran gran importancia cuatro aspectos fundamentales:

- Los cambios del régimen hidrológico y la disponibilidad del recurso agua para enfrentar las tareas del desarrollo socio-económico nacional.

- Ascenso del nivel del mar por efecto del Cambio Climático.
- El incremento de procesos súbitos (deslaves).
- La aceleración de la degradación de los ecosistemas.

CAMBIOS DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO Y LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA PARA ENFRENTAR LAS TAREAS DEL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO NACIONAL

El agua es probablemente el recurso más importante para el país, por lo que requiere de atención especial. La distribución espacial del recurso agua en México dista mucho de ser uniforme. El 50% de la población cuenta con menos del 20% de este recurso, mientras que en el sudeste del país, el 20% de la población tiene más del 50% del agua. Con poca precipitación en el norte y mucha en el sur, el Cambio Climático podría traducirse, de acuerdo con los escenarios del Estudio de País, en escasez de agua en el norte y exceso hacia el sur. Además, dado que actualmente todas las cuencas hidrológicas en el país son vulnerables de acuerdo a los criterios utilizados en el Estudio de País y a las fluctuaciones climáticas, la situación probablemente se vería empeorada en condiciones de Cambio Climático.

La región septentrional mexicana muestra evidencias de que el incremento de la temperatura conllevará al incremento de la evapotranspiración con la consiguiente disminución de la humedad del suelo. En este escenario, la probabilidad de una mayor intensidad de extracción de agua para poder mantener el régimen de riego de los cultivos.

En la actualidad, las condiciones en la región noroeste del país y en la capital indican

una fuerte presión sobre el recurso agua y de media a fuerte en la cuenca Lerma-Chapala, siendo de moderada a baja en el sur, donde el recurso es abundante.

Según las investigaciones de la Fundación Gonzalo Río Arronte-Fundación Javier Barros Sierra (FGRA-FJBS, 2004) y la generación de escenarios de demanda futura de agua, tomando en consideración el crecimiento poblacional, escenarios de crecimiento del PIB, de la agricultura y de manejo del agua, la presión del recurso hídrico alcanzaría mayor intensidad a las necesidades actuales de agua.

Si a este escenario se suman las tendencias del Cambio Climático, se agudiza la presión sobre el recurso agua en varias regiones del país. Por ejemplo, Baja California y Sonora experimentarían una situación crítica en la disponibilidad de agua, mientras la región de Lerma-Chapala alcanzaría fuertes presiones de disponibilidad (figura 41). En modelos propuestos por la Comisión Nacional del Agua con proyección al 2025 se replica la situación descrita.

Los escenarios socioeconómicos del IPCC indican que México será una de las regiones que requerirá mayor atención, principalmente en las regiones oeste, noroeste y

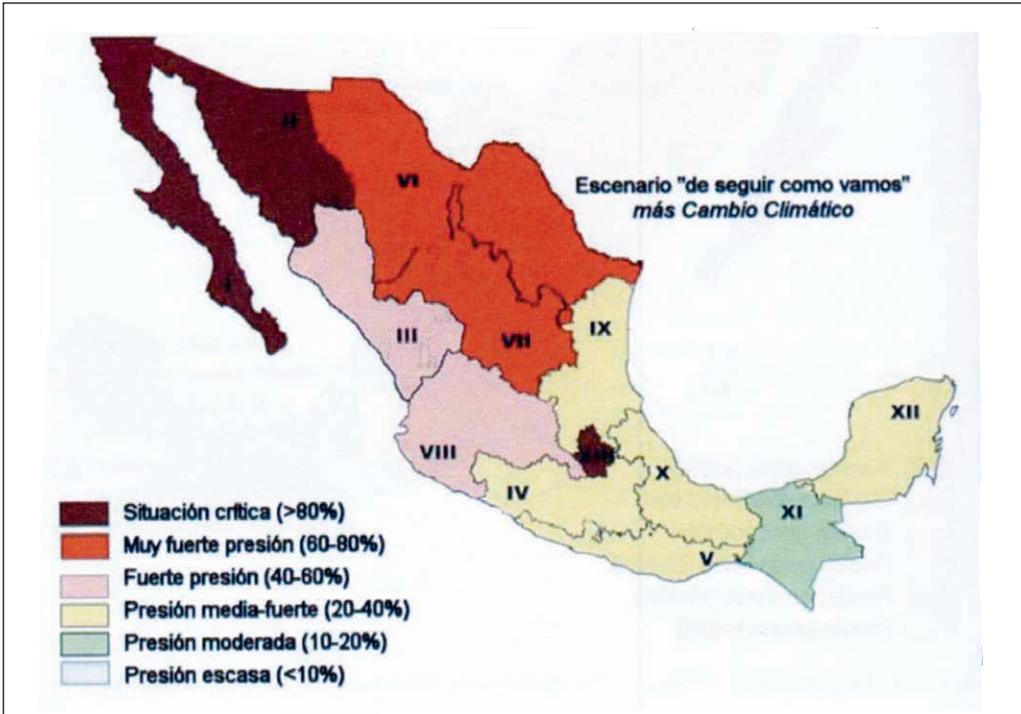


Figura 41. Grado de presión sobre el recurso hídrico con proyecciones socioeconómicas para el año 2030 y se incluyen los escenarios del cambio climático. Fuente: INE, 2006.

norte, dado que se esperan crecimientos de la población en la península de Baja California, en la zona norte de la cuenca Lerma-Chapala, así como en la frontera sur y la península de Yucatán.

Estos escenarios determinan que aplicando diversos métodos que aparecen en la literatura es de gran importancia en la etapa de pronóstico de los ordenamientos ecológicos estatales y municipales, incluir la consideración de la influencia del cambio climático sobre los recursos hídricos del territorio.

Uno de los métodos es la evaluación de la Aportación A que es el volumen de agua que aporta una cuenca en régimen natural, los recursos hídricos anuales, a partir del balance hídrico:

$$A = P - ETR$$

Ecuación 6

donde:

P: Precipitación anual

ETR: Evapotranspiración real anual

Es bien conocido en Hidrología que una disminución de la Precipitación (P) suele tener una amplificación en términos de Aportación; de otro lado, el aumento de temperatura (T), significa una mayor transpiración biológica de las plantas para mantener su equilibrio interno, y una mayor evaporación directa del suelo. Se puede seguir un procedimiento ecléctico en base a la aplicación de la ecuación en las diversas cuencas del te-

territorio, y conocidos ETR y P para el nuevo escenario, se pueden calcular las reducciones de recursos hídricos para después del 2050.

ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El calentamiento global viene acompañado por una elevación del nivel del mar debido a la expansión térmica de los océanos; ésta se traduce en que zonas costeras bajas, por debajo de los 2 m. s. n. m. y por arriba de la marea alta se vuelven vulnerables a las inundaciones. Esto se ilustra en la figura 42, donde se observa que Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo se verían afectados.

En particular durante la etapa de pronóstico del Ordenamiento Ecológico regional y local que incluya zonas costeras deberán realizarse modelaciones del ascenso previsto en el nivel del mar y lo que significa en términos de áreas afectadas que desaparecerían y en particular aquellas funciones que tendrían los territorios para mitigar los efectos del ascenso del nivel del mar. Lo mismo aplica para los Ordenamientos Ecológicos Marinos, sin importar si su límite de aplicación es la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) o si incluye municipios o estados costeros.

En este sentido se ha considerado una elevación del nivel medio del mar de 40 cm entre la actualidad y la última década del siglo, como línea base para la planeación y la construcción de infraestructura costera.

En México existen un grupo de elementos definidos que pueden ser considerados en los procesos de Ordenamiento Ecológico

regional y local que están relacionados con la adaptación en términos de gestión. Entre ellos pueden mencionarse los siguientes:

- Preservar y fortalecer las funciones de amortiguamiento que existen en las cuencas.
- Ajustar las técnicas de tratamiento de agua a las nuevas condiciones climáticas.
- Fortalecer y revisar la implementación de instrumentos de gestión como la veda temporal, las áreas naturales protegidas (ANP) marinas y costeras o el pago por servicios hidrológicos, para adecuarlos a las nuevas necesidades que impone el cambio climático.
- Establecer corredores biológicos y evaluar la modificación de los actuales límites geográficos de algunas ANP y Regiones Prioritarias para la Conservación, para apoyar la capacidad de ajuste de los ecosistemas y especies.
- Revalorar la experiencia adquirida por grupos vulnerables frente a la variabilidad climática, para su aplicación en el planteamiento de políticas de adaptación al cambio climático.
- Considerar una elevación del nivel medio del mar de 40 cm entre la actualidad y la última década del siglo, como línea base para la planeación y la construcción de infraestructura costera.

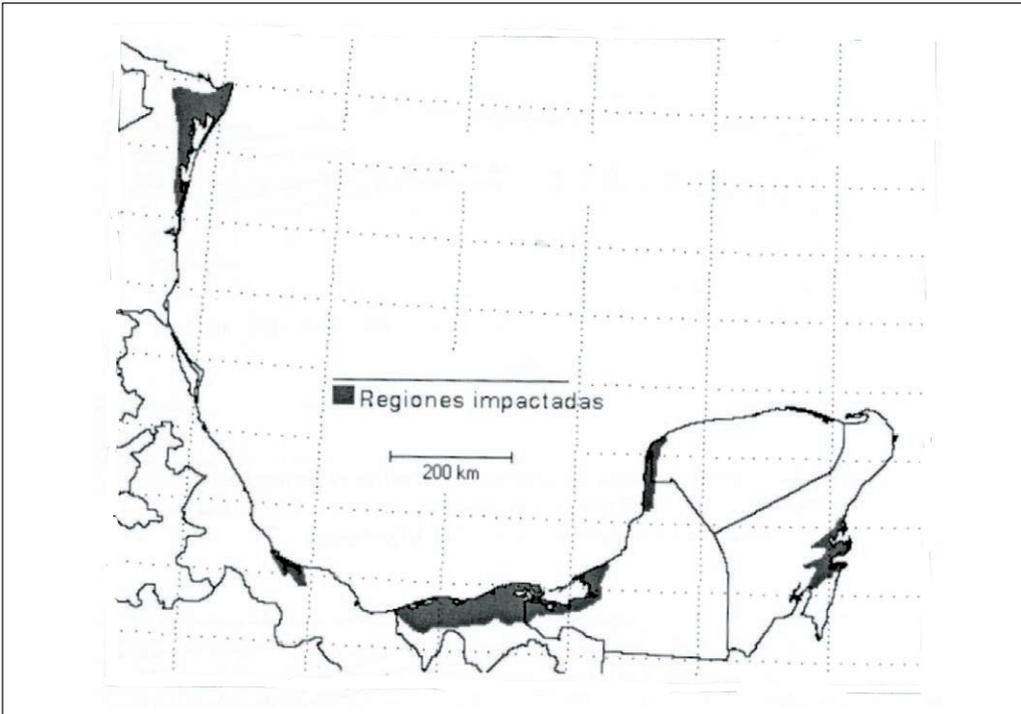


Figura 42. Zonas con alto riesgo de impacto por el incremento del nivel del mar.
Fuente: SEMARNAP, 1997.

- Fomentar sinergias entre el sector turístico, pesquero, hídrico y el SINAPROC. Inducir criterios de diseño ambiental en todos los ámbitos de planeación del desarrollo urbano.
- Incluir el conocimiento local en el diseño y aplicación de las medidas de adaptación, así como el monitoreo comunitario de los procesos territoriales.
- Incorporar el enfoque de manejo de cuencas hidrográficas en las acciones de protección y aprovechamiento de servicios ambientales de áreas periurbanas y rurales.

En términos de líneas prioritarias de investigación para incluir el tema del cambio

climático en los Ordenamientos Ecológicos se recomiendan las siguientes:

- Gestión de riesgos hidrometeorológicos y manejo de recursos hídricos
- Elaboración de pronósticos climáticos estacionales y desarrollo de escenarios regionales y locales
- Evaluación de efectos del cambio climático en las distintas fases del ciclo hidrológico.
- Sistematización de información sobre afectaciones en los ecosistemas y sus componentes.
- Restauración ecológica en diferentes sistemas.
- Valoración económica de los servicios ambientales relacionados con la pre-

vención de inundaciones y la mitigación de impactos en la zona costera y en las grandes urbes.

- Afectaciones por zona agroclimática bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Cartografía de riesgos y vulnerabilidad costero-marina frente al ascenso del nivel medio del mar.
- Identificación de reservas territoriales para el crecimiento urbano.
- Evaluación del potencial de desarrollo de localidades pequeñas bajo criterios

de sustentabilidad, autosuficiencia, co-generación, cooperación en redes y otras opciones que aumenten la capacidad adaptativa de distintos grupos sociales.

- Potencial para el aprovechamiento de energías renovables en distintos escenarios climáticos.
- Medidas de adaptación implementadas a partir del conocimiento local y experiencias de monitoreo comunitario.

UN MÉTODO PARA EVALUAR EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL EN LA DISTRIBUCIÓN Y RIQUEZA DE ESPECIES A TRAVÉS DEL MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS

La Biodiversidad se define de la manera más simple como la variedad de la vida a todos sus niveles de organización. A nivel de población biológica, la variación genética entre individuos y entre linajes, constituye en la biodiversidad, la firma de la historia evolutiva y ecológica siendo la base para la evolución adaptativa futura. Es al nivel de “especie” que el término “Biodiversidad” es más a menudo aplicado por ecólogos y biólogos de la conservación, aunque existen mayores niveles jerárquicos para su clasificación (género, familia, orden, etc.) (Colwell, 2009).

Se considera que las especies con escasa variación genética son más vulnerables a extinguirse debido a los efectos de cambios drásticos en su ambiente, ya sean naturales o antropogénicos (Colwell, 2009). Esto ocurre generalmente cuando una especie ha de-

caído seriamente en su tamaño poblacional como un resultado de perturbaciones sistemáticas (Frankham *et al.*, 2002). Un ejemplo de una perturbación sistemática en los ecosistemas es el cambio climático global, lo que se ha considerado como la mayor causa de extinciones en un futuro próximo (Thomas *et al.*, 2004).

Uno de los efectos inmediatos del Cambio Climático sobre la biodiversidad es el cambio en los rangos geográficos de la distribución de especies, debidos a modificaciones en los patrones normales de la temperatura y humedad ya que estas variables limitan los márgenes de la distribución. Un incremento en 1° C de temperatura mueve regiones ecológicas en la Tierra hasta por unos 160 km o 160 m en altitud (Thuiller, 2007). Como una consecuencia de esto, se ha previsto para

México cambios importantes en la composición faunística del país para los próximos 50 años, un recambio de especies que sugiere grandes perturbaciones ecológicas en las comunidades en más del 70% del territorio nacional (Peterson *et al.*, 2002).

La biodiversidad (el número, abundancia, composición, distribución espacial y las interacciones entre genotipos, poblaciones, especies y tipos funcionales) en un ecosistema dado, contribuyen al bienestar humano de un modo directo regulando y modulando las propiedades de los ecosistemas que generan los servicios ambientales (ICSU-UNESCO-UNU, 2008). El significado funcional de la biodiversidad en el contexto de su relación con los servicios ambientales, implica que la estructura de la comunidad puede afectar fuertemente el funcionamiento de los ecosistemas (y consecuentemente la calidad de los servicios ambientales generados). En particular, un gran cuerpo de evidencias han demostrado que la pérdida de especies depredadoras puede desencadenar un efecto en cascada que puede impactar seriamente la cadena alimenticia hasta las plantas, alterando seriamente servicios ambientales fundamentales (*e.g.* Captación de agua, retención del suelo, secuestro de bióxido de carbono, etc.) (Balvanera *et al.*, 2006) (Duffy *et al.*, 2007).

Aunque la biodiversidad se puede considerar como un término abstracto, en realidad está contextualizado en un espacio y tiempo particular, por lo tanto, los esfuerzos para medirla o conservarla no pueden estar desligados del espacio geográfico que la contiene (Sarkar y Margules, 2002). De hecho, estos esfuerzos deben ser realizados oportunamente en relación con los patro-

nes de cambio de uso de suelo que ocurren localmente ya que se ha demostrado que la eficiencia de los programas de conservación decrece considerablemente con el tiempo (Fuller *et al.*, 2007). La manera más simple para describir la biodiversidad en una comunidad o región es la estimación de la riqueza de especies (Gotelli y Colwell, 2001). El número de especies en un ensamblaje local es un índice natural e intuitivo de la estructura de la comunidad y los patrones de riqueza de especies han sido medidos tanto a escalas pequeñas (diversidad beta) como grandes (diversidad gama) (Gotelli y Colwell, 2010). Sin embargo, una simple evaluación de la riqueza de especies y sus cambios a través del tiempo ignorando las interacciones entre ellas implicaría asumir que sus respuestas ante el cambio climático son individualistas, no obstante, las interacciones estructuran las comunidades, incluso a escalas espaciales gruesas (Araújo *et al.*, 2011).

En este contexto, en este apartado desarrollamos un marco metodológico para inferir el efecto que el Cambio Climático global puede tener en varios aspectos de la biodiversidad, incluyendo de los reservorios y vectores, y entonces de patógenos, particularmente en la riqueza de especies y en la descomposición del ensamble de comunidades. El enfoque que se plantea en este capítulo se basa en argumentos de modelación y no en el uso directo de los datos. Esto es debido a la enorme heterogeneidad [*e.g.* Muchas zonas tienen inventarios biológicos deficientes, por sesgos de muestreo o por modificaciones previas, mientras que muy pocas regiones cuentan con inventarios razonables, (Stephens *et al.*, 2009)] que existe en la información disponible para plantear

un monitoreo a diferentes escalas y regiones geográficas, hace muy difícil una estimación comparable entre periodos de tiempo diferentes (*e.g.* para escenarios de Cambio Climático global) o regiones diferentes (*e.g.* para comparar la vulnerabilidad de una especie frente al cambio global en distintas regiones). El método propuesto se basa en la gran cantidad de información disponible libremente de internet que ha sido compilada en cientos de años de investigación biológica

y preservada en museos de historia natural y colecciones biológicas en todo el mundo (Soberón y Peterson, 2004). Así, mediante el uso de diferentes algoritmos es posible crear mapas de las distribuciones con los cuales generar descripciones razonables de la riqueza biológica de un área y sus cambios potenciales en el contexto de la variación de sus condiciones determinantes (Thuiller, 2007).

INVENTARIOS VIRTUALES DE LA RIQUEZA BIOLÓGICA

La identificación de sitios de importancia para la conservación de la biodiversidad del país es una herramienta básica para facilitar la selección, armonización y creación de sinergias entre los diversos instrumentos complementarios requeridos para lograr conservar y usar de manera sustentable nuestro patrimonio natural (Koleff *et al.*, 2009). La información primaria requerida para el monitoreo, conservación y manejo responsable de los recursos naturales proviene de los inventarios biológicos (Soberón y Peterson, 2004). Debido a que los propósitos que motivan la realización de inventarios biológicos son muy diversos, tanto la elección de sitios de muestreo, la periodicidad con la que se monitorean o los grupos taxonómicos que se estudian, están sesgados desde su origen (Rondinini *et al.*, 2006). Como un resultado de esto, en México hay pocas regiones intensamente muestreadas y con inventarios biológicos relativamente completos, mientras que una vasta región del país permanece con un conocimiento precario de su riqueza

biológica (Koleff *et al.*, 2009). A pesar de esto, en los últimos años se ha puesto a disposición de los usuarios de internet, un enorme acervo de información biológica a través de distintos portales de Biodiversidad como GBIF (Global Biodiversity Information Facility) que vincula datos de ubicación de las colectas de más de 200 instituciones académicas como museos naturales y colecciones biológicas (Yesson *et al.*, 2007). El desarrollo reciente de distintas técnicas informáticas que implementan algoritmos estadísticos con los cuales se pueden generar mapas de distribución de especies de gran resolución espacial, se ha convertido en una excelente alternativa para resolver el problema de la falta de información local mientras se aprovecha el enorme conocimiento regional compilado en diversas instituciones alrededor del mundo (Jetz *et al.*, 2011).

Como un ejemplo de lo planteado anteriormente, supóngase que se requiere estimar la diversidad de vertebrados en una región del estado de Michoacán para hacer un

planteamiento sobre los problemas de conservación futuros (figura 43). En el primer panel superior de la figura (figura 43a) se indica con un círculo y una estrella la región que se quiere investigar y se muestran con puntos de colores (verde: aves, rojo: anfibios, azul: mamíferos y morado: reptiles) las colectas realizadas históricamente alrededor de la zona de estudio (figuras 43b, 43c, 43d

y 43e). Como se puede observar prácticamente no hay registros de la diversidad de vertebrados en la región y se requeriría de un enorme esfuerzo de muestreos para tener un conocimiento incipiente de la biodiversidad local. Una alternativa para resolver este problema es utilizar el conocimiento de la riqueza de especies en una región ecológicamente equivalente como los bosques de

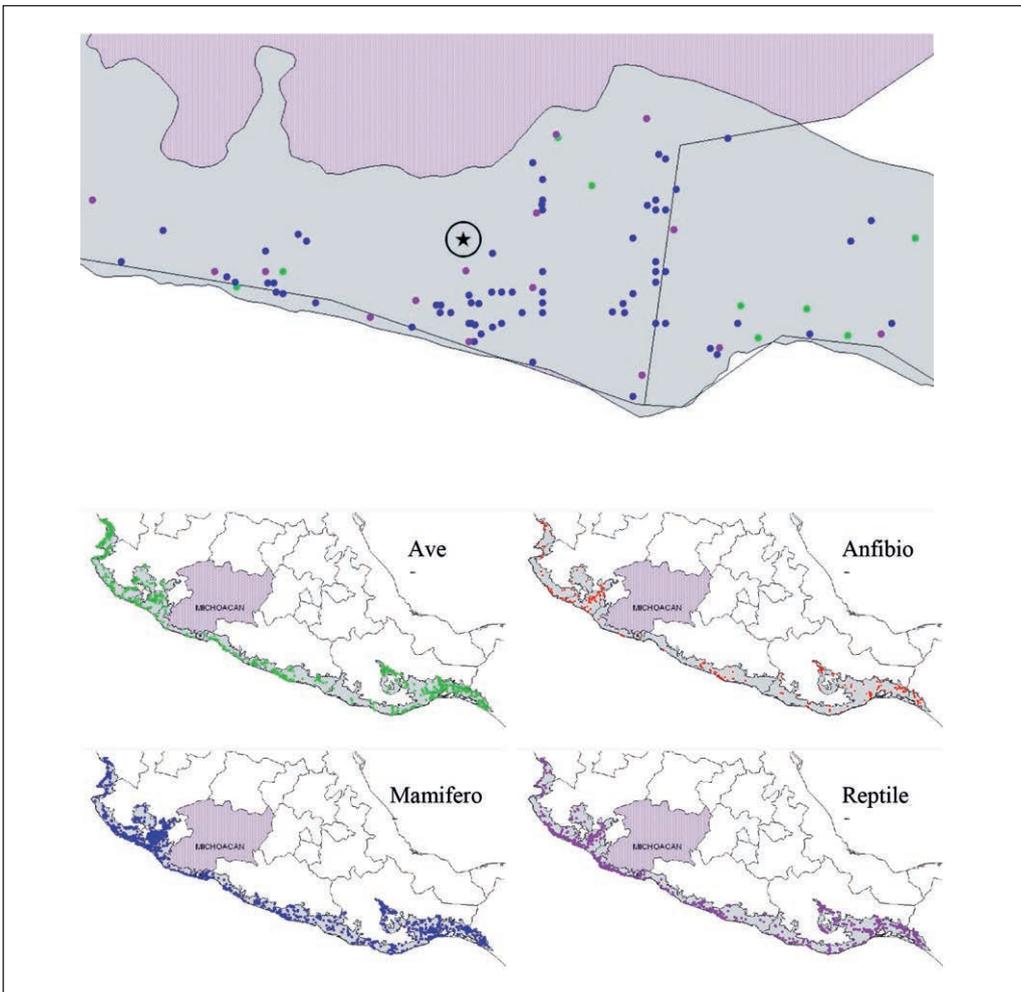


Figura 43. Diversidad de vertebrados en el estado de Michoacán de Ocampo, México. 43a, sitio de investigación. 43b, sitios de colecta de aves. 43c, sitios de colecta de anfibios. 43d, sitios de colecta de mamíferos. 43e, sitios de colecta de reptiles.

Fuente: Elaboración propia con datos del GBIF.

selvas caducifolias tropicales de la costa (la región sombreada en la figura 43). Al representar espacialmente estas regiones salta a la vista que el ejercicio planteado podría valer-se de cientos de registros de aves, anfibios, mamíferos y reptiles con los cuales se puede evaluar las condiciones ecológicas de la zona de interés, esto a partir de unos pocos días de trabajo de escritorio descargando las bases de datos desde el portal de GBIF (www.gbif.org) y depurándolas desde el portal de la CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/catalogo_autoridades/doctos/acerca.html).

Se obtuvo un listado de 611 especies para los 4 grupos de vertebrados. Naturalmente, no significa que el listado obtenido para estas la región de las selvas cálido-secas (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), represente íntegramente a la fauna de

la zona de interés. Para esto, tendríamos que depurar ese listado utilizando algún tipo de criterio ecológico. En las últimas dos décadas, el modelado de nichos ecológicos se ha consolidado (o modelado de la distribución de especies) como una herramienta para la descripción, análisis y visualización, de la relación estadística entre las especies y su ambiente, una relación que generalmente determina la ubicación geográfica de los límites en la distribución de las especies (Elith y Leathwick, 2009), lo que ha demostrado ser muy útil cuando contamos con inventarios biológicos incompletos (Rojas-Soto *et al.*, 2003). Mediante este enfoque, podemos generar distribuciones para cada especie y examinar cuales de las 611 especies tienen nichos ecológicos que confluyen en la región de interés (la estrella en la figura 43).

EL NICHOS ECOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

El nicho ecológico está definido en términos de la combinación de requerimientos ambientales que le permiten a una población sobrevivir y crecer en un espacio dado y en términos del impacto que esa especie tendrá en la comunidad en la que vive (Chase y Leibold, 2003). Esto ha generado muchas confusiones conceptuales históricamente, ya que la primera parte de la definición tiene que ver con las respuestas poblacionales de una especie frente a la heterogeneidad ambiental, mientras que la segunda tiene que ver con los efectos de la población en su ambiente (Peterson *et al.*, 2011). En este

apartado nos enfocamos a la primera parte de la definición, lo que se conoce como el análisis de los nichos “Grinnellianos” de una especie, ya que fue Joseph Grinnell en 1917 quien inició formalmente la aplicación de este concepto como para explicar los márgenes de la distribución geográfica de una especie (Soberón y Nakamura 2009).

Brevemente, el modelo básico de crecimiento poblacional asume que $N_{t+1} = \lambda N_t$, siendo λ la tasa de incremento finito por generación. Bajo esta premisa, el nicho ecológico se define como el conjunto de condiciones y recursos para los cuales $\lambda > 1$. En

este sentido, un hábitat dado esta dentro del nicho de una especie cuando en él, $\lambda > 1$ y fuera del nicho si λ toma valores < 1 (Holt y Gomulkiewicz, 2004).

Hutchinson describió al nicho Grinnelliano como a un espacio dimensional de tamaño n , en el que el valor de n podía ser muy grande, a lo que llamo el hiper volumen. La temperatura, por ejemplo, como condición ecológica comprende a numerosas variables. Su expresión mas simple “Temperatura media anual” explica muchos patrones bióticos a escalas globales y regionales (Rohde, 1992). La estacionalidad y la temperatura media mensual proveen un poder explicatorio adicional en ecología y biogeografía, ya que estas determinan los umbrales máximos y mínimos en los cuales una población puede sobrevivir o reproducirse (Jackson *et al.*, 2009), Estas y otras variables de esta naturaleza (precipitación media anual, humedad relativa, etc.), son ampliamente usadas en el modelado de distribución de especies y funcionan favorablemente como predictores de la distribución contemporánea y los patrones de abundancia poblacional (Van Der Wal *et al.*, 2009).

Recientemente, se han desarrollado metodologías para modelar el nicho ecológico de especies basados en el concepto de nicho de Grinnell (1917), es decir, basados en el análisis del conjunto de condiciones ambientales en las cuales una especie puede mantener poblaciones sin subsidio de inmigración (Soberón, 2010). Para este efecto, se obtienen datos primarios de museos, colectas

de campo o de la literatura y es preciso que estén correctamente georreferenciados. Las condiciones ambientales son típicamente derivadas de cartografía digital basadas sobre datos de sensores remotos y datos climáticos. De este modo, los modelos de nicho generados pueden identificar áreas con una alta probabilidad de ocupación para cada especie (Peterson *et al.*, 2011). Este método es particularmente útil cuando la fuente de los datos para describir los patrones de distribución de las especies proviene de inventarios parciales, debido a que normalmente las bases de datos compilados de esta forma sufren de sesgos de colecta o tienen pocos registros.

Si el análisis de patrones de riqueza se genera con la información primaria, los resultados tendrán el mismo error de origen afectando considerablemente la interpretación de los resultados, situación que es notoriamente minimizado cuando se usan modelos de nicho para aproximar a la distribución de especies (Rojas-Soto *et al.*, 2003; Lira-Noriega *et al.*, 2007). Adicionalmente, el modelo de nicho ecológico ofrece otras ventajas de considerable utilidad, ya que debido a su naturaleza predictiva, se pueden reconocer cambios probables en la distribución de las especies por cambios climáticos (Pearson y Dawson, 2003) o cambios en la cobertura vegetal como resultado de la deforestación (Sanchez-Cordero *et al.*, 2005) o distribución potencial de especies de naturaleza invasora (Peterson, 2003; Broennimann *et al.*, 2007).

MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS

Los modelos de nicho ecológico estarán basados en un conjunto de datos ambientales descargados del proyecto de WorldClim (www.worldclim.org) en el cual se encuentran disponibles para libre descarga 19 capas ambientales que reflejan las características del clima a una resolución de 0.01°. La información biológica primaria son los puntos de ocurrencia, los cuales estarán georeferenciados a 0.01° de latitud y longitud. Los modelos de nicho ecológico serán obtenidos a través del uso de un algoritmo genético (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction; GARP), un programa computacional evolutivo que se encuentra disponible para uso público gratuito (<http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/>). En general, el procedimiento se enfoca en la producción de modelos de nicho ecológico grinnelliano. Específicamente, GARP relaciona las características ecológicas en los puntos de ocurrencia conocidos y los compara con puntos aleatoriamente muestreados dentro del área de estudio, con el objetivo de construir una serie de reglas de decisión que describen aquellos factores asociados con la presencia de la especie.

Con este fin, los puntos de ocurrencia de la especie son divididos aleatoriamente en dos grupos: uno para producir los modelos (entrenamiento) y otro para probar la efectividad del modelo (prueba). GARP trabaja en un proceso iterativo de selección, evaluación, prueba, e incorporación o rechazo de reglas creadas con base en los puntos de entrenamiento y en un conjunto básico de tipos de reglas (*e.g.* Regresión logística, reglas bioclimáticas); estas reglas son modifi-

cadas simulando la evolución genética (por ejemplo, entrecruzamientos, mutaciones y delecciones), evaluadas y rechazadas o incorporadas en el modelo final bajo el mismo mecanismo utilizado para evaluar las reglas originales. La precisión de los modelos es evaluada con base en 1 250 puntos seleccionados aleatoriamente del conjunto de datos de entrenamiento y 1 250 puntos aleatoriamente muestreados dentro del área de estudio. Este proceso de evolución, evaluación selección e inclusión de reglas al modelo es repetido hasta que la inclusión de nuevas reglas no mejora la capacidad predictiva del modelo o hasta que se alcanza un número máximo de iteraciones.

Para tomar ventaja de la naturaleza del procedimiento algorítmico de GARP, se corren 100 modelos replicados para cada taxa. Se utilizarán los procedimientos descritos en la literatura (Anderson *et al.*, 2003) para elegir un conjunto de los mejores modelos de estos 100 mencionados previamente, según balances óptimos de errores estadísticos. El procedimiento esta basado en la observación de que (1) los modelos varían en calidad, (2) la variación en calidad entre modelos esta dada por una relación inversa entre errores de omisión (dejar fuera de las áreas de predicción a puntos de ocurrencia verdaderos) y errores de comisión (incluir entre las áreas de predicción, sitios en los que la especie no está presente), y (3), los mejores modelos están concentrados en una región de mínimo error de omisión de puntos de prueba independientes y de moderada área predicha (un eje relacionado directamente con el error de

comisión). Para elegir los mejores modelos se (1) eliminan todos los modelos que tengan un error de omisión >5% basados en los puntos de prueba independientes intrínsecos, (2) se calcula la mediana del área predicha presente entre el grupo de modelos con <5% error de omisión, (3) se identifican los

10 modelos mas cercanos a la mediana del área predicha, y (4) se suman los 10 mejores modelos en un software de Sistemas de Información Geográfica (ArcView 3.2), para representar la coincidencia en predicción entre los modelos replicados.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Para conocer el rol que el cambio climático puede tener en la distribución futura de las especies, se utilizaran las mismas variables usadas en la modelación de los nichos actuales (sección anterior), pero en este caso, los nichos son proyectados a un espacio climático futuro. Los datos climáticos son descargados en la misma resolución espacial que las 19 variables de Worldclim. Los parámetros ambientales futuros se derivan de la segunda generación de modelos de clima global acoplados (CGCM2) del Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (cccma) bajo los escenarios del IPCC3 "A2" y "B2".

En general, se recomienda utilizar tanto modelos liberales como el "A2a" y un modelo conservador como el "B2a". El modelo liberal está asociado con altas tasas de crecimiento poblacional humano, altos niveles de cambio de uso de suelo y uso de energía, así como un lento desarrollo tecnológico. Por otro lado, en el modelo conservador se simula una tasa de crecimiento poblacional humano lento, bajas tasas de cambio de uso de suelo así como innovaciones tecnológicas para el uso de energías alternativas (Barker, 2007).

ESTUDIO DE CASO. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA

En este capítulo se incluyen una serie de ejemplos específicos realizados por distintas instituciones y profesionales que permiten mostrar de manera explícita los resultados y propuestas metodológicas que se revisaron en los capítulos anteriores de esta guía.

PRIMERAS CONSIDERACIONES GENERALES

La sola inclusión, integración y consideración de los peligros naturales en el OET implica y se traduce necesariamente en restricciones de uso del suelo (que pueden entenderse como normas) para prevenir o disminuir sus impactos. Las principales restricciones que el OET como instrumento debe y puede imponer en el uso del territorio como consecuencia de la presencia de los peligros naturales podrían visualizarse de la siguiente manera:

- Las restricciones se prefiguran en la etapa del diagnóstico (corto plazo) y su expresión territorial de largo plazo en el pronóstico una vez que se modela en el contexto del Cambio Climático. Las implicaciones normativas deben ser explícitas en las políticas y en las UGA (los lineamientos, estrategias, criterios y acciones) tanto en el corto como en el largo plazo.
- Las políticas del OET adquieren nuevas posibilidades (o matices) a manera de adiciones, adjetivos y definiciones que deben ser desarrollados y discutidos por los promotores del OET, para permitir ajustarlos y adaptarlos dentro del proceso de participación social.

- Con la dimensión del riesgo en el proceso del OET es posible visualizar la forma en que podrían expresarse las intervenciones con instrumentos de política pública y por tanto es posible también traducir las implicaciones institucionales. Ciertos procesos se concentran o recaen sectorialmente para ser resueltos diferencialmente en espacios urbanos o rurales, con instrumentos de política pública distintos (de prevención, fomento, desarrollo e incluso atención a desastres naturales).
- La inclusión de la dimensión del riesgo en las políticas del OET puede ser visto también como un elemento nuevo y clave (incluso como criterios) para poder priorizar las acciones de intervención en los sistemas sociales y ecológicos.
- Los POET, en el contexto de Cambio Climático, una vez que articula la dimensión del riesgo como parte de su diagnóstico y pronóstico, deben ser considerado como una medida de adaptación apropiada para disminuir los impactos negativos del Cambio Climático.

METODOLOGÍA PASO A PASO DE INCORPORACIÓN DE LOS RIESGOS EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

Conforme a lo expuesto en el capítulo 2 y el desarrollo explicado en el capítulo 4, en la tabla 2 (p. 36, Propuesta metodológica de integración del análisis de riesgo en el OET) se expone la síntesis de la propuesta paso a paso de las recomendaciones que se proponen.

Si bien en los ejemplos que a continuación se presentan no se incluyen los escenarios del aumento del nivel del mar, ni otras consecuencias asociadas a los impactos del cambio climático, en el apartado respectivo del capítulo 4 se ha abordado la manera en que se podría realizar.

En la tabla 19 se integra la propuesta temática para la incorporación de la dimensión del riesgo en los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Se trata de la caracterización más general de la propuesta para cada política del OET. Como se mencionó en cada uno de los apartados de

la guía hay consideraciones de escala que deben resolverse y que deben ser representados e incluidos en las distintas fases o etapas del OET. En este caso lo más importante estriba en las consideraciones que se deben tener para integrar la dimensión del peligro natural en el OET, y la forma que toman como limitantes o restricciones de uso de suelo.

En la tabla 17 (p. 124, Delimitación de áreas sujetas a riesgos naturales o antrópicos en la etapa de diagnóstico del OET) se sintetiza lo que podría considerarse el modelo “ex post”, dada como una sobreposición de condiciones de peligro con las políticas del OET. Conforme a lo que se propone en esta guía, el resultado de la inclusión “ex ante” se puede lograr en el momento que se realiza la valoración de aptitud y dentro de los conflictos (compatibilidad de usos) al ser considerado como un sector (ver la propuesta metodológica del reciente Ordenamiento

Tabla 19. Caracterización general de la propuesta de incorporación de la dimensión del riesgo en los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio por política de Ordenamiento Ecológico.

Política del OET	Propuestas para integrar la dimensión de los peligros naturales
<p>Aprovechamiento Sustentable¹: áreas que por sus características, son apropiadas para el uso y el manejo de los recursos naturales, en forma tal que resulte eficiente, socialmente útil y no impacte negativamente sobre el ambiente. Incluye las áreas con usos de suelo actual o potencial, siempre que estas no sean contrarias o incompatibles con la aptitud del territorio. Se tiene que especificar el tipo e intensidad del aprovechamiento, ya que de ello dependen las necesidades de infraestructura, servicios y áreas de crecimiento.</p> <p>Aprovechamiento². Recomienda el uso racional y sustentable de los recursos naturales.</p>	<p>El análisis de aptitud debe incluir y ponderar las condiciones de peligro para que las UGA contemplen futuras condiciones de infraestructura o de los asentamientos.</p> <p>En el pronóstico sobre los escenarios tendenciales, el modelo debe incluir las condiciones que se esperan bajo los escenarios del cambio climático: ante los aumentos de temperatura, eventos extremos hidrometeorológicos, aumentos del nivel del mar, etc. Se deben proponer restricciones de uso o zonas de amortiguamiento para que los ecosistemas puedan migrar, que las actividades productivas puedan modificarse sin afectar negativamente o acelerar procesos de deterioro. Los mapas resultantes de incluir la elevación del nivel del mar, contienen polígonos nuevos de peligros futuros, además de la infraestructura, los ecosistemas (polígonos a restaurar, proteger o conservar) deberán contemplar áreas de amortiguamiento para garantizar la movilidad en el futuro (corredores biológicos, zonas salobres, nuevas playas, etc).</p>
<p>Protección: áreas naturales susceptibles de integrarse al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) o a los sistemas equivalentes en el ámbito estatal y municipal. En estas áreas se busca el mantenimiento de los ambientes naturales con características relevantes, con el fin de asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos. La política de preservación de áreas naturales implica un uso con fines recreativos, científicos o ecológicos. Quedan prohibidas actividades productivas o asentamientos humanos no controlados. Protección. Preserva los procesos naturales presentes, esto es, respetar los hábitats de las diferentes especies vegetales y animales, sobre todo las que se encuentran amenazadas, en peligro de extinción o las endémicas; para garantizar su permanencia a largo plazo.</p>	<p>Ante los peligros asociados a las variaciones del clima, eventos extremos y nuevas zonas de inundación, los procesos y balance ecológico se verán sometidos a nuevas condiciones de disturbio. Las áreas protegidas nuevas y bajo decreto deberán contemplar en sus planes de manejo estrategias para compensar nuevos rangos de lluvia y temperatura que pueden inhibir el equilibrio y distribución de las especies (reproducción y crecimiento) y de los ecosistemas. Todos tendrán que contemplar la inversión económica en estudios que modelen el efecto de estos cambios. La presión de las actividades económicas que las rodean seguramente aumentara para seguir las nuevas condiciones de la geografía del clima (obtener mejores condiciones de cultivo). Los procesos de gran escala como corredores biológicos se vuelven una necesidad impostergable para las áreas protegidas y solo los oet pueden garantizarlos. Las plagas forestales, y los incendios, o la migración de especies están en el centro de los efectos del Cambio Climático. Los modelos y escenarios de los estudios del cc en el país deben ser difundidos e integrados en los planes de manejo y en los OET</p>

Tabla 19 (Continuación). Caracterización general de la propuesta de incorporación de la dimensión del riesgo en los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio por política de Ordenamiento Ecológico.

Política del OET	Propuestas para integrar la dimensión de los peligros naturales
<p>Conservación: áreas o elementos naturales cuyos usos actuales o propuestos no interfieren con su función ecológica relevante y su inclusión en los sistemas de áreas naturales en el ámbito estatal y municipal es opcional. Esta política tiene como objetivo mantener la continuidad de las estructuras, los procesos y los servicios ambientales, relacionados con la protección de elementos ecológicos y de usos productivos estratégicos. Conservación. Orienta el desarrollo de las actividades productivas bajo esquemas que garanticen la permanencia de las especies así como de la biodiversidad dentro y fuera de sus hábitats.</p>	<p>Esta política es quizá la más importante de especificar y promover con acuerdos interinstitucionales e intersectoriales (SAGARPA, SEDESOL, SCT, etc.). Ante las variaciones del clima cualquier condición de peligro medio o bajo puede convertirse o saltar a una condición de mayor peligro. La posibilidad de coincidir múltiples peligros aumenta con la aparición de eventos extremos. Por ello es en estos polígonos donde el monitoreo se vuelve importante.</p>
<p>Restauración: áreas con procesos de deterioro ambiental acelerado, en las cuales es necesaria la realización de un conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. La restauración puede ser dirigida a la recuperación de tierras que dejan de ser productivas por su deterioro o al restablecimiento de su funcionalidad para un aprovechamiento sustentable futuro. Restauración. Orienta a restablecer las condiciones naturales en terrenos degradados</p>	<p>El OET requiere especificar mecanismos, programas y formas de inversión en estas áreas. La expansión del deterioro y la influencia que estas áreas tienen en la vulnerabilidad del territorio y de la sociedad aceleran los efectos de los procesos asociados al CC.</p>

Ecológico General del Territorio), mientras que en la tabla 18 (p. 127) se presentan algunos ejemplos de medidas asociadas a pe-

ligros naturales y su influencia en la Política de aprovechamiento.

INTEGRACIÓN DE PELIGROS NATURALES PARA UN OET REGIONAL.

CASO DEL INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA (INSP)⁵¹

Este ejemplo fue seleccionado por distintas razones, pero principalmente porque ilustra paso a paso los criterios y fuentes de información requeridos para representar y valorar los principales peligros naturales a nivel regional (Ramsey *et al.*, 2013). Por otro lado, el grupo de trabajo del INSP, es considerado el grupo mejor consolidado para el país, además de contar con la propuesta más representativa que se tiene de un esfuerzo institucional con vínculos internacionales como Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se cristalizan serias y sistemáticas acciones por integrar y medir la vulnerabilidad social y ambiental como parte de un sistema complejo.

En esta perspectiva, la dimensión de la salud humana ha tomado una relevancia particular sobre todo por las consideraciones que pueden derivar del proceso de calentamiento global, así como de las modificaciones del entorno (microclima y cambio de uso de suelo) que es el principal objetivo de los propios OET.

En base a lo plantado por WHO y CRISP (2007), el riesgo se considera como un producto entre los peligros y la vulnerabilidad sobre la capacidad de respuesta.

En la figura 44, se puede observar el proceso de análisis de riesgo en base al VRAM/OMS

para cuatro desastres naturales: inundación, deslizamiento, sísmico y calor extremo. La metodología detallada de la obtención de cada uno de los desastres naturales se puede consultar en Ramsey JM., JF. Pinto-Castillo, ZEA. El Morjani, S. Ebener, y R. Colombo-Llimona, 2013. E-atlas para los riesgos de desastres, aplicación a México. Metodología y procesos de implementación. Codice Roseta. Mexico, DF. ISBN: 978-607-00-6824-9. pp 151.

PELIGRO DE INUNDACIONES

A finales del siglo XX, han sido surgido numerosas investigaciones con la finalidad de encontrar una metodología óptima para la generación de modelos de peligro de inundaciones. Generalmente, estas se dividen en cuatro tipos: modelos hidrometeorológicos, hidráulicos, hidrológicos y estadísticos que brevemente describiremos a continuación. Los modelos hidrometeorológicos utilizan datos históricos de inundaciones para calcular la probabilidad y la extensión de eventos de inundaciones futuras a diferentes intervalos de tiempo.

El modelo hidráulico aunque presenta datos más acertados tiene una desventaja que requiere de datos robustos de entrada, este modelo está enfocado en la obtención

⁵¹ Ramsey, J., S. Ebener, R. Lozano, M. Casas, A. Orozco, J. Pinto. 2009. Atlas de peligros y vulnerabilidad social para desastres en la República Mexicana. Sistema de Información para la Prevención de Desastres Chiapas (<http://200.23.34.73/>). Seminario Gestión de Riesgos por Inundaciones a tres años del huracán STAN en Chiapas, 29-30 de Enero 2009. Tapachula, Chiapas. <http://200.23.34.73/ponencias/viernes/atlas.pdf>

La unidad VRAM/WHO : (Vulnerability and Risk Analysis & Mapping)

Proceso (Análisis de Riesgos):

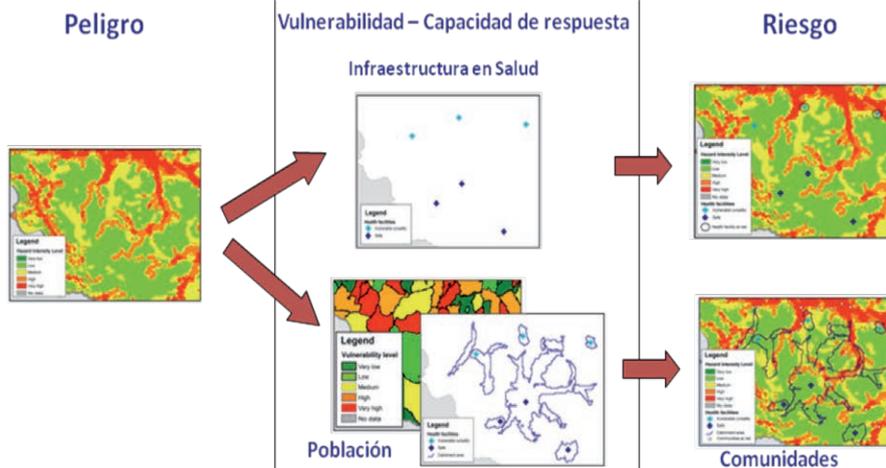


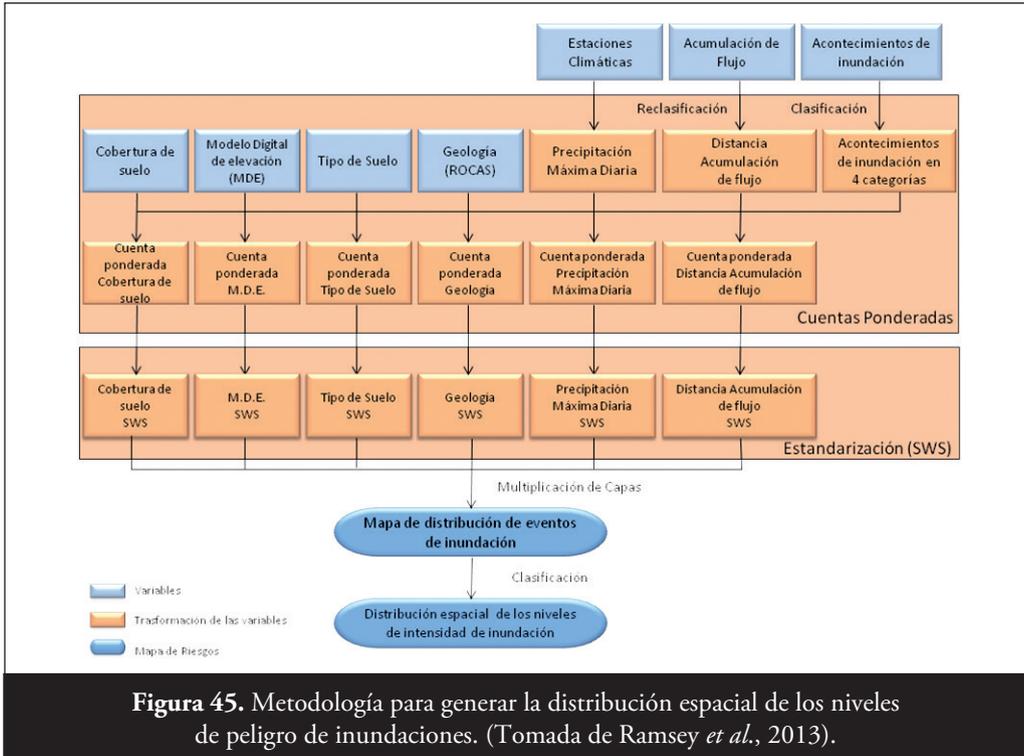
Figura 44. Esquema del procedimiento metodológico general utilizado en el caso del Instituto Nacional de Salud Pública.

de los valores de flujos de descarga de agua y la profundidad de las inundaciones exactas para calcular y estimar la duración y extensión de la inundación, los cambios en la profundidad y la velocidad del agua. El modelo hidrológico analiza el comportamiento de los flujos de las corrientes y de las inundaciones en una cuenta específica. Finalmente, el modelo estadístico combina la frecuencia histórica de las inundaciones y la distribución de los factores causales de las inundaciones a fin de predecir cuáles áreas tienen una mayor probabilidad de inundarse.

Debido a estas cuatro ventajas se eligió este modelo para la creación de un modelo para México: a) producir estimaciones realistas sin utilizar un modelo empírico; b) utilizar

distribuciones históricas de las inundaciones y datos de los factores causales; c) facilidad de acople con los SIG; y d) considerar tanto la susceptibilidad de cada área a las inundaciones, como los factores relacionados con la vulnerabilidad y la gestión de emergencias por inundaciones.

La implementación de este modelo requiere varias etapas que se encuentran en la figura 45: 1) identificación de los factores causales: cobertura del suelo, elevación, el tipo y estructura del suelo, litología, volumen y la distancia de la trayectoria de la acumulación de flujos y precipitación; 2) clasificación del mapa de la distribución del número de eventos de inundaciones pasadas. 3) estimación de la puntuación ponderada de cada uno de



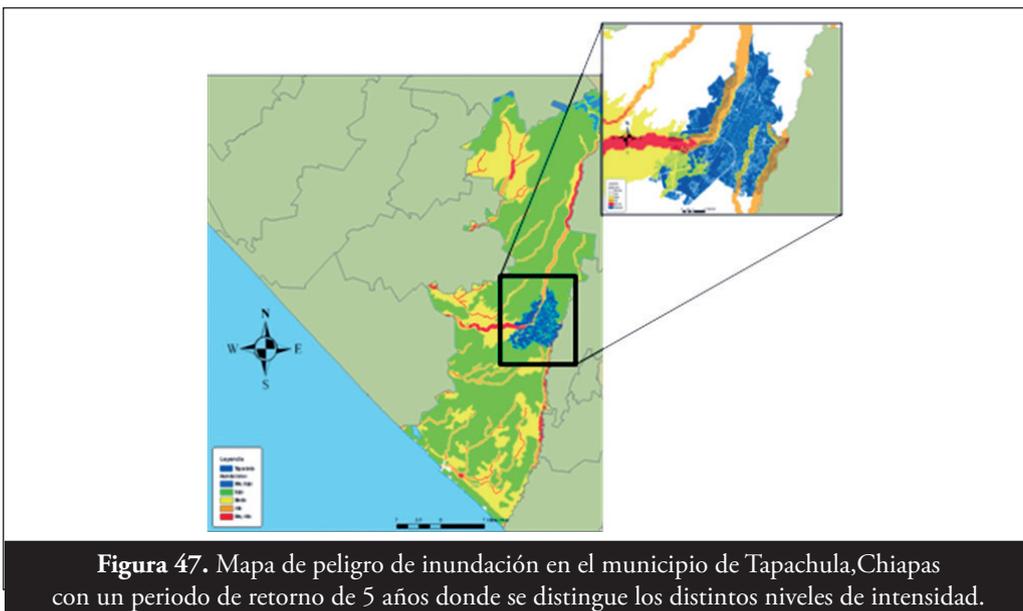
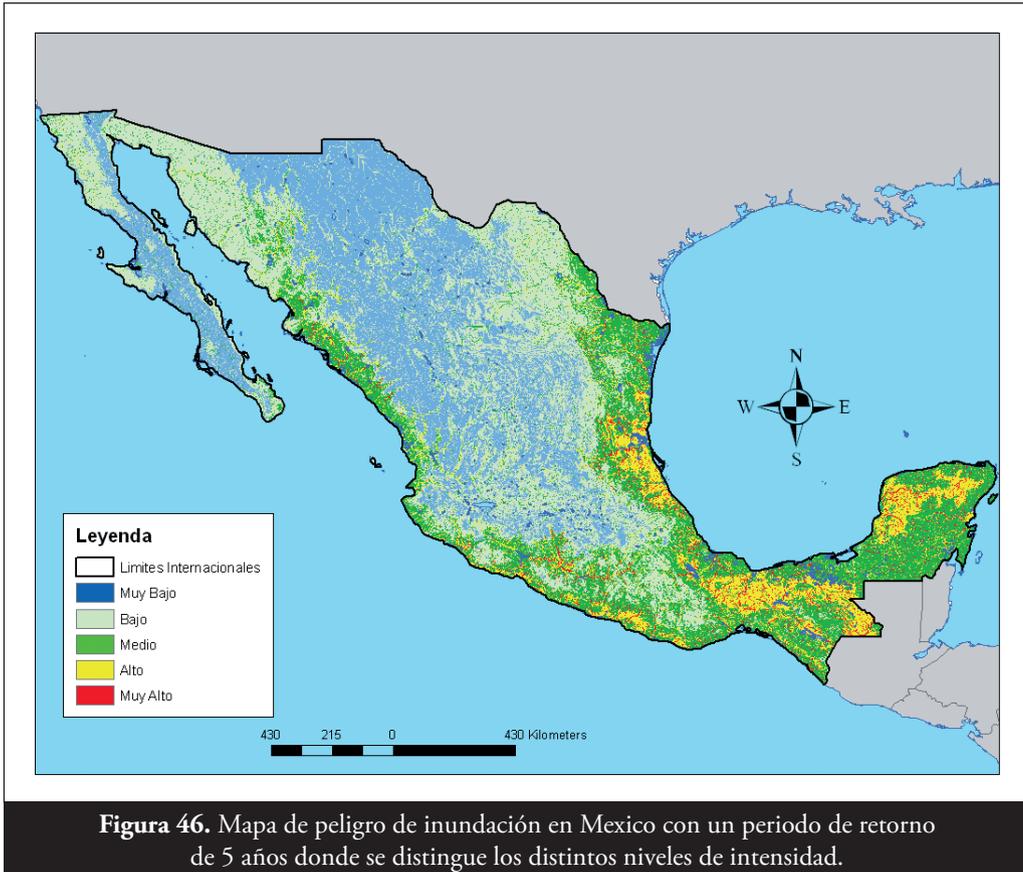
los factores causales, cruzando a esto con datos con la capa reclasificada de frecuencia de inundaciones; 4) estandarización de las puntuaciones ponderadas, agregación y clasificación del mapa resultante para obtener la distribución espacial del nivel de intensidad del peligro de inundaciones.

Finalmente, se obtuvo el mapa de inundación para México en base a cinco niveles de peligro: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (figura 46). Se puede observar que el nivel de peligro “alto y muy alto” se encuentran principalmente, en la costa del golfo de México, Chiapas, Oaxaca y la península de Yucatan. Cabe mencionar que este modelo tiene una precisión de 90m, por lo cual tiene una alta resolución como se puede observar en la figura 47, enfocado en el municipio de Tapachula, Chiapas.

PELIGRO DE DESLIZAMIENTO DE TIERRA

Este modelo utiliza una distribución del peligro de deslizamiento de tierra basado en un análisis de criterio múltiple derivado, que clasifica las áreas de acuerdo con la probabilidad de que ocurra un deslizamiento de tierra en su superficie. Esta metodología se encuentra agrupada dentro del mapeo cuantitativo (indirecto) y se eligió por presentar un enfoque compatible con los métodos geoespaciales computarizados y con las técnicas geo-computacionales; además de que los resultados se pueden evaluar y recrear con facilidad.

La implementación de este método tiene las siguientes etapas que se pueden observar en la figura 48: 1) identificación de los factores causales: pendiente, elevación



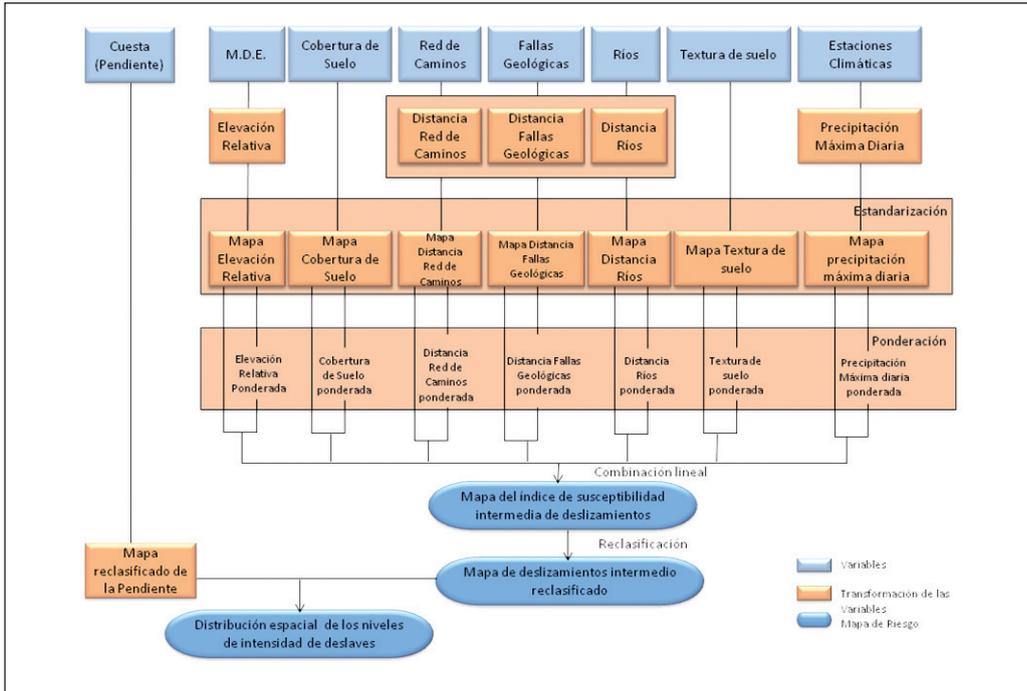


Figura 48. Metodología para generar la distribución espacial de los niveles de peligro de deslizamiento de tierra (Tomada de Ramsey *et al.*, 2013).

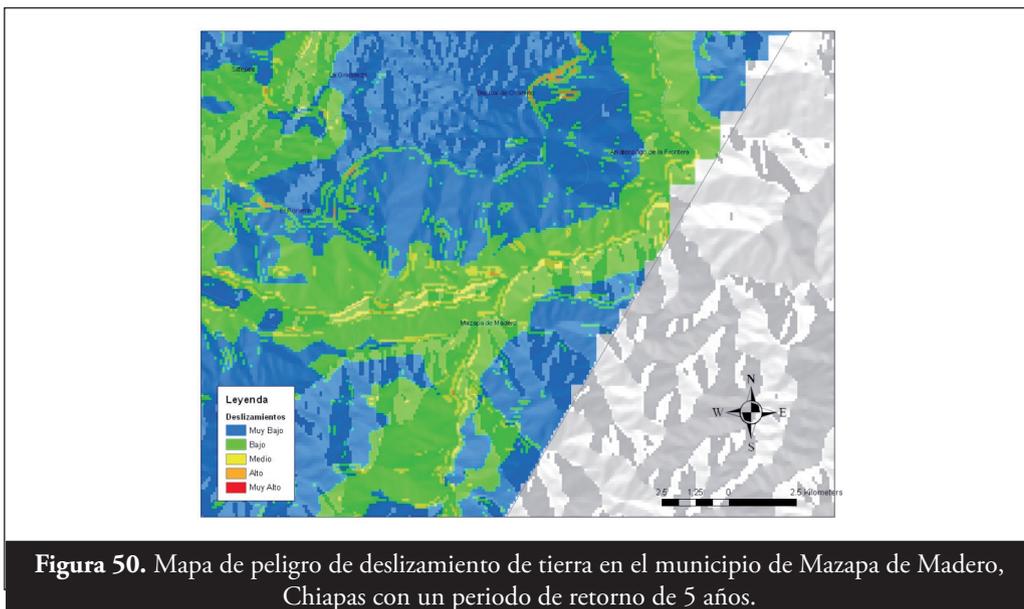
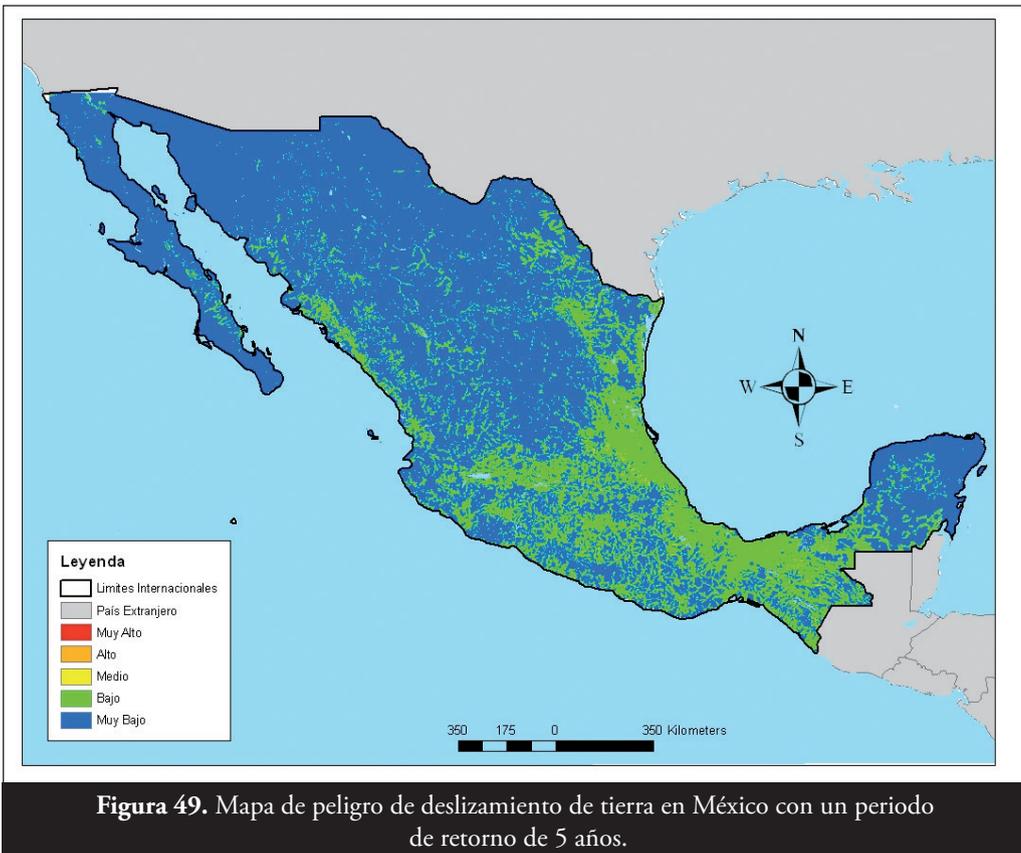
relativa, precipitación diaria máxima anual, cobertura del suelo, distancia de las carreteras, distancia de las fallas geológicas, textura del suelo y litología; 2) reclasificación del mapa de pendientes; 3) estandarización de la distribución de los factores causales de acuerdo con la escala continua; 4) establecimiento de las prioridades (ponderación) de los factores causales; 5) creación del mapa de distribución de la susceptibilidad intermedia de deslizamientos; 6) combinación del mapa de distribución de la susceptibilidad intermedia de deslizamientos con el mapa de reclasificación de pendientes y el mapa resultante del nivel de intensidad del peligro de deslizamiento de tierra.

Después de terminar todas las etapas, se obtuvo el mapa de deslizamiento de tierra para México en base a cinco niveles de peli-

gro: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (figura 49). Se puede observar que en el país hay principalmente dos niveles de peligro “muy bajo y bajo”. Cabe mencionar que este modelo tiene una precisión de 90 m, por lo cual tiene una alta resolución como se puede observar en la figura 50, enfocado en el municipio de Mazapa de Madero, Chiapas.

PELIGRO SÍSMICO

La metodología del peligro sísmico está enfocada en dos ejes: el eje determinista que no considera las condiciones locales (geología, o características geotécnicas (orientación de fallas), ni los parámetros de profundidad del hipocentro y la distancia al epicentro, lo que representa una importante limitación para su uso; y el eje probabilístico basado en parámetros de la aceleración de la



tierra máxima (PGA), proporcional a la fuerza horizontal y que constituye el parámetro de movimiento del suelo más comúnmente trazado. Una segunda ventaja que representan los modelos basados en PGA, es que el PGA se emplea como una referencia para la construcción de edificios que deberían poder resistir un terremoto.

La metodología utilizada para la distribución peligros sísmicos empleado en el E-Atlas procede de datos relativos a peligros sísmicos globales en el contexto del Global Seismic Hazard Assessment Project (GSHAP), para un tiempo de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, la resolución de alrededor de 12 kilómetros sobre el cual se han dispuestos otras dos capas: la Base de Datos de Terremotos Significativos y el conjunto de datos del World Stress Map. Posteriormente estos

valores fueron reclasificados en cinco niveles de intensidad que se puede observar en la figura 51; donde se pueden observar franjas de peligro principalmente en la costa del Pacífico.

PELIGRO DE CALOR EXTREMO

El modelo de peligro de calor extremo, esta diseñado en dos procedimientos continuos, primero en un análisis de frecuencia para estimar el índice diario máximo anual con diferentes periodos de retorno en estaciones climáticas y segundo en un modelo de regresión múltiple para producir una interpolación del índice de calor diario máximo anual antes de obtener la distribución espacial del nivel de la intensidad del peligro de calor en cinco categorías.

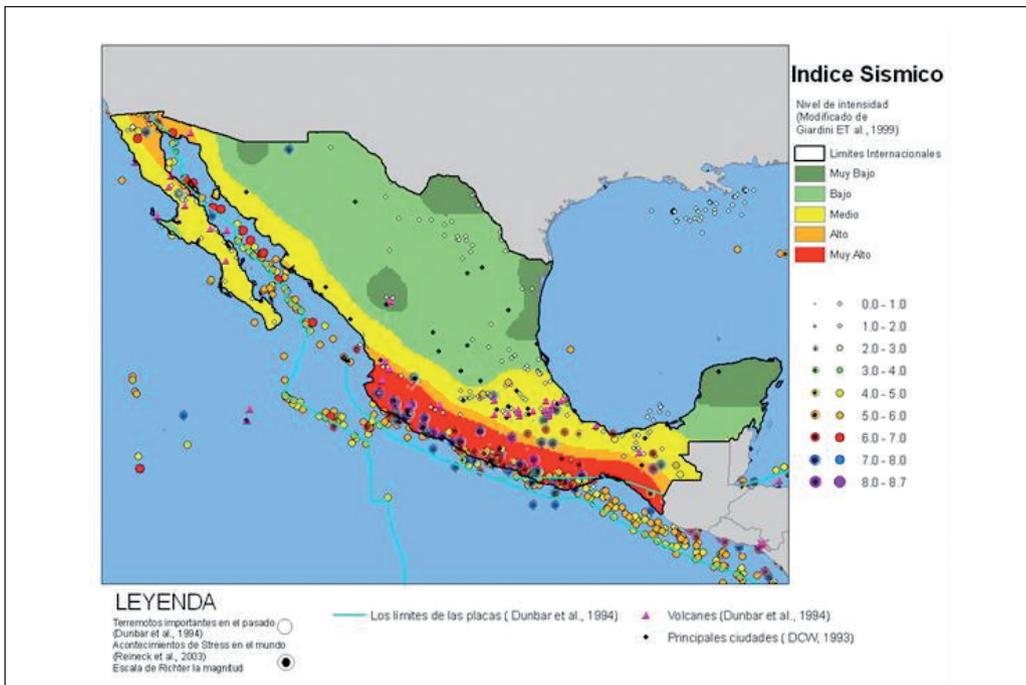


Figura 51. Mapa de distribución del peligro sísmico en la República Mexicana WHO/CRISP 2009.

La implementación de este método tiene las siguientes etapas que se pueden observar en la figura 52: 1) la extracción de los datos de temperatura y puntos de rocios; 2) el calculo del índice de calor diario utilizando la formula de Steadman para cada estación meteorológica; 3) el calculo del índice promedio del calor extremo máximo anual, y su frecuencia por año; 4) estimación del calor extremo anual con periodos de retorno de dos, cinco, ocho y diez años, teniendo el análisis de frecuencia de Gumbel; 5) la identificación de los parámetros relevantes y periodo de retorno, la selección del modelo de

regresión para espacializar el calor extremo anual empleando un análisis de regresión por pasos; 6) la interpolación del calor extremo anual para cada periodo de retorno;

7) la agregación y clasificación de los mapas resultantes, para obtener el mapa de distribución de calor extremo.

Finalmente, se obtuvo el mapa de calor extremo para el país en cinco niveles de peligro (figura 53). Este modelo tiene una precisión de 1 km². Se puede observar en la figura 53a, que la mayor parte de la costa del país presenta un nivel de peligro medio, en la parte norte un nivel de peligro bajo y en el

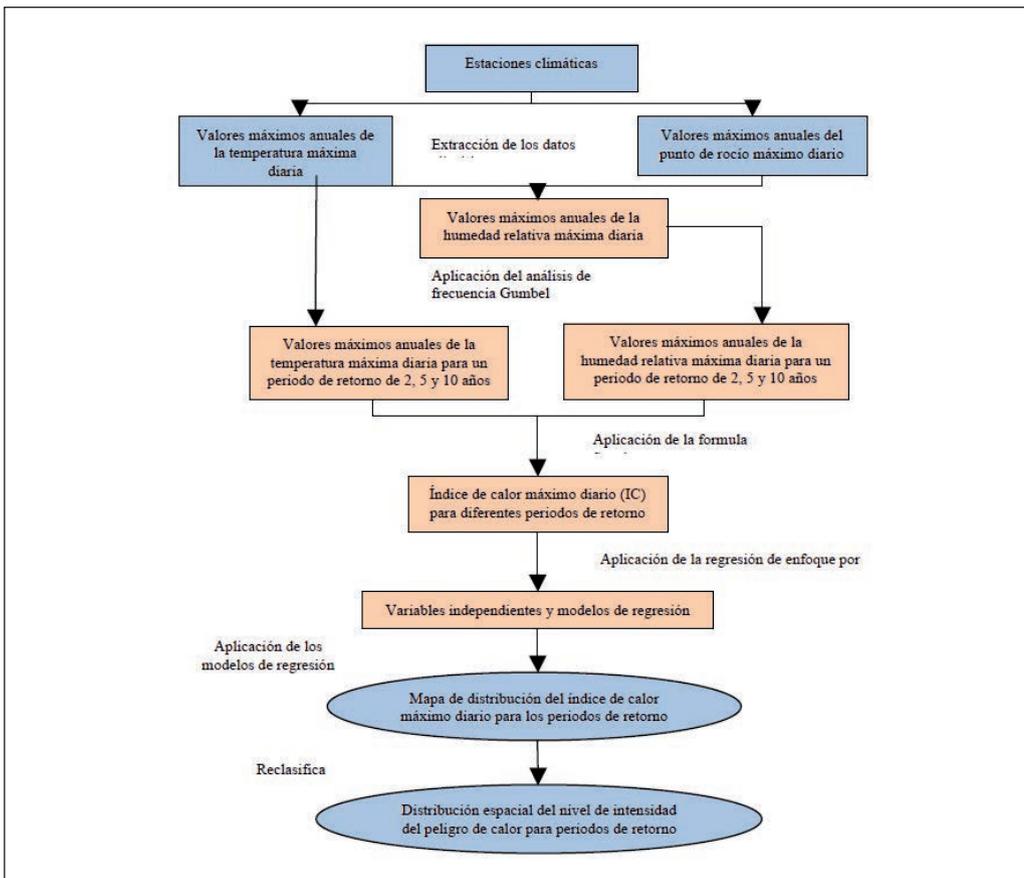


Figura 52. Metodología utilizada para obtener la distribución espacial del nivel de peligro de la intensidad de calor extremo (Tomada de Ramsey *et al.*, 2013).

centro del país un nivel de peligro muy bajo. Conforme van transcurriendo los periodos de retorno, se puede observar que el nivel de peligro medio se incrementa a un nivel de peligro alto (figura 53d).

VARIABLES CONSIDERADAS EN EL CALCULO DE VULNERABILIDAD

La cuantificación de un fenómeno tan complejo como la vulnerabilidad social depende en primer lugar sobre la conceptualización de la misma, de la ponderación de los componentes, y de la disponibilidad de información para todo el territorio y a escala de la unidad poblacional que se requiere analizar. Ya existen múltiples modelos para cuantificar la vulnerabilidad social a peligros natu-

rales, dentro o no de escenarios de Cambio Climático, y sin embargo, ninguno de ellos incorpora una perspectiva amplia de los componentes de vulnerabilidad “sanitaria”.

En el marco del modelo VRAM (Ramsey *et al.*, 2013), por primera vez permite incluir tanto variables de vulnerabilidad como de la capacidad de respuesta, indicadores que representan una vulnerabilidad o una infraestructura colectiva. La modificación de ese modelo, dado la excelente disponibilidad de información en salud en México (sis; <http://www.sis.salud.gob.mx/>), fue realizado a nivel nacional, y para los estados de Chiapas y Oaxaca, aunque solamente geográficamente de alta resolución por lo menos para la parte de la población de responsabilidad de la Se-

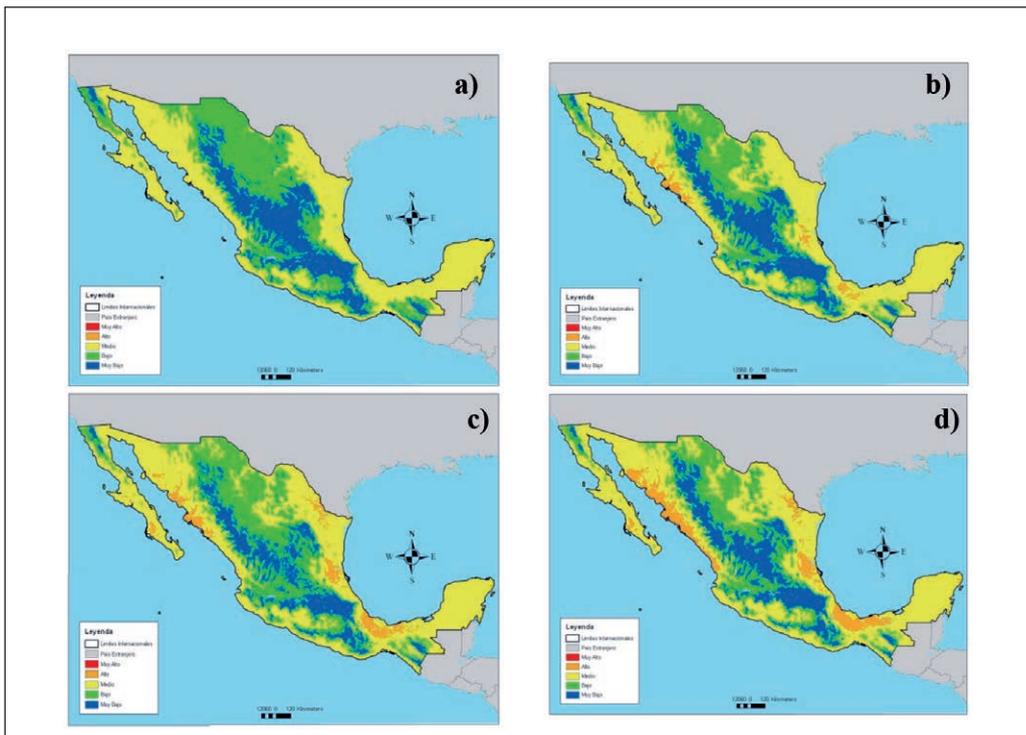


Figura 53. Distribución espacial de los niveles de intensidad del peligro de calor extremo para México correspondientes a los periodos de retorno de dos (a), cinco (b), ocho (c) y diez años (d).

cretaria de Salud de los estados. No se logró disponer de la información de las poblaciones derecho-habientes del IMSS

Dos modelos de vulnerabilidad han sido desarrollados, el primero con solo información de dominio público (57 variables en 4 subcomponentes, modelo 1) y el segundo, agregando 27 variables, mediante encuestas en comunidades y cabeceras municipales (modelo 2). Ambos modelos han sido validados en los estados de Chiapas y Oaxaca, para los estados completos a nivel municipal y comunitario. El modelo 2 fue validado en 33 municipios en Chiapas y en 17 municipios en Oaxaca, con representatividad de criterios básicos demográficos, geográficos, y de seguridad del >85% de los municipios de los Estados. Adicionalmente a las variables para medir vulnerabilidad, las encuestas en los municipios incluyeron información para realizar un análisis de gobernanza de riesgo.

El modelo 1 de vulnerabilidad tiene la ventaja de usar solamente información del dominio público. Además, este modelo es muy robusto en los variables sanitarios debido al impacto que estos tienen en la resiliencia social. La desventaja del modelo es la necesidad de aplicar indicadores a población, por falta de la disponibilidad y transparencia por las instituciones de salud, o civiles. Tal como fueron negados los datos del IMSS, también fue el caso de las autoridades de protección civil y de gobernación de negados estados, la información geo-referenciada de la infraestructura de capacidad de respuesta civil. Por ello, y para el modelo global, no se incluyó ninguna capacidad de respuesta civil.

Para la aplicación del modelo ampliado de vulnerabilidad (modelo 2), se logra regis-

trar in situ en municipios citando cabildos y agentes/ayudantes municipales para coleccionar la información necesaria sobre la infraestructura de protección civil existente, el cual demostró que no hubo cambio significativa en los valores e intensidad de vulnerabilidad sin/con esta información, probablemente debido a que esta infraestructura es todavía reducida, o ubicada en áreas donde no tendrá un efecto de mitigación sobre la intensidad de vulnerabilidad (solo en cabecera municipal). El modelo ampliado con información local, el cual mejora la calidad de datos agregando dimensiones no disponibles por otras fuentes masivas, permite un análisis sistémico de la gestión potencial de riesgo a nivel municipal y local. Esta capacidad es de suma importancia para la OET, debido a la necesidad de su integración y participación plena en la vigilancia y gestión local comunitario.

Los datos ampliados sobre vulnerabilidad son de carácter principalmente socioeconómico y de infraestructura de respuesta. La falta de disponibilidad a nivel estatal de esta información, hace necesario levantar la información de forma local. La ventaja para el índice de vulnerabilidad no es aparentemente cuantitativa, pero podría reflejar una mejoría de datos cualitativos. La mayoría de los municipios no cambiaron de valor de vulnerabilidad según el modelo calculado, mientras si se logró información que de forma longitudinal suplementaría cualquier futuro cambio en la disponibilidad de datos de nivel estatal, y sobre todo para la vigilancia de intervenciones para mitigar impactos negativos. La mayor ventaja del modelo ampliado fue el marco de su realización (el tener la oportunidad de informar a todas los

actores locales, y no solo de la cabecera municipal de la necesidad de una cultura de evaluación permanente de vulnerabilidad), y el registro de información clave para analizar los mecanismos potenciales para la gestión de un programa de prevención y mitigación.

El análisis de gobernanza a nivel local permitió realizar un análisis sobre las asimetrías de poder entre el municipio y las comunidades y sobre los actores que son claves para la gestión de riesgo. Los resultados indican que es imprescindible mejorar las capacidades y competencias gerenciales de las autoridades locales y municipales, y desarrollar la gestión municipal eficaz en un marco de equidad social.

Para el caso de Oaxaca, el 21.5% de las comunidades están en una categoría “alta” o “muy alta” de vulnerabilidad y otros 27.6% clasificados a nivel “medio”. Esto implica que la mitad de las comunidades tienen una vulnerabilidad social inaceptable, y que podría dar lugar a riesgos prevenibles. Los hallazgos más destacados como componentes principales de esta vulnerabilidad son una “alta” prevalencia de población con limitaciones mentales y/o motrices, aunado a la falta de servicios públicos, alto nivel de población mayor analfabeta o solo con educación básica, una alta tasa de hogares encabezados por mujeres, la falta de afiliación a algún seguro de salud, infecciones respiratorias agudas, desnutrición en menores de 4 años, y enfermedades crónico-degenerativas, y baja infraestructura de capacidad de respuesta.

Las variables adicionales del modelo 2 fueron dentro del subcomponente socioeconómico y capacidad de respuesta, lo que indica que aunque esta información no fue propor-

cionada por las autoridades del estado, este no fue significativo para medir un cambio en la intensidad de la mayoría de los municipios, principalmente por la ausencia de la infraestructura. El análisis de gobernanza de riesgo demuestra múltiples barreras principales que giran alrededor de asimetrías de poder a nivel municipal y comunitario: comités poco incluyentes de protección civil (solo en 41.2% de municipios), poca representatividad de las localidades ante el cabildo, y poca disponibilidad de datos de dominio público sobre los propios municipios por los actores claves. Existe una importante inequidad social en los actores civiles, con solo 6.8-23.5% de representatividad de mujeres en los cabildos, y en la mayoría, las autoridades solo tienen un nivel educativo de primaria. Una gestión adecuada preventiva o adaptativa de riesgo requerirá cambios básicos en competencias y representatividad de autoridades y un cambio fundamental en la interacción entre el cabildo y todas las comunidades de los ayuntamientos/agencias.

La falta de la colecta y disposición de información relevante para el análisis adecuado de vulnerabilidad y peligros se destaca como una de las barreras importantes para una medición y el seguimiento adecuado de riesgo. Es imprescindible que las autoridades desde el nivel estatal reconozca e inviertan en la colecta de esta información, y que faciliten el acceso de esta para la población e instituciones con las competencias de su procesamiento y análisis.

La capacidad de respuesta contabilizada en los municipios no tuvo impacto en la medición de riesgo debido a su escasez y a su concentración en las cabeceras municipales. La inversión en la infraestructura de pro-

tección civil o sanitaria muestra un cambio evidente, por lo menos en la sub-muestra analizada en este estudio. Un programa de mitigación de riesgos requiere una organización, estructura y procedimientos acorde con una eficiencia de manejo de estos, y sobre todo la capacidad de evaluar continuamente su impacto en la reducción de riesgos. El presente estudio pone a la disposición de las autoridades a todos niveles las herramientas para medir y dar seguimiento a este riesgo, si la voluntad política de la población indica el establecimiento adecuado para ello. Un análisis a mayor profundidad de las barreras y estrategias requeridas entre niveles de administración pública podría

permitir una reestructuración programática de la gestión de riesgo.

El modelo 1 de vulnerabilidad y riesgo calculado para el Estado de Chiapas se resume en la figura 54, cartel preparado para la Directora General de la OMS, para demostrar los proyectos y avances en estos temas prioritarios de las autoridades internacionales en la salud pública. Múltiples productos están en proceso de publicar para revista indexada, particularmente los modelos VRAM para Chiapas, Oaxaca y para la República Mexicana, así como la validación de los modelos de vulnerabilidad y análisis de gobernanza de riesgo en dos estados de la República (Ramsey, comunicación personal).

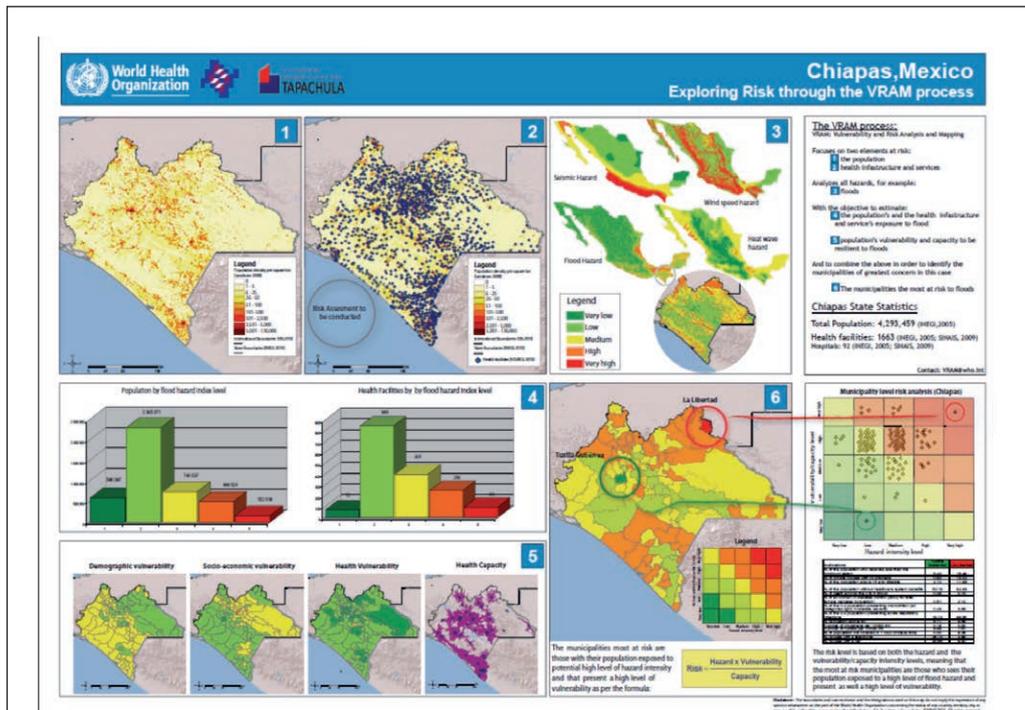


Figura 54. El Riesgo para desastres naturales, aplicado a Chiapas. Modelo 1 de vulnerabilidad y riesgo calculado para el estado de Chiapas .

Tabla 20. Variables y componentes para el cálculo del índice de vulnerabilidad social usando información de dominio público.

Indicadores demográficos (INEGI, 2010)		Modelo
Variable	Peso de la variable	
Porcentaje de población de 0 a 4 Años (antes)	3	Ambos
Población de 0 a 2 años mas población de 3 a 5 años		
Porcentaje de población de mas de 60 años	4	Ambos
Población con limitaciones mentales	4	Ambos
Población con limitaciones motrices	4	Ambos
Indicadores socioeconómicos		Modelo
Variable	Peso de la variable	
Porcentaje de población ocupada que no recibe ingreso por trabajo	3	Ambos
Porcentaje de población ocupada que recibe menos de un salario mínimo mensual de ingreso por trabajo	3	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra	5	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública.	5	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.	3	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica.	3	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin ningún bien	2	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de excusado o sanitario	4	Ambos
Porcentaje de viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento	3	Ambos
Porcentaje de población de 15 años y más analfabeta	5	Ambos
Porcentaje de población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena y no habla español	5	Ambos
Porcentaje de porcentaje de la población de 15 años o más con educación básica incompleta.	4	Ambos
Porcentaje de hogares con jefatura femenina	5	Ambos
Porcentaje de viviendas que cuentan con automovil	4	Ambos
Porcentaje de viviendas que cuentan con teléfono	2	Ambos
Porcentaje de viviendas que cuentan con una televisión	2	Ambos

Indicadores socioeconómicos		Modelo
Variable	Peso de la variable	
Porcentaje de viviendas que cuenta con un aparato de radio	4	Ambos
Porcentaje que utiliza el agua directamente de pozo, río u otra fuente natural para su uso domestico	2	Modelo 2
Porcentaje de población indígena	2	Modelo 2

Indicadores de salud		Modelo
Variable	Peso de la variable	
Porcentaje de población sin derecho-habienencia a servicios de salud	3	Ambos
Porcentaje de consultas por emergencias obstétricas hipertensivas (Durante el embarazo)	5	Ambos
Porcentaje de consultas por emergencias obstétricas hemorrágicas (Durante el parto)	5	Ambos
Porcentaje de consultas de control hipertensión	4	Ambos
Porcentaje de consultas de control diabetes mujeres	4	Ambos
Porcentaje de consultas de control diabetes hombres	4	Ambos
Porcentaje de consultas por Infecciones respiratorias agudas de 0-4 años	4	Ambos
Consultas EDAS primera vez, Plan A, 0 a 4 años+PlanB+PlanC	4	Ambos
Porcentaje de consultas de control desnutrición de 0-4 años	3	Ambos
Porcentaje de consultas por tuberculosis adultos (Total positivos hombres y mujeres)	3	Ambos
Porcentaje de consultas por Neumonía	3	Ambos
Porcentaje de muertes de 0 a 5 años de edad	5	Ambos
Muertes globales	3	Ambos

Indicadores de capacidad de respuesta, servicios de salud y civil		Modelo
Variable	Peso de la variable	
Porcentaje del total de consultorios (Sobre el total de la población)		Ambos
Porcentaje del total de camas no censables (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de Incubadoras (Sobre el total de la población)	5	Ambos
Porcentaje de quirófanos (Sobre el total de la población)	5	Ambos
Porcentaje de sala de expulsión (Sobre el total de la población)	2	Ambos
Porcentaje de banco de sangre (Sobre el total de la población)	4	Ambos
Porcentaje de laboratorio de análisis clínicos (Sobre el total de la población)	4	Ambos
Porcentaje de equipo de ultrasonido (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de equipo de electrocardiografía (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de electroencefalógrafo (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de tomógrafo (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de unidad de radioterapia (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de equipos de mamografía (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de equipo de resonancia magnética (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de médicos en otras actividades (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de personal de enfermería en otras labores (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de otro personal profesional (Sobre el total de la población)	3	Ambos
Porcentaje de personal técnico (Sobre el total de la población)	4	Ambos
Porcentaje de otro personal (Sobre el total de la población)	2	Ambos
Porcentaje del total de camas censables (Sobre el total de la población)	4	Ambos
Porcentaje del total de médicos en contacto con el paciente (Sobre el total de la población)	5	Ambos
Porcentaje de personal de enfermería en contacto con el paciente (Sobre el total de la población)	5	Ambos
Porcentaje de la población no cubierta en 1 hora de viaje al establecimiento de salud mas cercano	5	Ambos

Indicadores de capacidad de respuesta, servicios de salud y civil		Modelo
Variable	Peso de la variable	
Precepción en escala de seguridad en la localidad	2	Modelo 2
Percepción en escala de la frecuencia de eventos de alteracion de orden público	2	Modelo 2
Percepción en escala de la frecuencia de robos domiciliarios	2	Modelo 2
Percepción en escala de la frecuencia de robos a comercios	2	Modelo 2
Percepción en escala de la frecuencia de asalto a mano armada	2	Modelo 2
Percepción en escala de la frecuencia de robo de vehiculos	2	Modelo 2
Percepción en escala de la frecuencia de violaciones	2	Modelo 2
Centros educativos basicos en la comunidad	2	Modelo 2
Horas de agua disponibles a la semana en la vivienda	5	Modelo 2
Localidad representada en el comité municipal de PC	5	Modelo 2
Capacitación local sobre temas de protección civil	2	Modelo 2
Ejecución de simulacros en las distintas instituciones dentro de la localidad (centro de salud, escuelas etc) sobre que hacer en caso de peligro	2	Modelo 2
Se cuenta con un mapa de peligros(inundaciones, deslizamientos calor extremo) para la localidad	3	Modelo 2
Ubicación de sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre	2	Modelo 2
Existe un encargado de coordinar los diferentes sectores en caso de peligro	2	Modelo 2
Programa de atencion para la poblacion en salud en caso de desastre	4	Modelo 2
Realizacion de actividad con la poblacion de comunicación de riesgo(platicas ,asamblea, talleres)	3	Modelo 2
Organizaciones de participación social en la localidad	2	Modelo 2
Participación social enfocada a desastres	2	Modelo 2
Existencia en la localidad las posibles rutas de evacuacion y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia	3	Modelo 2
Caseta telefonica en la comunidad	3	Modelo 2
Señal de celular en la comunidad	4	Modelo 2

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El análisis de varios Ordenamientos Ecológicos elaborados hasta el presente, muestran que por regla general, en las etapas de caracterización y diagnóstico, se incluyen análisis de peligros. No obstante, la referida información deja de ser utilizada como un indicador importante para construir los mapas sectoriales de aptitud, y tampoco se traduce en lineamientos, estrategias, criterios y acciones encaminados a la disminución de la vulnerabilidad o a la implementación de medidas de adaptación a la incidencia de los peligros en los Programas de OET. Es por ello que tanto en relación con los conflictos, como en la delimitación de las Unidades de Gestión Ambiental donde se aplicarán las políticas destinadas a proteger, conservar, aprovechar o restaurar, se debe incorporar los resultados de dicho análisis y la gestión del riesgo.
- La escala geográfica de los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo deben corresponder en la escala seleccionada para cada Ordenamiento Ecológico del Territorio en particular. Como parte de los parámetros que se deben de considerar para definir la escala, se encuentra la extensión territorial de la entidad federativa, la existencia de información temática y los sistemas con los que se integrará la misma. Se tendrán en cuenta también las escalas que se han utilizado en los Atlas de Riesgo que en general han manejado dos escalas principales: para zonas urbanas (ciudades y áreas metropolitanas) 1:5,000 o mayor, y para una representación a nivel estatal, una escala menor de 1:50,000.

- Desde la concepción actual de la administración pública y de la planeación del gobierno federal, los espacios urbano, peri-urbano y rural son entidades geográficas diferenciadas que tienen instrumentos y sustentos jurídicos propios, con una interfase entre ambos en donde comúnmente existe traslape de los diferentes instrumentos de planeación territorial. Sin embargo, al nivel funcional, esos espacios presentan una estrecha interdependencia que los determina como subsistemas que integran una misma realidad territorial en donde uno no puede existir, ni explicarse, sin los otros. Estos espacios de territorio, en su expresión geográfica, tienen significación a la luz de los riesgos propiamente urbanos o de los propiamente rurales, que incluye, además del riesgo de los asentamientos humanos, los riesgos de la infraestructura, los sistemas productivos y los ecosistemas. En ese sentido, las áreas peri-urbanas cobran gran relevancia por que puede llegar a presentar ambas condiciones de riesgo, a concentrarlas en un espacio geográfico más reducido, a hacer sinergia o funcionar como un conector de peligros entre las áreas urbanas y las rurales.
- Para los fines del Ordenamiento Ecológico es fundamentalmente necesario el estudio de los peligros que influyen en los usos propuestos del territorio y en la implementación de las políticas y los lineamientos ecológicos. Los fenómenos y peligros geológicos e hidrometeorológicos que se propone incorporar en los estudios técnicos son: sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos de laderas, inundaciones pluviales, inundaciones por marea de tormenta y sequías. Otros fenómenos geológicos e hidrometeorológicos (como maremotos, tsunamis, tornados, tormentas de granizo, nevadas, torrentes de fango o tormentas de arena) no tienen una repercusión importante en la planificación ambiental a no ser a escalas muy locales. Adicionalmente, se debe considerar el incremento de los peligros por las modificaciones antrópicas de los ecosistemas.
- La determinación de mapas de peligros múltiples es una herramienta que puede facilitar los análisis y delimitar áreas con un mayor nivel de exposición a los distintos tipos de peligros. Especialmente en el Ordenamiento Ecológico regional (estatal) puede tener un gran valor para la identificación de las áreas más vulnerables, en el establecimiento de las políticas y lineamientos para incrementar la capacidad de respuesta y para disminuir la vulnerabilidad en su sentido más amplio, que involucra tanto a la población humana, la infraestructura, las actividades productivas y los ecosistemas.
- La identificación de limitantes en los mapas de aptitud para cada sector que pueden imponer la incidencia de peligros naturales y antrópicos puede incluir dos tipos de análisis: el primero se realiza a partir de la sobreposición del mapa integrado de peligros (amenazas) que permite definir el nivel de presencia del peligro (muy alto, alto, moderado, bajo, nulo) con los mapas de aptitud de cada sector, determinando las áreas con conflictos entre el potencial del territorio y la ocurrencia de los peligros

identificados; el segundo análisis más específico está dirigido a relacionar los mapas individuales de cada peligro con los mapas de aptitud de cada sector. La primera opción se recomienda para Ordenamientos Ecológicos al nivel regional en su modalidad estatal, mientras que el segundo se recomienda para los Ordenamientos Ecológicos locales.

- Debido que uno de los objetivos de la gestión ambiental es la protección de estructuras y funciones de comunidades y ecosistemas, los indicadores de una comunidad biótica deberían incluir características de las poblaciones, sus propiedades, e interacciones entre poblaciones que definen la función e estructura de la comunidad. Esto incluye la susceptibilidad a un peligro dado, la sensibilidad a tensores particulares, y la resiliencia a nivel población y de comunidad. Mientras más susceptibles sean las comunidades ecológicas a perder su estructura (por ejemplo, por extinción local de las especies centrales en la red de interacciones), más vulnerable será la comunidad a perder sus propiedades ecológicas (por ejemplo la persistencia de los servicios ecosistémicos).
- La etapa de pronóstico en el Ordenamiento Ecológico del Territorio presenta dos grandes generadores de incertidumbre: El cambio climático y la globalización. Debido a que esa fase está dirigida a la evaluación del comportamiento futuro de una situación o proceso a partir de las tendencias identificadas en el diagnóstico, es decir, analizamos algo que no sucede actualmente, pero que podría ocurrir si seguimos caminando

en la misma dirección, puede ser fuertemente influenciada por la modificación de las tendencias generadas por la presión del cambio climático o la globalización. El reto radica en la elaboración de escenarios de cambio climático al nivel regional y local y su incorporación a los escenarios elaborados en la etapa de pronóstico del Ordenamiento Ecológico.

- En el caso de México, a los efectos del pronóstico para el Ordenamiento Ecológico del Territorio, cobra gran importancia el comportamiento futuro a largo plazo de las variables ambientales producto de posibles escenarios de cambio climático. En particular dos variables fundamentales: 1) los cambios del régimen hidrológico, incluyendo el impacto del incremento de la intensidad de la precipitación, el impacto de las sequías y el análisis de la disponibilidad del recurso agua para enfrentar las tareas del desarrollo socioeconómico nacional, y 2) el ascenso del nivel del mar. Esto conlleva la consideración del incremento de la intensidad de los peligros por efecto del cambio global.
- La ausencia de la información básica, metadatos geográficos y sistemas de información geográfica de territorios en los que se han realizado Ordenamientos Ecológicos municipales y estatales, limitó la posibilidad de poder evaluar consistente y sistemática la integración entre los resultados de peligro, vulnerabilidad y riesgos en los Ordenamientos Ecológicos, así como su traducción a lineamientos, estrategias, criterios y acciones en los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio.

RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados mostrados en el presente trabajo se recomienda seleccionar un territorio específico, definido por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, para poder desarrollar un proyecto piloto en el que se incluya la integración de la metodología propuesta sobre peligro, vulnerabilidad y riesgo al proceso de Ordenamiento Ecológico, con la finalidad de evaluar la viabilidad de la implementación de la metodología propuesta en la fase de formulación del Ordenamiento Ecológico, considerando de forma integral tanto las áreas naturales y rurales como las urbanas y peri-urbanas.
- Se recomienda considerar en los procesos de Ordenamiento Ecológico del Territorio un grupo de aspectos relacionados con la gestión de riesgos y la adaptación como son: preservar y fortalecer las funciones de amortiguamiento que existen en las cuencas; fortalecer y revisar la implementación de instrumentos de gestión como la veda temporal, las áreas naturales protegidas (ANP) marinas y costeras, y el pago por servicios hidrológicos, para adecuarlos a las nuevas necesidades que sean significativas en los modelos de escenarios de cambio climático; establecer corredores biológicos y evaluar la modificación de los actuales límites geográficos de algunas ANP y Regiones Prioritarias para la Conservación con la finalidad de fortalecer la capacidad de ajuste de los ecosistemas y las comunidades de especies; considerar una elevación del nivel medio del mar de 40 cm. entre la actualidad y la última década del siglo como línea base para la planeación, conservación, restauración y la construcción de infraestructura en zonas costeras.
- En términos de líneas prioritarias de investigación, para incluir el tema de peligros naturales y antrópicos, así como un modelo robusto de vulnerabilidad ecológica y social/sanitaria en la identificación del riesgo actual y según los escenarios de cambio climático en los Ordenamientos Ecológicos, se recomiendan las siguientes: elaboración de pronósticos climáticos estacionales y el desarrollo de escenarios regionales y locales de cambio climático; inclusión de una perspectiva de comunidad biológica (mediante el análisis de nicho) y sus interacciones para monitorear la conservación de zonas prioritarias; evaluación de los efectos del cambio climático en las distintas fases del ciclo hidrológico; sistematización de la información sobre afectaciones en los ecosistemas y sus componentes; valoración económica de los servicios ambientales relacionados con la pre-vencción de inundaciones y la mitigación de impactos en la zona costera y en las grandes urbes; monitoreo comunitario de la calidad de los recursos, empezando con el agua; y elaboración de cartografía de riesgos y vulnerabilidad costero-marina frente al ascenso del nivel medio del mar.

LITERATURA CITADA, RECOMENDADA Y CONSULTADA

-
- Achkar, M., V. Canton, R. Cayssials, A. Domínguez, G. Fernández y F. Pesce, 2005. Ordenamiento Ambiental del Territorio. Comisión Sectorial de Educación Permanente. DIRAC, Facultad de Ciencias. Montevideo.
- Agnew, M. D. y J. P. Palutikof, 2000. GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables. *Climate Research*, 14: 115-127.
- AGROASEMEX, 2006. La Experiencia Mexicana en el Desarrollo y Operación de Seguros Paramétricos Aplicados a la Agricultura. Querétaro, México. http://www.agroasemex.gob.mx/media/publicaciones/agricola_es.pdf
- Ahamdanech, I., C. Alonso, J. Bosque, J. A. Malpica, M. Martín-Loeches, E. Pérez, y J. Temiño, 2003. Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 23: 55-73.
- Alcántara, I., A. Echavarría, C. Gutiérrez, L. Domínguez, e I. Noriega, 1996. Inestabilidad de Laderas. Serie Fascículos, CENAPRED.
- Al-Rawas, G., M. Koch y F. El-Baz, 2001. Using GIS for flash flood hazard mapping in Oman. *Earth Observation Magazine*, 10(8): 18-20.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32: 269-277.
- Anbalagan, R., y B. Singh, 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains-a case study from Kumaun Himalaya, India. *Engineering Geology*, 43: 237-246.

- Anderson, R. P., D. Lew, y A. T. Peterson, 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162: 211-232.
- Anderson, S., 2011. Cambio climático y reducción de la pobreza. Informe de políticas. CDKN. IIED. 4 pp.
- Aparicio-Flrido, J. A., 2007. El riesgo de sequía y su inclusión en los planes de protección civil. Boletín de la A.G.E. N.º 44 - 2007, págs. 95-116. <http://age.ieg.csic.es/boletin/44/05-aparicio.pdf>
- Araújo, M. B., A. Rozenfeld, C. Rahbek, y P. A. Marquet, 2011. Using species co-occurrence networks to assess the impacts of climate change. *Ecography*, 34: 897-908. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0587.2011.06919.x> Acceso 23 de julio de 2011.
- Ashraf, M., J. C. Loftis, y K. G. Hubbard, 1997. Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84(3-4): 255-271.
- Atkinson, P. M., y R. Massari, 1998. Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Appenines, Italy. *Computers and Geosciences* 24 (4): 373-385.
- Ayala-Carcedo, F. J., 2000. La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población. Boletín de la A.G.E. N.º 30. pp. 37-49.
- Ayalew, L., y H. Yamagishi, 2004. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2):15-31.
- Ayenew, T., y G. Barbieri. 2005. Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. *Engineering Geology*, 77 (1-2):1-15.
- Balvanera, P., A. B. Pfisterer, N. Buchmann, J.-S. He, T. Nakashizuka, D. Raffaelli, y B. Schmid, 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9 (10): 1146-1156. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16972878> Acceso 5 de julio de 2011.
- Bapalu, G. V., y R. Sinha, 2005. GIS in flood hazard mapping: a case study of Kosi River Basin, India. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/floods/floods001pf.htm; Acceso 21 de marzo de 2007.
- Barisone, G., y G. Bottino, 1990. A practical approach for hazard evaluation of rock slopes in mountainous areas. Proceedings of the 6th IAEG Congress: 1509-1515. Rotterdam, Balkema.
- Barker, T., 2007. Climate Change 2007 : An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Barredo, J. I., A. Benavides, J. Hervás, y C. van Westen, 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): 9-23.
- Batista, J. L., y M. Sánchez, 2003. Peligro y Vulnerabilidad en el este de La Habana. *Revista Mapping interactivo*, 88: 86-98.
- Baum, R. L., A. F. Chleborad, y R. L. Schuster, 1998. Landslides triggered by the winter 1996-1997 storms in the Puget Lowland, Washington. US Geological Survey. Reston, Virginia. Open-File Report 98-239. At <http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/ofr/ofr98239>; Acceso 10 abril 2007.
- Benzi, R., R. Deidda, y M. Marrocu, 1997. Characterization of temperature and precipitation fields over Sardinia with principal component analysis and singular spectrum analysis. *International journal of climatology*, 17(11): 1231-1262.

- Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis y B. Wisner, 1996. Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. LA RED-RESPDAL. IT. Perú.
- Brabb, E. E., 1984. Innovative approaches to landslide hazard mapping. Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides, vol 1: 307-324. Canadian Geotechnical Society. Toronto.
- Broennimann, O., U. A. Treier, H. Muller-Scharer, W. Thuiller, A. T. Peterson y A. Guisan, 2007. Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology Letters*, 10 (8): 701-709. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17594425>.
- BUAP-SEMARNAT, 2002. Caracterización y Diagnóstico del Ordenamiento Ecológico de la Región del Volcán Popocatepetl y su área de influencia. Informe Final. CUPREDER-BUAP.
- BUAP-SEDUEOP-SEMARNAT, 2004. Programa de Ordenamiento Ecológico en la Región del volcán Popocatepetl y su zona de influencia en el estado de Puebla, Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales, Informe final, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Secretaría de Desarrollo Urbano, Ecología y Obras Públicas-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Puebla, México.
- Busso, G., 2001. Vulnerabilidad social: Nociones e implicancias de políticas para Latinoamérica a inicios del Siglo XXI. Seminario Internacional Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe. 20 y 21 de julio. CEPAL. Santiago de Chile. 39 p.
- Busso, G., 2002. Vulnerabilidad sociodemográfica en Nicaragua: un desafío para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Serie Población y desarrollo 29. CEPAL. Santiago de Chile.
- Cabildo de Tenerife, 2012. Plan Territorial Insular de Emergencias de Protección Civil de La Isla de Tenerife. Capítulo III Análisis de Riesgo. Boletín Oficial de Canarias N° 107. 01 de junio. p. 63-132.
- Calva J. L., 2007. Sustentabilidad y desarrollo ambiental. En: Agenda para el Desarrollo Vol. 14. Ed. UNAM. ISBN970-32-3546-8.
- Campaña, R., Sin fecha. Introducción a las Técnicas de Microzonificación para Inundaciones IMEFEN-CISMID. Perú. rcampana@uni.edu.pe
- Campos, A., 2002. Algunas consideraciones sobre los mapas de riesgo. *Biblio-Des*, 30: 46-53.
- Cardona, O., 1990. Términos de uso común en manejo de riesgos. Ediciones DPAD. Bogotá.
- , 1992. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. En: Los desastres no son naturales. LA RED. Tercer mundo editores. p. 45-65. Colombia.
- Carrara, A., 1989. Landslide hazard mapping by statistical methods: a black-box model approach. Proceedings of the International Workshop on Natural Disasters in European-Mediterranean Countries. Perugia, June 27-July 1. Pp. 205-224. Consiglio Nazionale delle Ricerche/US National Science Foundation. Rome.
- Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui y P. Reichenbach, 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth surface processes and landforms* 16 (5): 427-45.
- Castorena, G., M. E. Sánchez, M. E. Florescano, R. G. Padilla y M. L. Rodríguez, 1980. Análisis histórico de las sequías de México. Comisión Nacional Hidráulico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 137 p.
- Centella, A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, R. Báez, S. González, J. Sille, P. Rosario y L. Duarte, 2006. La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. PNUD Cuba. 174 p.

- Centro Interamericano de Aerofotogrametría (CIAF), 1986. Relaciones de la radiación electromagnética con algunos cuerpos naturales. Notas de clase. Bogotá.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2000. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. Versión Digital. Secretaría de Gobernación. México, D. F.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastre. Secretaría de Gobernación. México, D. F.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2002. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres, SEGOB. México.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2006. Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos: Conceptos Básicos sobre peligros, riesgos y su representación cartográfica. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
- CFE-PSM, 1996. Mapas de peligro sísmico en México. Programa elaborado por el Instituto de Ingeniería, UNAM; CENAPRED, CFE y el IIE. México D.F.
- Chase, J. L. y M. A. Leibold, 2003. Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches. University of Chicago Press. Chicago, IL. 212 p.
- Chessa, P. A. y A. M. Delitala. 1997. Objective analysis of daily extreme temperatures of Sardinia (Italy) using distance from sea as independent variable. *International Journal of Climatology*, 17(13):1467-1485.
- Clerici, A., S. Perego, C. Tellini y P. Vescovi, 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48: 349-64.
- Coch, N. 1995. Geo-hazards. Macmillan Eds. New Jersey.
- Collins, F. C. Jr. y P. V. Bolstad, 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. January 21–25. Santa Fe, New Mexico, USA.
- Colwell, R.K., 2009. Biodiversity: Concepts, Patterns, and Measurement. In S. A. Levin, ed. The Princeton guide to ecology. Princeton Univ Press. p. 257-263. <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=4MS-vfT89QMC&oi=fnd&pg=PA257&dq=Biodiversity:+Concepts,+Patterns,+and+Measurement&ots=2uFhR2QpU7&sig=vNWelEy9NG83M3qI4oEuItUV1Ek> Acceso 16 de Enero de 2012.
- Comisión de Ordenamiento Territorial (COT), 1992. Boletín de ordenamiento territorial N° 3. Ed. IGAC. Bogotá.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2002. Manual para la estimación del impacto de los desastres. CEPAL. Santiago de Chile.
- Condie, R. y K. A. Lee, 1982. Flood frequency analysis with historic information. *Journal of hydrology*, 58: 47–61.
- Confalonieri, U., 2003. Climate variability, vulnerability and health in Brazil. *Terra Livre*, 19: 193-204.
- Consejo Internacional para la Ciencia, UNESCO y la Universidad de Naciones Unidas (ICSU-UNESCO-UNU), 2008. Ecosystem Change and Human Well-being: Research and Monitoring Priorities Based on the Findings of the Millennium Ecosystem Assessment. ICSU Publishing. París. 55 pp.

- COSUDE-ALARN. 2002. Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua. Guía para el especialista. Proyecto: Apoyo Local para el Análisis y manejo de los Riesgos Naturales (ALARN). Managua, Nicaragua. 46 p.
- Cruz Roja Internacional, 2002. Informe mundial sobre desastres. Suiza.
- Cutter, S. y C. Finch, 2008. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *PNAS*, 105 (7): 2301-2306.
- Dai, F. C. y C. F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42: 213-228.
- Damen, M. y C. van Western, Sin fecha. Modelamiento del riesgo por marejada asociada a la ocurrencia de un ciclón: Bangladesh. Department of Earth Resources Surveys, International Institute Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). Enschede, The Netherlands. 38 pp.
- De Lange, H., J. L. van der Pol, J. Lahr y J. H. Faber, 2006. Ecological Vulnerability in Wildlife. Alterra-rapport 1305. EC FP6 project 003956. European Union.
- Delgadillo, M. J., O. T. Aguilar y V. D. Rodríguez, 1999. Los aspectos económicos y sociales del El Niño. En: Magaña, V. (Ed.). Los Impactos de El Niño en México. IAI, SEP-CONACYT, UNAM. México, D. F.
- Delworth, T. L., J. D. Mahlman y T. R. Knutson, 1999. Changes in heat index associated with CO₂ induced global warming. *Climatic change*, 43: 369-386.
- Demoraes, F. y R. D'ercole, 2001. Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en el Ecuador. COOPI, OXFAM Internacional y SIISE. Quito, Ecuador. 65 p.
- Dirección Municipal de Ordenamiento Territorial y Urbano-Instituto de Planificación Física (DMOTYU-IPF), 2001. Metodología del Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano. Santiago de Cuba.
- Dodson, R. y D. Marks, 1997. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Climate research* 8 (1): 1-20.
- DOF, 1976. Ley General de Asentamientos Humanos. 26 de mayo de 1976. México.
- Dollfus, O., 1991. Territorios andinos, reto y memoria. Ed. IFEA-IEP. Perú.
- Donati, L. y M. C. Turrini, 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63: 277-289.
- Dracup, J. A., K. S. Fee y E. G. Paulson Jr., 1980. On definitions of droughts. *Water Resour. Res.*, 16 (2): 297-302.
- Duffy, J. E., J. B. Cardinale, K. E. France, P. B. McIntyre, E. Thébault y M. Loreau, 2007. The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecology Letters*, 10 (6): 522-538. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17498151>. Acceso 17 de Julio de 2011.
- Duman, T. Y., T. Can, C. Gökçeoğlu y H. A. Nefeslioğlu, 2005. Landslide susceptibility mapping of Çekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability. *Hydrology and Earth system Sciences Discussions*, 2: 155-208.
- Eckstein, B. A., 1989. Evaluation of spline and weighted average interpolation algorithms. *Computers & Geosciences*, 15 (1): 79-94.
- Eastman, J. R., 2003. Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing version 14.00. Clark University. Worcester, Massachusetts.

- Eischeid, J. K., F. B. Baker, T. R. Karl y H. F. Diaz. 1995. The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 34 (12): 2787-2795.
- Elith, J. y Leathwick, J.R., 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), pp.677-697. <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>. Acceso 13 de Junio de 2011.
- El Morjani, Z., 2003. Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale. Application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc). Doctoral thesis. University of Geneva. Terre et environnement 42.
- Ercanoğlu, M. y C. Gökçeoğlu, 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslideprone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41 (6): 720-30.
- Ercanoğlu, M., C. Gökçeoğlu y Th. W. J. van Asch, 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32: 1-23.
- Ercanoğlu, M. y C. Gökçeoğlu. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75: 229-250.
- Eslava, H., M. Jiménez, M. A. Salas, F. García, M. T. Vázquez, C. Baeza y D. Mendoza. 2006. Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas rurales, con arrastre de sedimentos. En: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos. Serie Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED.
- Eslava, H., L. G. Matías, Ó. A. Fuentes, M. A. Salas, F. García y M. Jiménez. 2007. Implementación de la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta: Caso Isla Arena, Municipio de Calkiní, Campeche. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED, Secretaría de Gobernación, México. Organización Mexicana de Meteorólogos, AC. Memoria del Congreso.
- Esmali, A. y H. Ahmadi. 2003. Using GIS & RS in mass movements hazard zonation-a case study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran. Map India Conference 2003. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/ma03004.htm; Accessed 11 April 2007.
- Espíritu, G. 2006. Detección de zonas de inundación por factores geomorfológicos e hidrológicos en la cuenca de Coatán. Una propuesta metodológica. FOMIX COCYTECH. Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. UAQRO, INE Y FIDERIC. 19-21 de septiembre. Querétaro, Qro. http://www.ine.gob.mx/dgioece/cuencas/descargas/cong_nal_06/tema_05/10_gloria_espiritu3.pdf. Acceso 15 de febrero de 2008.
- Estenssoro, F., 2010. Crisis ambiental y cambio climático en la política global: un tema crecientemente complejo para América Latina. *Revista Universum*, 25 (2): 57-77.
- Esteve, L., 1976. Seismicity. En: Lomnitz, C. y E. Rosenblueth (Eds.). *Seismic Risk and Engineering Decisions*. Chapter 6. Elsevier.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), 2001. Los desastres naturales y el desarrollo sostenible: considerando los vínculos entre el desarrollo, el medio ambiente y los desastres naturales. Documento base No. 5.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), 2008. Indicadores del Progreso. Guía para Medir la Reducción del Riesgo de Desastres y la Implementación del Marco de Acción de Hyogo. EIRD-ONU. Ginebra. 52 p.

- Etxeberria, P., A. Brazaola y J. M. Edeso, 2002. Cartografía de peligro de inundación mediante Sistemas de Información Geográfica y modelos hidrológicos e hidráulicos. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/53.pdf>
- Etxeberria, P., J. M. Edeso y A. Brazaola, 2005. Metodología para crear mapas de peligros naturales en Guipúzcoa utilizando SIG. *GeoFocus (Artículos) N° 5*. p. 250-267.
- FAO, 2007. Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco. Resumen. Grupo de trabajo interdepartamental de la FAO sobre el cambio climático. FAO Roma. 21 p.
- Fernández, T., M. A. Ureña, F. J. Ariza, C. Irigaray, R. El Hamdouni y J. Chacón, 2006. Diseño de un modelo de datos espaciales de movimientos de ladera. p. 149-164. En: Camacho, M. T., J. A. Pérez y J.J. Lara. *Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica: El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. Editorial Universidad de Granada.
- Fischer, G., M. Shah y H. V. Velthuizen, 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Vienna.
- Fleischhauer, M., S. Greiving y S. Wanczura, 2007. Planificación territorial para la gestión de riesgos en Europa. *Boletín de la A.G.E.*, 45: 49-78.
- Foschiatti, A. M., 2009. La vulnerabilidad global. Cuestiones de terminología. En: Foschiatti, A. M. *Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional del Nordeste EUDENE. Resistencia, Argentina. p. 13-40.
- Foster, H. A., 1935. Duration curves. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 99: 1213-35.
- Fra Paleo U. y F. Trusdell, 2000. La modelización de los flujos volcánicos para la evaluación de riesgos y la planificación espacial en Hawaii. *Boletín de la A.G.E.*, 30: 181-192.
- Frankham, R., D. A. Briscoe y J. D. Ballou, 2002. *Introduction to conservation genetics*, Cambridge Univ Press. <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=F-XB8hqZ4s8C&oi=fnd&pg=PR13&dq=Introduction+to+Conservation+Genetics&ots=CJCexX3N7O&sig=anaDqNLEyCJzhQiEAY3MBsLsPck> Acceso 9 de Enero de 2012.
- Fritz, Ch., 1968. Disasters. En: *International Encyclopedia of the Social Sciences*, Vol. III. Macmillan. New York.
- Fuentes, O., L. G. Matías, M. Jiménez, D. R. Mendoza y C. Baeza, 2006. Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones costeras por marea de tormenta. En: *Guía básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos. Fenómenos hidrometeorológicos*. Serie Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED.
- Fuller, T., V. Sánchez-Cordero, P. Illoldi-Rangel, M. Linaje y S. Sarkar, 2007. The cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biological Conservation*, 134 (4): 593-600. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320706003582>. Acceso 19 de Julio de 2011.
- Fuller, W. E., 1914. Flood flows. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 77: 564-617.
- Fundación Gonzalo Río Arronte y Fundación Javier Barros Sierra (FGRA-FJBS), 2004. *Prospectiva de la demanda de agua en México 2000-2030*. FGRA y FJBS A. C. México, D. F. 105 p.
- Füssel, H., 2010. How inequitable is the global distribution of responsibility, capability, and vulnerability to climate change: A comprehensive indicator-based assessment. *Global Environmental Change*, 20: 597-611.

- Gabiña, J., 1999. Prospectiva y planificación territorial. Hacia un proyecto de futuro. Ed. Alfaomega. Santa Fe de Bogotá.
- Gabriele, S. y N. Arnell. 1991. A hierarchical approach to regional flood frequency analysis. *Water resources research*, 27 (6): 1281-9.
- Gerard, R. y E. W. Karpuk. 1979. Probability analysis of historical flood data. *Journal of the Hydraulics Division ASCE*, 105 (HY9): 1153-65.
- Giardini, D., G. Grünthal, K. M. Shedlock y P. Zhang, 1999. The GSHAP Global Seismic Hazard Map. *Annali di Geofisica*, 42: 1225-1230.
- Glassey, P. J., P. J. Forsyth y M. Turnbull, 1997. A GIS-based hazard information system: Dunedin pilot project. *IPENZ transactions (general)*. 24 (1). <http://www.ipenz.org.nz/ipenz/publications/transactions/Transactions97/general/4glassey.pdf>; accessed 11 April 2007.
- Gökçeoğlu, C. y H. Aksoy, 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44: 147-161.
- Gomes, A., J. L. Gaspar, C. Goulart y G. Queiroz, 2005. Evaluation of landslide susceptibility of Sete Cidades Volcano (S. Miguel Island, Azores). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 251-57.
- González de Vallejo, L., 2002. Ingeniería Geológica. Ed. Prentice Hall Pearson Educación. Madrid. 744 p.
- Gotelli, N. J. y R. K. Colwell, 2001. Quantifying biodiversity : procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379-391.
- Gotelli, N. J. y R. K. Colwell, 2010. Estimating species richness. p. 39-54. En: *Biological Diversity: Frontiers In Measurement and Assessment*. JSTOR. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2530802>. Acceso 13 de Enero de 2012.
- Granger, K. y M. Berechree, 2003. Heat wave risks. In: Granger, K. y M. Hayme (Eds.). *Natural hazards and the risk they pose to south-east Queensland*. Canberra, Australian Geological Survey Organisation.
- GRAVITY. 2001. Feasibility Study Report on Global risk and vulnerability index – Trends per year. UNEP, DEWA, GRID. 76 p.
- Guidiño, M., 1993. Innovaciones estratégicas para el ordenamiento territorial en la argentina. *Revista Interamericana de Planificación*, 26(104). Octubre-Diciembre.
- Gumbel, E. J., 1941. The return period of flood flows. *American Mathematical Statistics*, 12 (2): 163-190.
- Gumbel, E. J. 1942. Statistical control curves for flood discharges. *Transactions, American Geophysical Union*, 23: 489-500.
- Gumbel, E. J., 1954. The statistical theory of droughts. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 80: 1-19.
- Gumbel, E. J., 1960. Bivariate exponential distribution. *Journal of the American Statistical Association*, 55: 698-707.
- Gupta, R. P. y B. C. Joshi, 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach-a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas. *Engineering Geology*, 28: 119-131.

- Gutiérrez, C., A. Ramírez y A. B. Reyes. 2006. Integración de información para la estimación del peligro sísmico. p. 13-121. En: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Fenómenos Geológicos.
- Guzzetti, F., A. Carrara, M. Cardinali y P. Reichenbach, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. *Geomorphology* 31: 181-216.
- Guzzetti, F., M. Cardinali, P. Reichenbach y A. Carrara, 2000. Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber river basin, central Italy. *Environmental Management*, 25(3): 247-263.
- Hammond, T. y J. Yarie, 1996. Spatial prediction of climatic state factor regions in Alaska. *Ecoscience*, 3 (4): 490-501.
- Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis. p. 523-602. In: Brunsdon, D. y D. B. Prior (Eds.). Slope Instability. Wiley. New York.
- Hansen, A. y C. A. M. Franks, 1991. Characterization and mapping of earthquake triggered landslides for seismic zonation. Proceedings of the 4th International Conference on Seismic Zonation. August 26-29. Pp. 149-195. Stanford, California.
- Hargy, V. T., 1997. Objectively mapping accumulated temperature for Ireland. *International Journal of climatology*, 17(9): 909-27.
- He, Y., A. Bárdossy, J. Brommundt y R. Enzenhöfer, 2006. Non-stationary flood frequency analysis in the context of climate variability. Geophysical Research Abstracts 8.
- Hellie Eaking, L. A. B.-T., 2008. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change*, 18: 112-127.
- Hermelin, M., 1993. Medio ambiente y plan de desarrollo municipal. PNUD y DHA-UNDRO. Ed. Fondo Nacional de Calamidades. Bogotá.
- Hernández, J. R., J. L. Batista *et al.*, 1991. Atlas de Riesgos de la República de México. Primera edición. Instituto de Geografía-UNAM y CENAPRED-SEGOB. México, D. F.
- Hinkel, J., 2011. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of science-policy interface. *Global Environmental Change*, 21: 198-208.
- Holdaway, M. R., 1996. Spatial modelling and interpolation of monthly temperature using kriging. *Climate Research*, 6: 215-225.
- Holt, R. y R. Gomulkiewicz. 2004. Conservation implications of niche conservatism and evolution in heterogeneous environments. p. 244-264. En: Evolutionary conservation biology. <http://fieldnote.jakou.com/comeco/ecb/c13.pdf> Acceso 16 de Enero de 2012.
- Hudson, G. y H. Wackernagel, 1994. Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. *International Journal Of Climatology* 14: 77-91.
- Hulme, M., D. Conway, P. D. Jones, T. Jiang, E. M. Barrow y C. Turney, 1995. Construction of a 1961-1990 European climatology for climate change modelling and impact applications. *International Journal of Climatology*, 15: 1333-1363.
- Hutchinson, M. F. y P. E. Gessler, 1994. Splines-more than just a smooth interpolator. *Geoderma*, 62: 45-67.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDC), 2006. Manual básico para la estimación del riesgo. INDC, DINAPRE. Lima, Perú. 73 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 1995. Estudio de País: México ante el Cambio Climático Global. Memorias II.

- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2006. México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INE, SEMARNAT, PNUD México, EPA, Global Environment Facility: México.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2005. Inundaciones fluviales. mapas de amenazas recomendaciones técnicas para su elaboración. Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarn/inundaciones.pdf>
- IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios SRES. Nakicenovic, N., 7 Swart, R. (Eds.). IPCC, Cambridge, UK. 570 pp.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra, Suiza. 104 pp.
- Ippolito, A., S. Sala, J. H. Faber y M. Vighi, 2010. Ecological vulnerability analysis: a river basin case study. *Science of the Total Environment*, 408 (18): 3880-3890.
- Islam, M. M. y K. Sado, 2000a. Flood hazard assessment in Bangladesh using NOAA AVHRR data with geographical information system. *Hydrological Processes*, 14 (3): 605-620.
- Islam, M. M. y K. Sado, 2000b. Flood hazard map and land development priority map developed using NOAA AVHRR and GIS data. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps313pf.htm>; accessed 21 March 2007.
- Jackson, S. T., J. L. Betancourt, R. K. Booth y S. T. Gray, 2009. Ecology and the ratchet of events: climate variability, niche dimensions, and species distributions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* Vol. 106 Suppl. 2: 19685-19692. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2780932&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- Jager, S. y G. F. Wieczorek, 1994. Landslide susceptibility in the Tully Valley area, Finger Lakes region. Washington. US Geological Survey. Reston, Virginia. Open-File Report 94-615. at <http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/ofr/ofr94615> Acceso 11 de abril de 2007.
- Jakob, M., 2000. The impacts of logging on landslide activity at Clayoquot Sound, British Columbia. *Catena*, 38: 279-300.
- Jetz, W., J. M. McPherson y R. P. Guralnick, 2011. Integrating biodiversity distribution knowledge : toward a global map of life. *Trends in Ecology and Evolution*. Pp.1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2011.09.007>.
- Jiménez, S. y D. Sánchez, 2007. Ordenación urbana litoral y prevención ante desastres de inundación en los municipios de Tamaulipas, México. El Sistema de Alerta Temprana contra Eventos Meteorológicos Extremos (SATEME). *Revista Ciencia-UAT*, 4: 61-66.
- Jones, T., M. Middelmann y N. Corby, 2005. Natural hazard risk in Perth, Western Australia. Canberra, Geoscience Australia.
- Juárez, M., L., Íñiguez y M. Sánchez, 2006. Niveles de riesgo social frente a desastres naturales en la Riviera Mexicana. *Revista Investigaciones Geográficas*, 61: 75-88.
- Kelarestaghi, A., 2003. Investigation of effective factors on landslides occurrence and landslide hazard zonation-case study Shirin Rood drainage basin, Sari, Iran. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/ma03003pf.htm; Accessed 11 April 2007.
- Kite, G. W., 1977. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins, Colorado, Water Resources Publications.

- Kjeldsen, T. R., J. C. Smithers y R. E. Schulze, 2002. Regional flood frequency analysis in the KwaZulu-Natal province, South Africa, using the index flood method. *Journal of Hydrology*, 255: 194-211.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. J. March, R. Esquivel, C. Cantú, A. Lira-Noriega *et al.*, 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. p. 651-718. En: Dirzo, R., R. Gonzalez e I. March (Eds.) *Capital Natural de México*. Vol. II. Estado de Conservación y Tendencias de Cambio.
- Komac, M. y M. Ribičič, 2006. Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1:250.000, Geophysical research abstracts 8. <http://www.cosis.net/abstracts/EGU06/03990/EGU06-J-03990.pdf>; accessed 11 April 2007.
- Koukis, G. y C. Ziourkas, 1991. Slope instability phenomena in Greece: a statistical analysis. *Bulletin of the International Association of Engineering Geologists*, 43: 47-60.
- Koutsoyiannis, D., 2004. On the appropriateness of the Gumbel distribution for modelling extreme rainfall In: Hydrological risk: recent advances in peak river flow modelling, prediction and real-time forecasting. *Assessment of the impacts of land-use and climate changes*, 303-319.
- Kroll, C. N. y R. M. Vogel, 2002. Probability distribution of low streamflow series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7: 137-146.
- Landwehr, J. M., N. C. Matalas y J. R. Wallis, 1979. Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. *Water Resources Research*, 15: 1055-1064.
- Lavell, A., 1988. Desastres naturales y zonas de riego en Centroamérica, condicionantes y opciones de prevención y mitigación. *GEOSTMO Vol. II (2) Revista de la asociación de profesores de Geografía de Costa Rica*.
- Legates, D. R. y C. J. Willmott, 1990. Mean seasonal and spatial variability in global surface air temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 41: 11-21.
- Lennon, J. J. y J. R. G. Turner, 1995. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. *Journal of Animal Ecology*, 64: 370-392.
- Li, J., J. F. Huang y X. Z. Wang, 2006. A GIS-based approach for estimating spatial distribution of seasonal temperature in Zhejiang Province, China. *Journal of Zhejiang University Science A* 7 (4): 647-56.
- Lira-Noriega, A., J. Soberón, A. G. Navarro-Sigüenza, Y. Nakazawa y A. T. Peterson, 2007. Scale dependency of diversity components estimated from primary biodiversity data and distribution maps. *Diversity and Distributions* 13 (2): 185-195. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1472-4642.2006.00304.x> . Acceso 11 de Junio de 2011.
- Loveland, T. J., D. O. Merchant y J. Brown, 1991. Development of a land-cover characteristics database for the conterminous us. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57 (11): 1453-1463.
- Lugo-Hubp, J. y M. Inbar. 2002. Desastres Naturales en América Latina. Ed. Fondo de Cultura Económica, México. p 9-33.
- Lugo-Hubp, J., J. J. Zamorano-Orozco, L. Capra, M. Inbar e I. Alcántara-Ayala, 2005. Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22 (2): 212-228.
- Lutgens, F. K. y E. J. Tarbuck, 1995. The atmosphere. 6th Ed. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall Inc.

- Luzi, L. y F. Pergalani, 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the-Oltre Po Pavese case history (Regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards*, 20 (1): 57-82.
- Macías, J. L., G. Carrasco, H. Delgado, A. L. Del Pozzo, C. Siebe, R. Hoblitt, M. F. Sheridan y R. I. Tilling, 1995. Mapa de peligros volcánicos del Popocatepetl. Publicación especial del Instituto de Geofísica, UNAM. Junio.
- Macías, J. L., J. L. Arce, A. García-Palomo, J. C. Mora, P. W. Layer y J. M. Espíndola, 2010. Late-Pleistocene flank collapse triggered by dome growth at Tacaná Volcano, México-Guatemala, and its relationship to the regional stress regime. *Bull Volcanol.*, 72 (1): 33-53.
- MacEachren, A. M. y J. V. Davidson, 1987. Sampling and isometric mapping of continuous geographic surfaces. *American Cartographer*, 14 (4): 299-320.
- Magaña, V., 2010. Cambio Climático en el Distrito Federal. Taller Regional CENTRO para fortalecer la Cooperación Negociadora del Subcomité Académico de la COP 16. 29-30 de julio. Cuernavaca, Morelos.
- Magaña, V. (Ed.), 1999. Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación. México, D. F. 229 p.
- Maharaj, R., 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St Andrew, Jamaica, West Indies. *Engineering Geology*, 34 (1-2): 53-79.
- Mannaerts, C. M., 1996. Watershed hydrological methods. ITC postgraduate course in water resources survey lecture notes (MOR46). ITC. Enschede, The Netherlands.
- Martinez, A., 2003. Elaboration d'un SIG pour la gestion des zones à risque de glissements de terrain dans le quartier de Villatina Medellín, Colombie. Certificate of Geomatics, University of Geneva.
- Martín del Pozzo, A. L., M. F. Sheridan, D. Barrera, J. L. Lugo-Hupb y L. Vázquez, 1995. Mapa de peligros, Volcán de Colima, México. Instituto de Geofísica, UNAM. Escala 1:25,000. Una hoja.
- Martínez, A., Á. Gómez y S. de la Cruz, 2006. Elaboración de mapas de peligros volcánicos. En: Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos. Fenómenos Geológicos. CENAPRED, México, DF.
- Maskrey, A. (Comp.), 1993. Los desastres no son naturales. LA RED-RESPDAL. Tercer mundo editores. 137 p.
- Massiris, A., 1999. Ordenamiento territorial: experiencias internacionales y desarrollos conceptuales y legales realizados en Colombia. Revista Perspectiva Geográfica, N° 4: 7-75. Escuela de posgrado en Geografía (EPG), Universidad Pedagógica y de Tecnológica de Colombia, sede Tunja.
- Matheron, G., 1963. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58: 1246-1266.
- McKee, T. B., N. J. Doesken y J. Kliest, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. En: Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology. 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. Pp. 179-184.
- McKee, T. B., N. J. Doesken y J. Kliest, 1995. "Drought monitoring with multiple time scales." Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology. 15-20 January, Dallas, TX. American Meteorological Society, Boston. p. 233-236.
- McKerchar, A. I. y C. P. Pearson, 1990. Maps of flood statistics for regional flood frequency analysis in New Zealand. *Hydrological Sciences Journal*, 35 (6): 609-21.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Ecosystem and Human well-being: Synthesis. Island Press. Washington, D. C.

- Medina, R. y F. Méndez, 2006. Inundación Costera originada por la dinámica marina. *I. T. N.*, (74): 68–75.
- Meijerink, A. M. J., H. A. M. de Brouwer, C. M. Mannaerts y C. Valenzuela, 1994. Introduction to the use of geographic information system for practical hydrology. International Hydrological Programme, UNESCO and ITC. Enschede, The Netherlands.
- Meli, R., D. Beltran y S. Santa Cruz, 2005. El impacto de los desastres naturales en el desarrollo: documento metodológico básico para estudios nacionales de caso. Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL.
- Mendoza, M. y L. Domínguez, 2006. Estimación del peligro y el riesgo de deslizamiento en laderas. En: Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Riesgos. Fenómenos Geológicos. CENAPRED, México, DF.
- Meylan, P. y A. Musy, 1998. Hydrologie fréquentielle. Edition HGA. Bucarest. 413 p.
- Ministerio del Medio Ambiente (MINAMBIENTE). 1998. Lineamientos para la Política Nacional Ordenamiento Ambiental del Territorio. MINAMBIENTE. Santafé de Bogotá.
- Moin, S. M. A. y M. A. Shaw, 1985. Regional flood frequency analysis for Ontario streams. Volume 1. Single station analysis and index method. . Inland Waters Directorate. Environment Canada. Burlington, Ontario.
- Moreno, A. R. y J. Urbina, 2008. Impactos sociales del cambio climático en México. INE-SEMARNAT Y PNUD. 71 p.
- Myers, R. H., 1990. Classical and modern regression with applications. PWS-Kent Publishing, Boston, Massachusetts.
- Nagarajan, R., A. Roy, R. Vinod Kumar, A. Mukherjee y M. V. Khire, 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58: 275-287.
- Navarro, C., A. Cortés y A. Téllez, 2003. Mapa de peligros del Volcán de Fuego de Colima. Universidad de Colima. Escala 1:100,000. Una hoja.
- Neri, C., 2010. Elementos para un Sistema de Alerta Temprana ante Sequías. Tesis de Maestría. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM. 105 p.
- Nieto, M., 1999. Cómo nos podemos defender. Revista Muy Especial. Catástrofes naturales No. 43. Septiembre-Octubre. España.
- Nyarko, B. K., 2002. Application of a rational model in GIS for flood risk assessment in Accra. *Journal of Spatial Hydrology*, 2 (1): 1-14.
- Olivera, J., A. García, E. Jaimez, B. Miravet y M. Núñez, 2009. Cartografía de los escenarios de peligros de inundación ante intensas lluvias mediante la aplicación de los sistemas de información geográfico en la cuenca hidrográfica Almendares–Vento. Mapping Interactivo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1539
- Organización de los Estados Americanos (OEA), 1991. Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Washington D.C.
- Organización de Estados Americanos (OEA), 1993. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. Una Contribución

- al Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales. Washington, D.C. <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/begin.htm#Contents>
- Organización Mundial de Salud (OMS), 2009a. Metodología y proceso de implementación para la generación de datos. E-Atlas para riesgos de desastres ejemplo de aplicación en México Volumen 1: la exposición a los peligros naturales. Instituto Nacional de Salud Pública. Centro Regional de Investigación en Salud Pública. OMS-VRAM (Vulnerability and Risk Analysis and Mapping). Version Julio.
- Organización Mundial de Salud (OMS), 2009b. Metodología y proceso de implementación para modelar la distribución espacial del peligro de calor. E-Atlas para riesgos de desastres ejemplo de aplicación en México Volumen 1: la exposición a los peligros naturales. Instituto Nacional de Salud Pública. Centro Regional de Investigación en Salud Pública. OMS-VRAM (Vulnerability and Risk Analysis and Mapping). Version Julio.
- Organización Mundial de Salud (OMS), 2009c. Metodología y proceso de implementación para modelar la distribución espacial del peligro de deslizamientos de tierra. E-Atlas para riesgos de desastres ejemplo de aplicación en México Volumen 1: la exposición a los peligros naturales. Instituto Nacional de Salud Pública. Centro Regional de Investigación en Salud Pública. OMS-VRAM (Vulnerability and Risk Analysis and Mapping). Version Julio.
- Ortiz, M. y A. Méndez, 1999. Vulnerabilidad del litoral a los efectos por ascenso del nivel del mar en las costas bajas del Golfo de México. *Revista Investigaciones Geográficas*, 39: 68-81.
- Pachauri, A. K. y M. Pant, 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering geology* 32: 81-100.
- Pachauri, A. K., P. V. Gupta y R. Chander, 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental Geology*, 36 (3-4): 325-334.
- Palacio-Prieto, J. L., L. Luna-González y L. Macías-Morales, 1999. Detección de incendios en México utilizando imágenes AVHRR (temporada 1998). *Investigaciones Geográficas*, 38: 7-14.
- Palfai, I., I. Petrasovits y L. Verems, 1995. Some methodological questions of the European drought sensitivity map. Proc. of the International Workshop on Drought in the Carpathians Region, 3-5 may. Budapest-Alsogod. p. 131-142.
- Palmer, W., 1965. Meteorological drought. US: Weather Bureau, Reserch Paper N° 45. Department of Commerce. Washington, D. C.
- Patz, J., H. K. Gibbs, J. A. Foley, J. V. Rogers y K. R. Smith, 2007. Climate Change and Global Health: Quantifying a Growing Ethical Crisis. *Eco Health*, 4 (4): 397-405.
- Pearson, C. P., 1991. Regional flood frequency analysis for small New Zealand basins. *Journal of Hydrology*, (NZ) 30 (2): 77-79.
- Pearson, R. G. y T. P. Dawson, 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12 (5): 361-371. <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>.
- Peduzzi, P., H. Dao y C. Herold, 2005. Mapping disastrous natural hazards using global datasets. *Natural Hazards*, 35: 265-289.
- Pérez, A., 2012. La integración de la gestión de riesgos en la gestión del desarrollo local desde la perspectiva de la vulnerabilidad ambiental en los territorios. *Revista desarrollo local sostenible*, 5 (13).
- Peterson, A. Townsend, 2003. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*, 78 (4): 419-433. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14737826>.

- Peterson, A. Townsend *et al.*, 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416 (6881): 626-629. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11948349>.
- Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. B. Araújo, 2011. Ecological niches and geographic distributions. Monographs in Population Biology. Princeton University Press. Princeton. 328 p.
- Petrasovits, I., 1984. Agrohidropotencial (Agrohydroptencial). Tudomány és Mezőgazdaság 1.
- Plan de acción regional para Centro América (PARCA) y Construcción de capacidades para la reducción de desastres naturales (CBNDR). 2000. Desarrollo de una metodología para la identificación de amenazas y riesgos a deslizamientos en la cuenca del río San Juan, República Dominicana.
- PNUD, 1991. Vulnerabilidad y evaluación de riesgos. PNUD. 1a. Edición.
- PNUD, 2004. La reducción de riesgos de desastres. Un desafío para el desarrollo. Un informe mundial. Dirección de Prevención de Crisis y de Recuperación. New York, USA. 146 pp.
- Programa Mundial de Alimentos (PMA)-Instituto de Planificación Física (IPF). 2001. Análisis y Cartografía de la Vulnerabilidad a la Inseguridad Alimentaria en Cuba. 143 p.
- PROMIC, 2006. Metodología para análisis de riesgos. Municipio de Tiquipaya. Cochabamba, Bolivia (Estudios de caso). Bolivia. 9 p.
- Proyecto RAP-CA Honduras, 2003. Aplicación de los SIG para el análisis de amenazas y riesgos naturales. Informe Final. 52 p.
- Ramakrishnan, S. S., V. S. Kumar, Z. Sadiq y K. Venugopal, 2002. Landslide zonation for hill area development. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/nhls-0013pf.htm.
- Ramsey, J., S. Ebener, R. Lozano, M. Casas, A. Orozco y J. Pinto, 2009. Atlas de peligros y vulnerabilidad social para desastres en la República Mexicana. Sistema de Información para la Prevención de Desastres Chiapas (<http://200.23.34.73/>). Seminario Gestión de Riesgos por Inundaciones a tres años del huracán STAN en Chiapas, 29-30 de Enero 2009. Tapachula, Chiapas. <http://200.23.34.73/ponencias/viernes/atlas.pdf>
- Reyes, R., M. Sánchez, T. Imbert, E. Landeiro y Y. Nuñez. 2009. Una aproximación al estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgos de inundación por intensas lluvias en dos sectores de ciudad de La Habana, Cuba. En Revista Mapping Interactivo. Junio-Julio. Artículo 1354.
- Ribera, L. 2004. Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. Doc. Anal. Geogr. 43: 153-171. Universitat de Girona. Departament de Geografia, Història i Història de l'Art. <http://ddd.uab.es/pub/dag/02121573n43p153.pdf>
- Riccardi, G. A. 1997. Elaboración de mapas de riesgo de inundación por medio de la modelación matemática hidrodinámica. *Revista Ingeniería del Agua*, 4 (3): 45-56.
- Richards, P., 1986. The utility of Landsat-D and other systems in disasters management. Washington, D.C.
- Rodríguez, C., A. Pérez, A. Boquet, L. Fabier, J. Mancebo, N. Díaz, T. Sandoval, E. Matos, *et al.*, 2005. Políticas de adaptación a la sequía actual y proyectada en la República de Cuba y la República Dominicana. PNUD Cuba. 172 p.
- Rodríguez, E. A., R. A. González, M. P. Medina, Y. A. Pardo y A. C. Santos, 2007. Propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río Las Ceibas (Neiva- Huila). *Avances en Recursos Hidráulicos*,

16: 65-78.

- Rogers, A., 1997. Vulnerability, and health care. *Journal of Advanced Nursing*, 26: 65-72.
- Rohde, K., 1992. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. *Oikos* 65 (3): 514-527. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/3545569>; Acceso 16 de Enero de 2012.
- Rojas-Soto, O. R., O. Alcántara-Ayala y A. G. Navarro, 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modeling approach. *Journal of Biogeography*, 30 (3): 449-461. <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2699.2003.00836.x>.
- Romero, G. y Maskrey, A., 1993. Cómo entender los desastres naturales. En: Maskrey, A. (Comp.). Los desastres no son naturales. LA RED-RESPDAL. Tercer mundo editores. p. 6-10. Colombia.
- Rondinini, C., K. A. Wilson, L. Boitani, H. Grantham y H. P. Possingham, 2006. Tradeoffs of different types of species occurrence data for use in systematic conservation planning. *Ecology Letters*, 9 (10): 1136-1145. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16972877>; Acceso 7 de Julio de 2011.
- Roth, R. A., 1983. Factors affecting landslide susceptibility in San Mateo County, California. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 20 (4): 353-372.
- Rothfus, L. P., 1990. The heat index-equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology. sr/ssd 90-23. Fort Worth, Texas. http://www.srh.noaa.gov/ffc/html/studies/ta_htindx.PDF; accessed 2 April 2007.
- Saaty, T. L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical Psychology*, 15: 234-281.
- Saaty, T. L., 1990. Decision making for leaders: the analytical hierarch process for decision in a complex world. RWS Publications. Pittsburgh, Pennsylvania.
- Salas M.A y M. Jiménez, 2004. Inundaciones. Serie Fascículos. CENAPRED.
- Samaniego, J. L. (Coordinador). 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Documento de proyecto de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. GTZ y CEPAL.
- Sánchez-Cordero, V., P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, S. Sarkar y A. T. Peterson, 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*, 126 (4): 465-473. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320705002703>; Acceso 11 de Junio de 2011.
- Sancho y Cervera, J., Z. F. Zavala, V. M. Sánchez y V. V. Martínez, 1980. Monitoreo de sequías y heladas. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Dirección de inventarios de agua y suelo. Proyecto IA800/. México. p. 14-16.
- Santodomingo, J., 2006. Índice Potencial de Inundación (IPI): Una metodología asociada para evaluar la vulnerabilidad ambiental presente en el perímetro urbano de la parte baja de la cuenca del río San Rafael producto de inundaciones rápidas o (Flash Floods), en Ciudad Bolívar, Municipio Heres, Estado Bolívar-Venezuela. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar-Venezuela. En: www.monografias.com
- Sanyal, J. y X. Xi Lu. 2003. Application of GIS in flood hazard mapping: a case study of Gangetic West Bengal, India. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/floods/ma03138.htm.

- Sarkar, S. y D. P. Kanungo, 2002. Landslides in relation to terrain parameters-a remote sensing and GIS approach. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/nhls-0010pf.htm;
- Sarkar, S. y C. Margules. 2002. Operationalizing biodiversity for conservation planning. *Journal of biosciences* 27 (4 Suppl 2): 299-308. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12177530>
- Sarma, P., 1999. Flood risk zone mapping of Dikrong sub basin in Assam. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/floods/nhcy0006pf.htm;
- Sarukán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo *et al.*, 2009. Capital Natural de México. Síntesis. Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 100 p.
- Schwalm, C., C. A. Williams y K. Schaefer. 2012. Hundred-Year Forecast: Drought. *The New York Times*. 12 de Agosto. 3 p.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), 2004. Atlas de Riesgos del Municipio de Manzanillo, Colima. Programa Habitat-SEDESOL y CENAPRED-FOPREDEN-SEGOB.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y Consejo de Recursos Minerales de México (COREMI). 2004. Guía metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a nivel de ciudad (Identificación y zonificación). Programa Hábitat. 138 p. .
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), 1997. México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 150 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2006. Manual del proceso del Ordenamiento Ecológico. SEMARNAT-INE. México, D. F.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (semarnat), Instituto Nacional de Ecología (INE) y UNAM, 2009a. Caracterización y Diagnóstico para el Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT). Informe final. IG, CIGA y CRIM. UNAM.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE) y UNAM, 2009b. Pronóstico para el Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT). Informe final. IG, CIGA y CRIM. UNAM.
- Seth, S. M., 1999. Role of remote sensing and GIS inputs in physically based hydrological modelling. <http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/overview/wato0006pf.htm>;
- Sheridan, M. F., G. Carrasco-Núñez, B. E. Hubbard, C. Siebe y S. Rodríguez-Elizarraráz. 2002. Mapa de Peligros del Volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba). Instituto de Geología, UNAM. Escala 1:25,000. Una hoja.
- Shrestha, M., 2004. Flood risk and vulnerability mapping using GIS: a Nepal case study. En: Proceedings of the Second APHW Conference, 5-8 July 1: 180-190. Singapore, Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources. <http://www.wrrc.dpri.kyoto-u.ac.jp/~aphw/APHW2004/proceedings/FWR/56-FWRA378/56-FWR-A378.pdf>; accessed 22 March 2007.
- Sidle, R.C., A. J. Pearce y C. L. O'Loughlin, 1985. Hillslope stability and land use. Resources Monograph Series No. 11. Water Washington DC. American Geophysical Union.
- Simos, J., 1990. Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Switzerland.

- Sinha, L. K., R. S. Paul y S. D. Mehta, 1999. Landslide hazard zonation in a part of Giri Basin, Sirmur district (H.P.) using remote sensing techniques and GIS. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/nhls0012pf.htm;
- Soberón, J. y A. T. Peterson, 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 359 (1444): 689-698. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1693343&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Soberón, J. y M. Nakamura, 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (Supplement 2): 19644. <http://www.pnas.org/content/106/suppl.2/19644.short>
- Soberón, J. M., 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33(1):159-167. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x/full>
- Steadman, R. G., 1979. The assessment of sultriness. Part 1: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*, 18: 861-873.
- Steadman, R. G., 1984. A universal scale of apparent temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 1674-1687.
- Stedinger, J. R., R. M. Vogel y E. Foufoula-Georgiou. 1992. Frequency analysis of extreme events. In: Maidment, D. A. (Ed.). *Handbook of hydrology*. Chapter 18. McGraw-Hill, New York.
- Stephens, C. R., J. G. Heau, C. González, C. N. Ibarra-Cerdeña, V. Sánchez-Cordero y C. González-Salazar, 2009. Using biotic interaction networks for prediction in biodiversity and emerging diseases. *PLoS ONE*, 4 (5): e5725. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2685974&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Stolte, W. y S. Dumontier, 1977. Flood frequency analysis for mountain and prairie streams. University of Saskatchewan and Alberta Environment.
- Storm, B., 1989. Introduction to hydrological modelling. Proceedings. Workshop on application of SHE model to sub-basins of River Narmada, Bhopal. p. 4-15.
- Suzen, M. L. y V. Doyuran, 2004. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 45: 665-679.
- Swanson, F. J. y C. T. Dyrness, 1975. Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. *Geology*, 3 (7): 393-396.
- Talib, J. A., 1997. Slope Instability and Hazard Zonation Mapping Using Remote Sensing and GIS Techniques in the Area of Cameron Highlands, Malaysia. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts3/ts3001pf.htm>.
- Tangestani, M. H., 2003. Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS, Kakan catchment area, Iran. http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/landslides/pdf/40.pdf;
- Thom, H. C. S., 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note Number No. 8: 16-22.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green *et al.*, 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427 (6970): 145-148. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14712274>.
- Thomas, J., 2000. Las amenazas naturales y el ordenamiento del territorio. Unas notas. Memorias del XVI Congreso Colombiano de Geografía. Cali (Valle) 17-20 de Agosto de 2000.

- , 2005. Amenazas, riesgos y planificación territorial. Un acercamiento metodológico. *Revista Perspectiva Geográfica* No. 11: 89- 126. Escuela de Posgrado en Geografía; UPTC, Tunja.
- , 2008. Propuesta metodológica para la evaluación de vulnerabilidad social ante amenazas naturales. Tesis de grado Maestría en Desarrollo Sustentable. Énfasis en prevención y atención de desastres. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Thuiller, W., 2007. Climate change and the ecologist. *Nature*, 448 (August).
- Tinajero, G. J., L. A. Huesca, V. V. Martínez, R. J. Morelos, H. J. Ruíz, M. F. Escalante y E. Díaz, 1986. Análisis de la sequía en México en el periodo 1976-1980. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. p. 33-51.
- Todini, F., T. de Filippis, G. de Chiara, G. Maracchi, M. L. V. Martina y E. Todini, 2004. Using a GIS approach to assess flood hazard at national scale. Presentation presented in European Geosciences Union, 1st General Assembly, Nice, France, 25-30 April 2004.
- Turrini, M. C. y P. Visintainer, 1998. Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. *Engineering Geology*, 50: 255-265.
- UNAM, Instituto de Ingeniería, 2003. Guía metodológica para el análisis del peligro, vulnerabilidad, riesgo y pérdidas causadas por desastres naturales o antropogénicos y su reducción y prevención. UNAM.
- UNDP, 2004. Reducing disaster risk. A challenge for development. New York, UNDP, Bureau for Crisis Prevention and Recovery. At http://www.undp.org/bcpr/whats_new/rdr_english.pdf. Accessed 22 March 2007.
- USACE, 1993. Hydrologic frequency analysis. Engineer Manual 1110-2-1415. US Army Corps of Engineers. Washington DC.
- USACE, 2001a. HEC-RAS river analysis system. Hydraulic reference manual.
- US Army Corps of Engineers (USACE), Hydrological Engineering Center. Davis, California.
- USACE, 2001b. HEC-RAS river analysis system. User's manual. US Army Corps of Engineers (USACE), Hydrological Engineering Center. Davis, California.
- US Department of Energy AREA NPHZ, 2002. Natural phenomena hazards design and evaluation criteria for department of energy facilities. Washington, D.C.
- US National Weather Service, 2007. Heat Index Chart. NWS Forecast Office. Birmingham, AL. Cached: 2007-04-04 18:13:32 http://www.webcitation.org/query.php?url=http://www.srh.noaa.gov/bmx/tables/heat_index.php&refdoi=10.1186/1476-072x-6-8
- Valdivia, H. y D. Núñez, 2004. Evaluación del riesgo ambiental de tipo físico natural y su relación con el planeamiento urbano. Caso: distrito de Comas. Planeamiento Urbano: Evaluación de Riesgos Ambientales de Tipo Natural. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 7 (13): 45-57.
- van Der Wal, J., L. P. Shoo, C. N. Johnson y S. E. Williams, 2009. Abundance and the environmental niche: environmental suitability estimated from niche models predicts the upper limit of local abundance. *The American Naturalist*, 174 (2): 282-291. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19519279>
- van Westen, C., A. C. Seijmonsbergen y F. Mantovani, 1999. Comparing landslide hazard maps. *Natural Hazards*, 20: 137-158.
- van Westen, C., 2003. Statistical landslide hazard analysis. <http://www.itc.nl/ilwis/applications/application05.asp>; accessed 11 April 2007.

- van Westen, C., S. Slob, L. Montoya de Horn, L. Boerboom y R. Vargas, 2003. Aplicación de SIG para la evaluación de la amenaza sísmica y el riesgo asociado: Kathmandu, Nepal. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC. The Netherlands.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. En: Schuster, R. L. y R. J. Krizek (Eds.). Landslides, analysis, and control. Transportation Research Board. Special Report 176. Washington DC.
- Venkatesh, B. y M. K. Jain, 1997. Application of TOPMODEL to Malaprabha catchment. NIH report CS/AR-3/97-98. National Institute of Hydrology. Roorkee, India.
- Viessman, W. Jr. y G. L. Lewis, 1996. Introduction to hydrology. Harper Collins College Publishers. New York.
- Vogel, R. M., 1986. The probability plot correlation coefficient test for normal, lognormal, and Gumbel distributional hypothesis. *Water Resources Research*, 22 (4): 587-90 y correcciones 23 (10): 2013.
- Vogt, J. V., A. A. Viau y F. Paquet, 1997. Mapping regional air temperature fields using satellite derived surface skin temperatures. *International journal of Climatology*, 17 (14): 1559-1579.
- Voogd, H., 1983. Multicriteria evaluations for urban and regional planning. Pion Press. London.
- Wachal, D. J. y P. F. Hudak, 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *Geojournal*, 51: 245-253.
- Well-being, H., 2008. Ecosystem Change and Research and Monitoring Priorities. Group (August).
- Wilches-Chaux, G., 1989. Desastres, ecologismo y formación profesional: herramientas para la crisis. Servicio Nacional de Aprendizaje, Popayán.
- Wilches, G., 1993. La vulnerabilidad global. En: Maskrey, A. (Comp.). Los desastres no son naturales. LA RED. Tercer mundo editores. Pp. 11-44. Colombia.
- Wilhite, D.A., 1997. Responding to Drought: Common Threads from the Past, Visions for the Future. *Journal of the American Water Resources Association*, 33 (5): 951-959. <http://www.drought.unl.edu/pubs/dawpubs.htm>
- Wilhite, D. A., 1997. State Actions to Mitigate Drought: Lessons Learned. *Journal of the American Water Resources Association*, 33 (5): 961-968.
- Willmott, C. J. y K. Matsuura, 1995. Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. *Journal of Applied Meteorology*, 34 (12): 2577-2586.
- WMO, 1975. Drought and agriculture. Technical Note No. 138. World Meteorological Organization. N° 392.
- World Health Organization y Centro Regional de Investigación en Salud Pública (WHO/CRISP), 2007. E-atlas de la OMS para riesgos de peligros, aplicación a México. Volumen 1: la exposición a los peligros naturales. VRAM-WHO y CRISP Tapachula-INSP.
- World Health Organization y Centro Regional de Investigación en Salud Pública (WHO/CRISP), 2009. E-atlas para los riesgos de desastres, aplicación a México. Metodología para la preparación del mapa de distribución de peligros sísmicos. VRAM-WHO y CRISP Tapachula-INSP. Actualización a julio de 2009. 14 p.
- Yesson, C., P. W. Brewer, T. Sutton, N. Caithness, J. S. Pahwa *et al.*, 2007. How global is the global biodiversity information facility?. *PloS ONE*, 2 (11): e1124. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2043490&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

- Young, K. C., 1992. A Three-Way Model for Interpolating for Monthly Precipitation Values. *Monthly Weather Review* 120: 2561-2569.
- Zaradnik, R., 2003. Consideraciones generales del riesgo sísmico y plan estratégico para enfrentarlo. 16 pp. En: www.monografias.com
- Zeze, J. L., A. B. Ferreira y M. L. Rodrigues, 1999. Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): conditioning and triggering factors. *Physics and chemistry of the Earth. Part A. Solid earth and geodesy*, 24 (10): 925-934.
- Zobler, L., 1986. A world soil file for global climate modeling. NASA Technical Memorandum. NASA Goddard Institute for Space Studies. New York.
- Zucchetti, A., V. Ramos, M. Alegre, Z. Aguilar, R. Arroyo y E. Tribut, 2008. Guía Metodológica para el Ordenamiento Territorial y la Gestión de Riesgos. Proyecto PNUD/UN Habitat "Apoyo a la rehabilitación de viviendas en el marco de un proceso de planificación de los asentamientos humanos y transferencia de capacidades en criterios y técnicas antisísmicas". www.grupogea.org.pe, Perú

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Los términos peligro, vulnerabilidad, riesgo y desastre se definieron anteriormente en el segundo capítulo por lo cual nos referiremos a otros términos empleados en el texto o en las referencias citadas.

Abanico aluvial: acumulación de materiales depositados por una corriente, con forma de cono o de abanico, que sale de zona de relieve abrupto (montañosa) hacia otra llana (planicie) y se expande.

Adaptabilidad: capacidad o habilidad de un grupo social de ajustarse a cambios ambientales con fines de supervivencia y sostenibilidad.

Alerta: estado que se declara, con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y para que la población tome precauciones específicas debido a la inminente ocurrencia del evento previsible. Además de informar a la población acerca del peligro, los estados de alerta se declaran con el propósito de que la población y las instituciones adopten una acción específica ante la situación que se presenta.

Alteración hidrotermal: es un proceso que afecta a rocas, debido a la acción de fluidos a altas temperaturas, muchas veces en las cercanías de cámaras magmáticas. Esta acción produce cambios mineralógicos y, a veces, estructurales en las rocas que se ven afectadas, dándoles muchas veces una coloración blanquecina, amarillenta y/o rojiza de acuerdo a los nuevos minerales presentes.

Amplitud de marea: altura que puede alcanzar la sobreelevación del nivel medio del mar.

Análisis de riesgo: en su forma más simple es el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

Avenida: la avenida se produce sobre los ríos y es el incremento del nivel del agua en el río debido a que fluye un caudal mayor al que normalmente presenta.

Azimut: ángulo medido a partir del Norte en el sentido de las agujas del reloj.

Batimetría: Representación de las profundidades de los cuerpos de agua, que tiene como fin determinar el relieve del fondo marino.

Bienes y servicios: son aquellas cosas tangibles e intangibles, de valor económico que reportan beneficio a quienes las poseen o usufructúan y que permiten la vida individual y en comunidad. Serán bienes cuando son susceptibles de apropiación, sea privada o pública, y servicios cuando su utilidad radica exclusivamente en su consumo.

Bloque volcánico: fragmento sólido lanzado en una erupción explosiva, y con un tamaño que oscila entre 6 centímetros y varios metros de diámetro.

Brecha sísmica: segmento o área de contacto entre placas, particularmente de tipo de subducción (p.ej. costa occidental de México) o de movimiento lateral (falla de San Andrés), en el que no se ha presentado un sismo de gran magnitud (mayor o igual a 7) en al menos 30 años. Actualmente, la brecha sísmica más importante en México es la correspondiente a la costa de Guerrero.

Caldera: gran depresión volcánica en forma de cubeta más o menos circular que mide más de 1.5 km de diámetro.

Cámara magmática: corresponde a la zona de almacenamiento del magma en la corteza debajo de los volcanes. Pueden ubicarse a muy diversas profundidades.

Campo de viento: es el patrón o distribución del viento dentro de la zona de influencia del ciclón tropical.

Características fisiográficas: Son los rasgos propios de cada cuenca y su cauce principal, tales como el área de la cuenca y la pendiente del cauce principal.

Carta batimétrica: Representación en un plano de la configuración del fondo de un cuerpo de agua, obtenida por medio de sondeos, líneas de contorno y tintas batimétricas.

Cauce: lecho de los ríos y arroyos por donde corren las aguas producidas por la precipitación.

Cenizas: partículas de roca volcánica, cristales o vidrio volcánico, generado durante las erupciones (diámetro menor que 2 mm).

Centro de emisión: lugar en la superficie por donde es emitido magma.

Ciclón: zona de perturbación atmosférica caracterizada por fuertes vientos que fluyen alrededor de un centro de baja presión. En el hemisferio norte el viento circula en sentido contrario a las manecillas del reloj y en el hemisferio sur a la inversa.

Cono de cenizas o piroclástico: colina de forma cónica formada por la acumulación de fragmentos piroclásticos (bombas, lapillis y cenizas) que caen al suelo en una condición esencialmente sólida.

Costa: región de confluencia del mar y la tierra, de extensión variable a causa de la acción del mar.

Cráter: depresión, generalmente en forma de embudo, situada en la parte superior o en los laterales de los volcanes por donde éstos expulsan lava y gases al exterior durante las erupciones.

Cuenca: es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia el mismo punto de salida

Curva de nivel: línea continua que forma una figura de la superficie del relieve. Todos los puntos de la curva de nivel están unidos a la misma elevación.

Daño: efecto adverso o grado de destrucción causado por un fenómeno sobre las personas, los bienes, sistemas de prestación de servicios y sistemas naturales o sociales.

Depósito de caída: fragmentos piroclásticos que han caído de una nube eruptiva.

Derrame fisural: salida de lava por una grieta o chimenea que no necesariamente es el cráter principal.

Domo: lava con forma de cúpula que crece en el fondo del cráter o en la cumbre de un volcán.

Edificio volcánico: es propiamente el cono que se forma por la acumulación de material expulsado a través del cráter y la forma es determinada por las proporciones de lava y elementos piroclásticos en el material de su composición.

Efectos directos: Aquellos que mantienen relación de causalidad directa con la ocurrencia de un evento o fenómeno físico, representados usualmente por el daño en las personas, los bienes, servicios y en el ambiente o por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas.

Efectos indirectos: Aquellos que mantienen relación de causalidad con los efectos directos, representados usualmente por impactos concatenados o posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el ambiente. Por ejemplo, pérdidas de oportunidades productivas, de ingresos futuros, etc.

Elementos en riesgo (expuestos): Es el contexto social, material y ambiental representado por las personas y por los recursos, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados por un fenómeno físico.

Emergencia: estado caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y que exige la atención o preocupación de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general.

Emisión: corresponde a la cantidad de magma emitido por unidad de tiempo durante una erupción o durante periodos dentro de una erupción. La viscosidad de una lava generalmente aumenta cuando la tasa de emisión disminuye, ya que al no mantenerse el flujo calórico, la lava comienza a enfriarse y, por ende, a solidificar, resistiendo más al desplazamiento del flujo.

Enjambre (de terremotos): serie de terremotos con epicentros en un área relativamente reducida, sin que uno de ellos llegue a tener una magnitud mucho mayor que lo distinga claramente del resto. Puede durar unos cuantos días o hasta varias semanas o meses. Pueden ser sentidos por pobladores cercanos sin que lleguen a representar un nivel alto de peligro.

Epicentro: punto en la superficie de la Tierra resultado de proyectar sobre ésta el hipocentro de un terremoto. Se encuentran usualmente en un mapa, señalando el lugar justo sobre el origen del movimiento sísmico.

Erosión: es el transporte de partículas sólidas por agentes externos, como son la lluvia y el viento.

Erupción explosiva: dramática erupción volcánica que lanza por el aire material que llega a cientos de kilómetros de distancia. La lava es baja en silicatos y puede ser muy peligrosa para la gente que se acerque. Un ejemplo es el Monte St. Helens en 1980.

Erupción freática: erupción volcánica o explosión de vapor, barro u otro material que no está incandescente; esta forma de erupción está motivada por el calentamiento y consiguiente expansión del agua contenida en el suelo debido a la cercanía de un fuente ígnea de calor.

Erupción: emisión de materiales volcánicos (lavas, piroclastos y gases volcánicos) sobre la superficie, tanto desde la abertura central, como desde una fisura o grupo de ellas.

Escala Saffir-Simpson: es la escala potencial de daños relacionada con cinco intensidades de huracán. Determina la velocidad del viento según la categoría de huracán, adicionalmente se asigna la presión central y la marea de tormenta que corresponde a la magnitud del viento típica de cada intensidad de huracán.

Escurrimiento: es el agua proveniente de la precipitación, circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Estratovolcán: es un volcán formado por capas de material fragmentario y corrientes de lava intercaladas.

Evaluación de la amenaza: es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

Evaluación de la vulnerabilidad: proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular.

Evento (perturbación): suceso o fenómeno natural, tecnológico o provocado por el hombre que se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. Es el registro en el tiempo y el espacio de un fenómeno que caracteriza una amenaza. Es importante diferenciar entre un evento potencial y el evento mismo, una vez éste se presenta.

Exhalación: emisiones de corta duración que pueden ser vapor de agua, gases y en ocasiones cenizas.

Falla: superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos ha habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.

Flujo piroclástico: mezcla de gases volcánicos y materiales fragmentados incandescentes, que descienden por los flancos de los volcanes a gran velocidad y con alto poder destructivo.

Foco: punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla. También nombrado como hipocentro.

Gasto o caudal: es la cantidad de escurrimiento que pasa por un sitio determinado en un cierto tiempo, también se conoce como caudal. Este concepto se usa para determinar el volumen de agua que escurre en un río.

Gestión de riesgos: proceso social complejo que conduce al planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción de riesgos a través de actividades de prevención, mitigación, preparación para, y atención de emergencias y recuperación post impacto.

Hidrograma: es la representación gráfica de la variación continua del gasto en el tiempo. Para cada punto del hidrograma se conoce el gasto que está pasando en el sitio de medición. El área bajo la curva de esta gráfica es el volumen de agua que ha escurrido durante el lapso entre dos instantes.

Hidrología: es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación, y distribución sobre y debajo de la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Huracán: es la etapa más crítica de un ciclón tropical, con alto grado de destrucción, después de ser tormenta tropical. El huracán tiene a su vez, cinco grados de intensidad con velocidades que varían entre los 118 y más de 250 km/h.

Intensidad (sísmica): número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del hombre. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, correspondientes a diversas localidades se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud que se refiere a la energía total liberada por el sismo.

Intensidad de precipitación: es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc.

Intensidad: medida cuantitativa y cualitativa de la severidad de un fenómeno en un sitio específico.

Intervención: modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir su amenaza o de las características intrínsecas de predisposición al daño de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad. La intervención intenta modificar los factores de riesgo. Controlar o encausar el curso físico de un fenómeno peligroso, o reducir su magnitud y frecuencia, son medidas relacionadas con la intervención de la amenaza. La reducción al mínimo posible de los daños materiales mediante la modificación de la resistencia o tenacidad de los elementos expuestos es una medida estructural relacionada con la intervención de la vulnerabilidad física. Aspectos asociados con planificación del medio físico, reglamentación del uso del suelo, seguros, preparación para emergencias y educación pública son medidas no estructurales relacionadas con la intervención de la vulnerabilidad social.

Isobara: línea que une puntos de igual valor de presión atmosférica.

Isosistas: líneas de contorno dibujadas en un mapa para separar un nivel de intensidad sísmica de otro.

Isoyetas: son líneas que unen puntos de igual precipitación.

Lahar: flujo de fragmentos de rocas, cenizas y barro que contienen suficiente agua para fluir pendiente abajo de las faldas de un volcán.

Lava: producto formado por la consolidación del magma.

Levantamiento topográfico: acción realizada para describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno.

Líneas (redes) vitales: infraestructura básica o esencial. Energía: presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos. Transporte: redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos. Agua: plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción. Comunicaciones: redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

Litosfera: cubierta rígida de la Tierra. Está constituida por la corteza y la parte superior del manto; su espesor promedio no excede 100 km. Se encuentra dividida en grandes porciones móviles llamadas placas tectónicas.

Longitud de onda: distancia entre dos puntos o fases sucesivos de una onda, por ejemplo crestas o valles

Magma: roca fundida en el interior de la corteza de un planeta que es capaz de realizar una intrusión en las rocas adyacentes o de una extrusión hacia la superficie. Las rocas ígneas se derivan del magma a través de la solidificación y los procesos asociados o mediante la erupción del magma sobre la superficie.

Magnitud (de un sismo): valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw).

Magnitud del viento: es el valor de la velocidad del viento.

Marea astronómica: movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso del nivel de las aguas de los mares y océanos, resultado de la atracción, por gravedad de La luna y del Sol. Este ciclo se repite cada 12 horas y 25 minutos, llevándose a cabo un desplazamiento horizontal de los límites del agua: el máximo o ascenso se denomina pleamar o marea alta, y el mínimo bajamar o marea baja.

Marea de tormenta: ascenso del nivel medio del mar, producido por la disminución de la presión atmosférica del centro del ciclón y los vientos de éste sobre la superficie del mar.

Marea: movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso del nivel de las aguas de los mares y océanos, resultado de la atracción, por gravedad de La luna y del Sol.

Mitigación (reducción): planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo. La mitigación es el resultado de la aceptación de que no es posible controlar el riesgo totalmente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias y sólo es posible atenuarlas.

Nivel medio del mar: plano de referencia o nivel cero, utilizado como base para la medición de altitudes y profundidades.

Ojo del ciclón tropical: zona de calma del ciclón, caracterizada por ausencia de viento y lluvia.

Oleaje: sucesión continua de olas.

Parteaguas: es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas

Pendiente del cauce: cuesta o declive de un cauce. Medida de la inclinación de un cauce.

Pérdida: valor adverso de orden económico, social o ambiental alcanzado por una variable durante un tiempo de exposición específico.

Periodo de retorno: es el tiempo que, en promedio, debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor a una cierta magnitud. Normalmente, el tiempo que se usa son años. En general, el evento analizado no ocurre exactamente en el número de años que indica el periodo de retorno, ya que éste puede ocurrir el próximo o dentro de muchos años.

Placa (tectónica): porción de la litosfera terrestre, de grandes dimensiones y espesor no mayor a 100 km, que se mueve con relación a otras partes de la litosfera sobre el manto terrestre. Las placas chocan en zonas de convergencia y se separan en zonas de divergencia.

Plan de contingencia: procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la manifestación o la inminencia de un fenómeno peligroso particular para el cual se tienen escenarios definidos.

Plan de emergencias: definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y simulación para la capacitación y revisión, con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad de la sociedad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso.

Plan de gestión de riesgos: conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos, que se formula para orientar las actividades de reducción de riesgos, los preparativos para la atención de emergencias y la recuperación en caso de desastre. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población.

Plano de falla: superficie de contacto entre dos bloques rocosos con movimiento entre sí.

Predicción (de terremotos): determinación del lugar, fecha y magnitud de un terremoto. Hasta ahora no se cuenta con un procedimiento que defina con seguridad estos tres parámetros.

Preparación (preparativos): medidas cuyo objetivo es organizar y facilitar los operativos para el efectivo y oportuno aviso, salvamento y rehabilitación de la población en caso de desastre. La preparación se lleva a cabo mediante la organización y planificación de las acciones de alerta, evacuación, búsqueda, rescate, socorro y asistencia que deben realizarse en caso de emergencia.

Presión atmosférica: acción que ejerce la masa de la atmósfera sobre la Tierra y los objetos que se encuentran en ella.

Presión central: es la presión registrada en el centro del ojo del huracán.

Prevención: medidas y acciones dispuestas con anticipación con el fin de evitar o impedir que se presente un fenómeno peligroso o para evitar o reducir su incidencia sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente. Una de las etapas de la fase del "antes" en el ciclo de los desastres, que consiste en evitar que ocurra el evento, reconociendo que en ocasiones es imposible evitar dicha ocurrencia.

Probabilidad de ocurrencia: es el número de casos favorables entre el número total de casos posibles en un suceso aleatorio.

Pronóstico: determinación de la probabilidad de que un fenómeno se manifieste con base en: el estudio de su mecanismo físico generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e

interpretación de señales o eventos premonitorios del fenómeno peligroso; a mediano plazo, basado en la información probabilística de parámetros indicadores de la potencialidad del fenómeno, y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable dentro de un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área afectable.

Radio de máximo viento: región donde se presentan los valores máximos de velocidades de viento.

Recuperación: proceso de restablecimiento de condiciones adecuadas y sostenibles de vida mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y la reactivación o impulso del desarrollo económico y social de la comunidad.

Red de drenaje: la red de drenaje de una cuenca está integrada por un cauce principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de las cuencas

Reducción de riesgos: medidas compensatorias dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existentes. Son medidas de prevención-mitigación y preparación que se adoptan con anterioridad de manera alternativa, prescriptiva o restrictiva, con el fin de evitar que se presente un fenómeno peligroso, o para que no generen daños, o para disminuir sus efectos sobre la población, los bienes y servicios y el ambiente.

Réplicas: terremotos menores que siguen a uno mayor, concentrados en un volumen restringido de la corteza.

Respuesta: etapa de la atención que corresponde a la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos casos, ya han sido antecedidas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población.

Riesgo aceptable: posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción. Es el nivel de probabilidad de una consecuencia dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación ante posibles fenómenos peligrosos.

Sismicidad: la ocurrencia de terremotos de cualquier magnitud en un espacio y periodo dados

Sismógrafo: instrumento de alta sensibilidad para registrar los movimientos de la superficie de la Tierra, en función del tiempo, causados por el paso de las ondas sísmicas. Al registro producido se le conoce como sismograma.

Sismología: El estudio de los terremotos; fuentes sísmicas, propagación de ondas a través de la Tierra, excitación del terreno en superficie y a profundidad, etc.

Sismómetro: elemento sensor de un sismógrafo, normalmente un péndulo suspendido.

Sismoscopio: sismógrafo elemental que sólo deja constancia de un movimiento del terreno relativamente intenso, sin marcas de tiempo.

Sistema de gestión de riesgos: organización abierta, dinámica y funcional de instituciones y su conjunto de orientaciones, normas, recursos, programas y actividades de carácter técnico científico, de planificación, de preparación para emergencias y de participación de la comunidad cuyo objetivo es la incorporación de la gestión de riesgos en la cultura y en el desarrollo económico y social de las comunidades.

Tasa de excedencia: registro del conteo de eventos que rebasan un umbral de velocidad del viento.

Tectónica de placas: teoría del movimiento e interacción de placas que explica la ocurrencia de los terremotos, volcanes y formación de montañas como consecuencias de grandes movimientos superficiales horizontales.

Terraza: es un tipo de muro de contención, que generalmente se construye del material disponible en el lugar (mampostería) y son de forma trapecial.

Terremoto (sismo o temblor): vibraciones de la Tierra causado por el paso de ondas sísmicas irradiadas desde una fuente de energía elástica.

Tirante: elevación de la superficie del agua sobre un punto en el terreno en obras hidráulicas, para formar con elementos de pequeño tamaño y peso, otros más grandes y pesados.

Tormenta tropical: categoría del ciclón tropical que alcanza después de ser depresión tropical a partir de ésta recibe un nombre propio. Puede alcanzar velocidades entre 62 y 118 km/h.

Tsunami: ola marina de gran magnitud producida por un maremoto o por una erupción volcánica en el fondo del mar. Esta ola puede recorrer grandes distancias. Su altura en altamar es aproximadamente de 30 centímetros pero al llegar a la costa puede alcanzar 30 metros o más.

Viento: moviendo del aire de la atmósfera determinado, por su magnitud o intensidad, su dirección y sentido.

Volcán: grieta o cualquier abertura en la superficie de la Tierra a través de la cual son extruidos productos tales como vapor de agua, piroclastos, lavas, gases, entre otros.

Volcán activo: se considera como volcán potencialmente activo aquel que ha tenido algún tipo de actividad eruptiva durante el Holoceno.

Volcánico: perteneciente o relativo al volcán.

ANÁLISIS DE RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO
Soluciones técnicas para incorporarlas en el ordenamiento territorial

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones
del Instituto EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche.

Composición, diseño y proceso editorial a cargo de Jorge Gutiérrez Lara.
Diseño de la cubierta a cargo de Juan Manuel Matú.



Análisis de Riesgo y Cambio Climático

Soluciones técnicas para incorporarlas
en el ordenamiento territorial