



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS - TRANSPORTE

DETERMINACIÓN DE ZONAS DE PELIGRO POR
DESLIZAMIENTOS DE LADERAS Y SU RIESGO ASOCIADO EN LA
RED CARRETERA DEL ESTADO DE PUEBLA

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ALMA GABRIELA LÓPEZ AZCÁRRAGA

TUTOR PRINCIPAL
DR. LUIS CHIAS BECERRIL
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM

MÉXICO, D. F. MARZO, 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Benito Sánchez Lara

Secretario: M.I. Héctor Daniel Reséndiz López

Vocal: Dr. Luis Chías Becerril

1er. Suplente: M.I. Luis Alejandro Guzmán Castro

2do. Suplente: Ricardo José Padilla y Sánchez

Lugar donde se realizó la tesis: México, D.F.

TUTOR DE TESIS

DR. LUIS CHÍAS BECERRIL



FIRMA

ÍNDICE GENERAL

i.	INTRODUCCIÓN	1
ii.	OBJETIVOS	3
1.	EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y SU INFRAESTRUCTURA	4
1.1	El sistema de transporte, su contribución al desarrollo de una región	4
1.2	La infraestructura del transporte	9
1.2.1	La red carretera	12
1.3	La competitividad de la infraestructura del transporte en México	13
1.3.1	La red carretera en México	18
1.4	Fenómenos que afectan la infraestructura del transporte	24
1.4.1	Peligros relacionados con la tectónica de placas	25
1.4.1.1	Sismos	25
1.4.1.2	Maremotos	26
1.4.1.3	Vulcanismo	27
1.4.2	Peligros relacionados con la dinámica bioclimática y las actividades humanas	29
1.4.2.1	Remoción en masa	30
1.4.2.2	Derrumbes	31
1.4.2.3	Flujos de corriente o lodos	32
1.4.2.4	Hundimientos y colapsos de suelos	32
1.5	Manejo de los desastres en la infraestructura del transporte en México	33
1.6	Desastres causados por deslizamientos de laderas en la infraestructura del transporte en México	39
2.	CONCEPTOS ASOCIADOS A LOS DESASTRES	41
2.1	Peligro	53
2.2	Riesgo	54
2.2.1	Elementos en riesgo	56

2.2.2 Tipos de riesgos	57
2.3 Gestión de Desastres	60
3. ANÁLISIS ESPACIAL DE PELIGRO Y DE RIESGO	63
3.1 Análisis de peligro y análisis de riesgo	63
3.2 Mapa de peligro	66
3.2 Mapa de riesgo	68
3.4 Análisis espacial de peligro debido a deslizamientos de laderas	71
3.4.1 Métodos de análisis cualitativos	72
3.4.2 Métodos de análisis cuantitativos	75
3.5 Análisis espacial de riesgo debido a deslizamientos de laderas	77
4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PELIGRO DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS	79
4.1 Mapas raster	80
4.2 Mapa de peligro debido a deslizamientos de laderas	87
4.3 Mapa de probabilidad de peligro de deslizamientos de laderas	88
5. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO CARRETERO Y POBLACIONAL DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS	90
5.1 Incorporación de red carretera y cálculo de densidad vial por superficie	91
5.2 Incorporación de poblaciones y cálculo de densidad de red vial por población	94
5.3 Cálculo de vehículos en riesgo	96
5.4 Cálculo de habitantes en riesgo	101
5.5 Mapa de riesgo debido a deslizamientos de laderas	102
5.6 Análisis por tramo carretero	104

6. CONSIDERACIONES FINALES 107

7. REFERENCIAS 110

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad cuando se piensa en realizar un análisis relacionado con la infraestructura del transporte y el medio natural, se piensa inmediatamente en impacto ambiental, es decir, en las repercusiones que estas obras imponen al medio físico, sin embargo, pocas veces se formula el planteamiento inverso, *¿de qué forma el medio ambiente natural influye en la infraestructura carretera?*

El impacto de los fenómenos naturales sobre la infraestructura carretera es más frecuente de lo que se piensa, tanto en términos de daños directos como en efectos indirectos, motivo por el cual determinar la ubicación geográfica de los peligros naturales a los que está sujeta la red carretera, así como el poder establecer qué tipo de riesgos se están gestando, constituyen recursos de información básicos para la formulación de las estrategias que debe comprender una gestión de riesgos en las redes carreteras del país.

Hablando en términos más específicos, un fenómeno natural que constantemente afecta el funcionamiento de las carreteras, en mayor o menor medida, es el llamado *“deslizamientos de laderas”*. Este proceso se ha convertido en los últimos años en un problema de especial atención en México debido a los daños que ocasiona al hombre y a las obras de infraestructura. Dadas las condiciones topográficas, geológicas y climáticas del país es un fenómeno recurrente a lo largo del año pero con gran aumento en las épocas lluviosas.

Ubicar espacialmente, analizar y evaluar el comportamiento de los fenómenos que afectan la infraestructura carretera es esencial en las fases de gestión de desastres. Por esta razón en el presente trabajo se presenta una propuesta de análisis espacial de peligro y riesgo debido a deslizamientos aplicado a la red carretera del estado de Puebla, apoyado en un Sistema de Información Geográfica. La razón de la elección de dicho estado se debió a la topografía que presenta y al ser sus carreteras una conexión importante entre la Ciudad de México y el Golfo de México.

En este trabajo se realizó una zonificación de peligro en el estado de Puebla, que muestra las áreas más propensas a ser afectadas por deslizamientos de laderas, y así poder conocer las vías carreteras, poblaciones y una estimación de la cantidad de vehículos vulnerables a sufrir daños, con el fin de ser un apoyo para realizar planes de prevención y mitigación de desastres, así como de atención a emergencias. Un esquema del planteamiento del proyecto se puede observar en la figura i.1.

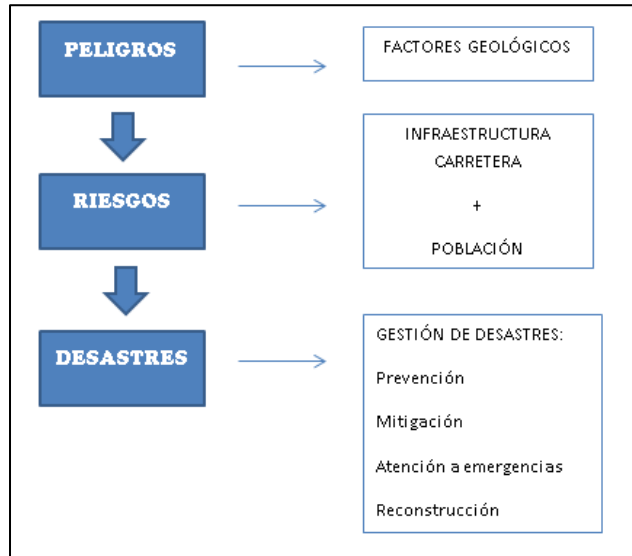


Figura i.1. Planteamiento del proyecto.

II. OBJETIVOS

PRINCIPAL

Identificar zonas de muy alta vulnerabilidad a deslizamientos de laderas para evaluar el impacto social que tienen estos procesos en la red carretera del estado de Puebla.

SECUNDARIOS

- ✓ Determinar zonas de baja, media, alta y muy alta peligrosidad por deslizamientos de laderas para el estado de Puebla.
- ✓ Calcular la cantidad de habitantes en zonas de muy alta peligrosidad.
- ✓ Cuantificar la cantidad de km de carreteras federales pavimentadas en zonas de muy alta peligrosidad.
- ✓ Estimar la cantidad de vehículos en riesgo.

1. EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y SU INFRAESTRUCTURA

1.1 EL SISTEMA DE TRANSPORTE, SU CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO DE UNA REGIÓN.

La necesidad de trasladar objetos y personas para satisfacer requerimientos que implican alimento, salud, exploración, recreación y otros, se ha convertido en una actividad fundamental para la sociedad, la cual consume una parte considerable de su tiempo y recursos.

El transporte supone movimiento, sin embargo, ello no implica que cualquier tipo de movimiento se identifique necesariamente con la función transporte. Cuando se habla de movimiento como la función esencial del transporte, se están implicando diversos elementos. Involucra todo un arreglo de objetos y personas, un concepto simple se convierte en uno multidimensional a lo que se le llama "sistema de transporte". En el campo de la ingeniería usualmente se considera que dicho sistema está constituido por cuatro elementos fundamentales: vehículos, vialidades, instalaciones terminales y sistemas de control que mueven carga y pasajeros (Sussman, 2002)¹. Ver Figura 1.1.

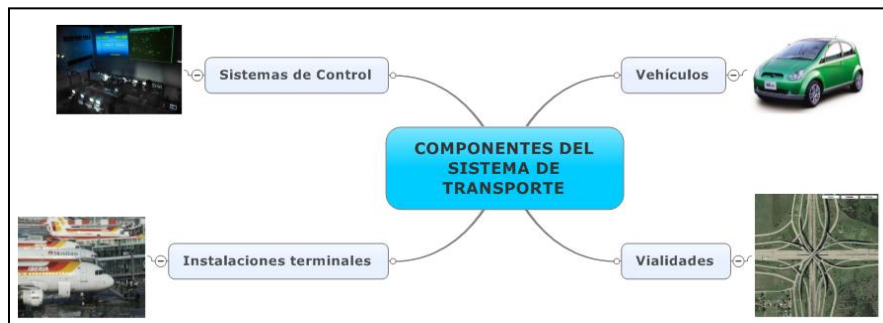


Figura 1.1. Componentes del sistema de transporte.

¹ SUSSMAN, Joseph. (2002). Transitions in the World of Transportation: A Systems View. Transportation Quarterly, Vol. 56, No. 1, Winter, Eno Transportation Foundation, Washington, DC,

Los vehículos son las unidades de carga que pueden variar en capacidad, velocidad, y flexibilidad. Las redes de transporte pueden ser naturales (agua o aire), naturales modificadas (canales en ríos) o artificiales (carreteras, vías férreas o canales). Las terminales son cualquier punto en el cual existe acceso a una vía o donde puede existir intercambio de modo de transporte. Por su parte los sistemas de control son aquellos que regulan o modifican las variantes que el sistema pudiera presentar.

Además el sistema de transporte no solo está constituido por estos cuatro elementos, existen los aspectos sociales, económicos, políticos, ambientales entre otros que se pueden citar como ejemplos de lo que involucra el transporte.

El estudio de éste se ha abordado desde varios puntos de vista, inicialmente como una rama de la ingeniería civil, en donde se enfocaba en el diseño y construcción de infraestructura física. Sin embargo a partir de 1960 esta perspectiva comenzó a cambiar y ahora el sistema se aborda desde un punto de vista social, económico, político y ambiental.

A este cambio Sussman² en 2002 lo llama transición de Énfasis profesional en infraestructura física a Énfasis Profesional en transportación como un sistema complejo, de gran escala, integrado y abierto llamado CLIOS por sus siglas en inglés (complex, large-scale, integrated, open system).

La idea de abordar el sistema de transporte de manera integral da pauta a la Ingeniería del Transporte la cual es definida por el instituto de Ingenieros de Transporte, ITE³, como *“Aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente”*.

A este enfoque además de los principios tecnológicos y científicos faltaría agregarle las cuestiones políticas, económicas, sociales que pueden surgir en cualquier ámbito del sistema y que pueden sacarlo de balance, sin olvidar la componente geográfica que es vital en su análisis.

² SUSSMAN, Joseph. 2002. Transitions in the World of Transportation: A Systems View, *Transportation Quarterly*, Vol. 56, No. 1, Winter 2002.

³ Institute of Transportation Engineers. 1991. Membership Directory, Washington, D.C., 1991.

Para entender más este sistema la Figura 1.2 refiere un ejemplo de cómo está constituido. El transporte no sólo es sus componentes sino también el entorno, todo lo que lo rodea, lo que lo afecta y lo que es afectado por él.

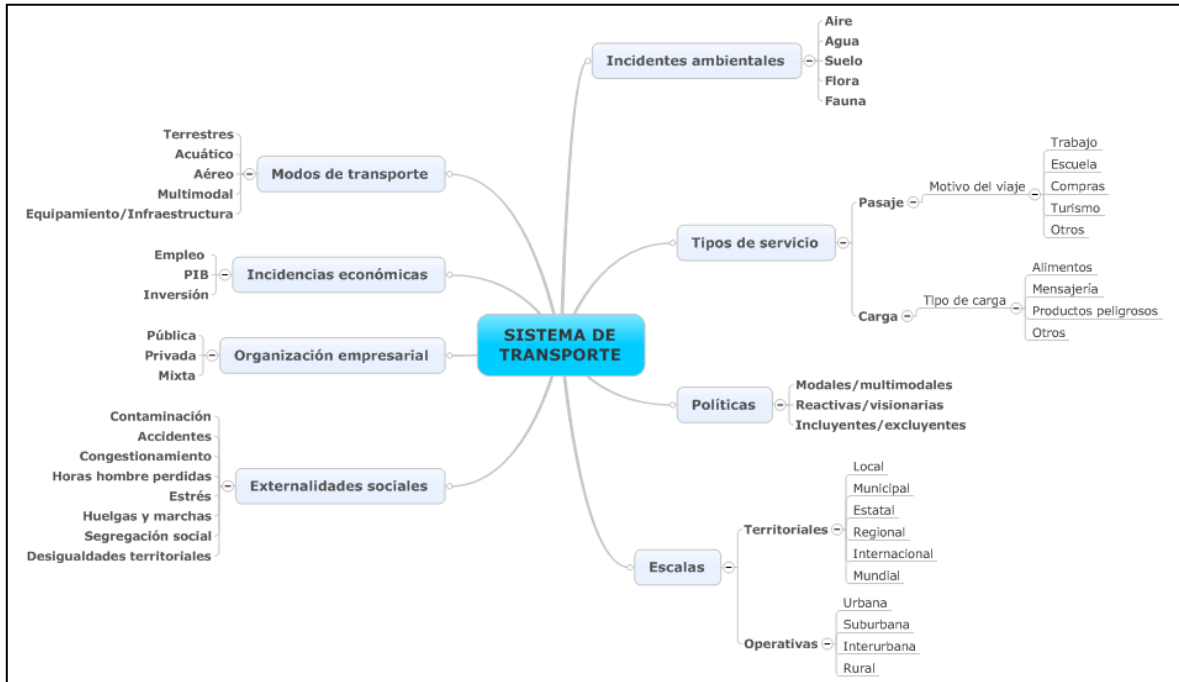


Figura 1.2. Sistema de transporte. Fuente: Chías Becerril, 2010.

Chías Becerril (2010)⁴ afirma que en el Sistema de Transporte se ven implicados aspectos territoriales, técnicos, económicos, operativos, normativos, ambientales y sociales.

Los aspectos territoriales, son los factores físicos, incluyen espacio para desplazamiento de vehículos; la localización y escala del sistema, es decir, si se está estudiando el sistema de transporte de una ciudad en particular o de todo un país; y factores que inhiben o facilitan la circulación.

Dentro de los técnicos se encuentran la infraestructura, como son las vías de comunicación, los estacionamientos, los paraderos carreteros, puentes, desniveles; además del equipamiento y el desarrollo tecnológico.

⁴ Chías Becerril. 2010. Seminario Transporte y Organización del Territorio. Instituto de Geografía, UNAM.

La oferta y demanda de productos y servicios inter o intrarregional son aspectos que tienen que ver con la economía. Además de tener que ver con el empleo e inversión en el sector.

Los aspectos operativos se refieren a la administración y la logística de los servicios. Mientras que los ambientales son de orden físico geográfico, es decir, la disposición del espacio, si hay montañas, ríos, la forma del terreno, el clima, la vegetación, la fauna y otros, estos pueden ser afectados por el sistema de transporte.

Finalmente los sociales se refieren a como son afectadas o beneficiadas las personas o como son afectadas por el funcionamiento del sistema de transporte, si son incluidas o rezagadas y si cumple con sus requerimientos.

La relación existente entre estos factores es bastante compleja, constantemente se están modificando y la balanza se inclina hacia uno u otro lado según sea el caso. Es decir, si se habla de cuestiones del tipo económico, la construcción y/o mantenimiento de vías podría verse afectada; el funcionamiento del sistema no lograría condiciones óptimas de funcionamiento debido a intereses políticos o sociales; o el sistema podría inclinarse hacia un solo modo de transporte y entonces acaparar los recursos.

El sistema de transporte, así como cualquier otro sistema debe tener un equilibrio de sus componentes para funcionar adecuadamente, cuando uno de ellos falla o alguna fuerza externa lo modifica comienzan a existir problemas en él. Es ahí donde la Ingeniería del Transporte es vital para atacar las dificultades que surjan y encontrar la mejor solución que lleve de nuevo al equilibrio.

Desde una perspectiva funcional, el transporte cumple tres funciones importantes: la accesibilidad espacial, la conexión con el sistema productivo y la propia actividad productiva (Seguí y Martínez, 2004)⁵. Las tres estarían relacionadas por una relación causa-efecto, ya que la conexión con el sistema productivo estaría determinada por la accesibilidad espacial y ambas, conexión y accesibilidad, vendrían a su vez, determinadas por la propia demanda del sistema productivo, necesitado de transportación por la demanda de desplazamiento.

El transporte además, ejerce una fuerza de ordenación territorial ya que tiene la capacidad para alterar, a partir de una posición inicial, la estructura geoeconómica de

⁵ Seguí, Martínez. 2004. Geografía de los Transportes. Universitat de les illes Balears. Editorial Graficas Planisi.

un espacio determinado, estimulando nuevos procesos de desarrollo o modificando los que ya están en curso (Voigt, 1954)⁶

“A cada época le corresponde, en función del modelo macroeconómico aplicado, un sistema de transporte particular y por lo tanto, una organización del territorio específica”
(Chias, 2010)

El transporte es entonces un elemento esencial en el desarrollo económico de la sociedad. Sin un buen sistema de transporte, ninguna región puede alcanzar el uso óptimo de sus recursos naturales o la máxima productividad de su población. La explotación de éstos y de los mercados, así como la conservación de un margen competitivo sobre otras regiones y naciones, están muy relacionadas con la calidad del sistema de transporte. La rapidez, el costo y la capacidad del transporte disponible tienen un impacto significativo sobre la vitalidad económica de un área y en la habilidad de obtener el máximo aprovechamiento de sus recursos naturales.

Cada país ha desarrollado su propio sistema de transporte según sus necesidades, la evolución de éste puede no ser tan eficientemente económicamente como el que se desarrolla de una manera más analítica pero en el primero cada una de las modalidades complementa a las demás para desplazar la carga y a los pasajeros (Garber y Lester, 2006)⁷.

El desarrollo de una región, independientemente de su tamaño, dependerá en gran medida de cómo funciona el sistema que se aplique, ya que dará posibilidades de transportar pasajeros y mercancías de un lugar a otro con o sin calidad, con mucho o poco tiempo, con o sin seguridad, con costos accesibles o por el contrario muy elevados a los usuarios. Todos estos factores impactarán de forma directa el avance o rezago económico y social de un territorio.

En el transporte participan muchos actores, desde autoridades y dependencias federales, estatales y locales, compañías privadas y usuarios de los servicios que ofrece, por ello es un ente involucrado en todas las actividades de las personas y se le debe dar la dimensión adecuada de su estudio, planeación y organización.

⁶ Voigt, Fritz, 1954. Economía del los Sistemas de Transporte. FCE; México, 1954.

⁷ Garber, Lester, 2006. Ingeniería de tránsito y de carreteras. Universidad de Virginia. Thomson. Tercera edición.

La necesidad de transportación actual es cada vez más grande, algunas de las razones son las diferencias geográficas en la distribución de los recursos, la necesidad de especialización productiva de poblaciones, las economías de escala, relaciones sociales y culturales, objetivos políticos, entre otros. Por ello la demanda ha tenido un aumento que no ha sido concordante con el crecimiento de la oferta que este sistema ofrece, lo que implica un reto a vencer para el transporte contemporáneo y los actores encargados de ofrecer sus servicios.

1.2 LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE

Se le denomina infraestructura al conjunto de elementos o servicios que están considerados como necesarios para que una organización pueda funcionar o para que una actividad se desarrolle efectivamente. Es la base de material de una sociedad y determina la estructura, desarrollo y cambio social de la misma.⁸

La infraestructura de un país incluye telecomunicaciones, energética, hidráulica, vivienda, comercio, industria entre otros y por supuesto la del transporte, siendo ésta, de los elementos del sistema de transporte, las redes y las instalaciones terminales.

Los niveles de competitividad de un país están estrechamente relacionados con el desarrollo de su infraestructura. En general, la buena calidad de la infraestructura puede ayudar a reducir la pobreza y la desigualdad al conectar comunidades marginadas a los mercados.

Uno de los aspectos más importantes para elevar la competitividad de los países es el adecuado funcionamiento de infraestructura ya que juega un papel importante en el crecimiento y aumento del potencial económico. La cantidad y calidad de la infraestructura hace una contribución importante a las tasas de productividad y crecimiento del sector privado. Particularmente críticos son la modernización de los

⁸ Diccionario de la lengua española. RAE. 22° edición, 2001

caminos, vías, puertos marítimos y aéreos, la oferta de energía eléctrica y adecuadas telecomunicaciones (Moreno, 2008)⁹.

Expertos en la materia señalan que la infraestructura será un imperativo para lograr la competitividad, la propia economía global presiona a los países para actualizar su infraestructura y así lograr ventajas competitivas. Mover de forma eficiente personas y bienes al interior y conectarse a los caminos globales llegará a ser esencial (Urban Land Institute)¹⁰.

La infraestructura del sector incluye varios elementos, el primer grupo son las redes, siendo para el modo terrestre las carreteras, autopistas, brechas, vías de ferrocarril, calles y avenidas de ciudades, puentes y caminos en general. Para el transporte marítimo serían las rutas marítimas mientras que para el transporte aéreo son las rutas aéreas.

Otro conjunto de elementos son los nodos constituidos por las terminales, puertos, aeropuertos, casetas de peaje, estaciones de tren o transporte público y centros intermodales.

Existe un tercer grupo que forma parte de la infraestructura, las señalizaciones, que son el señalamiento (horizontal y vertical), los dispositivos de control de tránsito (semáforos) y los dispositivos de seguridad (barreras de contención, bandas de alerta, etc.).

La oferta del transporte está definida por la capacidad de la infraestructura que cubre el territorio y puede ser expresada, ya sea en términos de infraestructura (red de carreteras y calles, red de ferrocarriles, puertos, aeropuertos), o bien en términos de servicios (plazas de transporte público, por ferrocarril, por metro, etc. (Seguí y Martínez, 2004)¹¹.

La capacidad de la infraestructura de un país debe ser acorde con la demanda que se tenga lo que implica que la construcción y mantenimiento de ésta deben ser constantes y adecuarse a las necesidades de los distintos tipos de usuarios del transporte, por ello debe ser accesible, flexible, segura y confortable.

La construcción de infraestructura del transporte entraña una serie de consecuencias en el desarrollo económico y social de la región que lo acoge, además de configurar el territorio.

⁹ Moreno Pérez, 2008. La infraestructura y la competitividad en México. Centro de estudios sociales y de opinión pública de la Cámara de Diputados, LX Legislatura. Documento de trabajo número 60. Noviembre 2008.

¹⁰ The Urban Land Institute and Ernst & Young, Infrastructure 2007. A global perspective. Washington D.C., 2007

¹¹ Seguí, Martínez. 2004. Geografía de los Transportes. Universitat de les illes Balears. Editorial Graficas Planisi.

El presente trabajo se centra en la infraestructura del modo terrestre, particularmente en las carreteras. Las cuales son vías destinadas para la circulación de vehículos públicos y privados en México. Es el sistema dominante del transporte de pasajeros y muy importante para la modalidad de carga en el ámbito regional.

Es el modo que engloba los mayores niveles de demanda en la distribución modal de pasajeros a escala mundial. Datos de la Comisión de Transporte de la Unión Europea (1997) indican que en el mundo existen 16,000 billones de pasajeros/km para el automóvil, 7,000 billones de pasajeros/km para el autobús y 1,900 billones de pasajeros/km para el transporte por ferrocarril. Estos tres medios abarcan casi el 90% de la demanda del transporte de pasajeros. El transporte aéreo se sitúa en los 2,800 billones de pasajeros/km, siendo los de menor uso el marítimo y fluvial, con 150 billones de pasajeros/km (Figura 1.3).

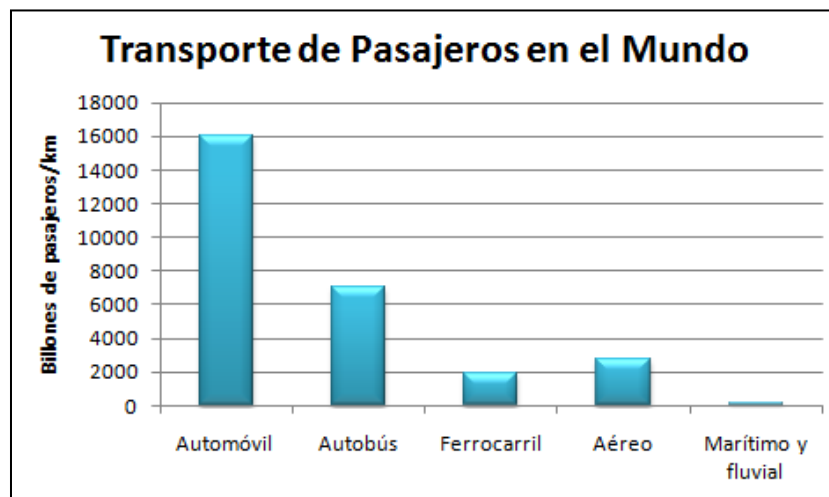


Figura 1.3. Transporte de pasajeros en el Mundo. Elaboración del autor. Fuente: Comisión de Transporte de la Unión Europea. 1997

Por lo que se refiere a las mercancías la distribución modal a escala mundial los datos son opuestos. El transporte marítimo se sitúa en 42,000 billones de ton/km, lo que representa el 70% de los movimientos, seguido por el transporte por carretera con 7,500 billones de ton/km que es un 13%, el ferrocarril por su parte moviliza 6,500 billones de ton/km (11%). En último lugar se encuentra el transporte fluvial con 2,000 billones de ton/km (Figura 1.4).

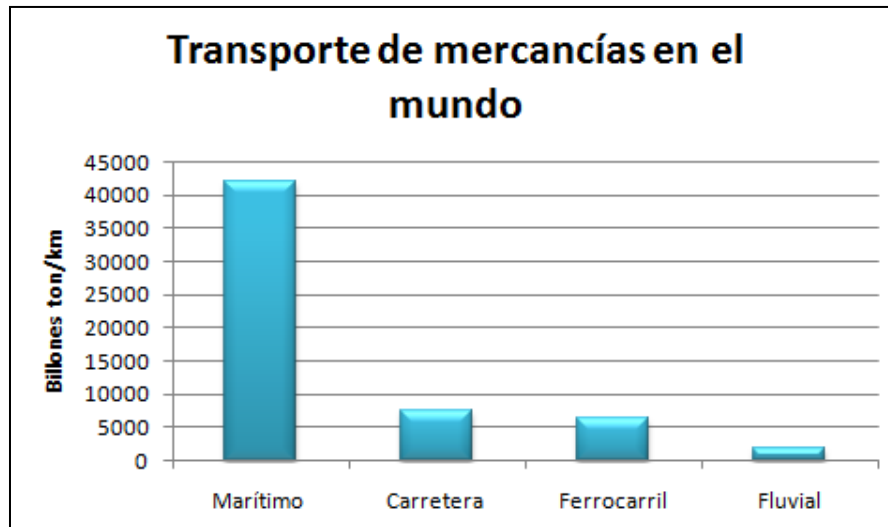


Figura 1.4. Transporte de mercancías en el mundo. Elaboración del autor. Fuente: Comisión de Transporte de la Unión Europea. 1997.

1.2.1 LA RED CARRETERA

El sistema carretero consiste en una red de caminos que están interconectados y que pueden clasificarse en rurales o urbanos y en troncales o recolectores (Garber y Lester, 2006)¹²

Cada camino tiene distintas características tanto de construcción, conservación y uso, sin embargo la elección de un usuario para transitar por un camino u otro dependerá de factor económico, tipo de viaje, estado físico, servicios.

En la actualidad el transporte por carretera ha vivido un incremento considerable de la demanda de vehículos, una progresiva flexibilización de las redes y un desarrollo notable del transporte urbano. Según la Comisión de Transporte de la Unión Europea en 1997 se comercializaron en el mundo 190 millones de vehículos y alrededor del 60% de los movimientos se produjo en las tres mayores áreas económicas del mundo, la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Además, dicha comisión afirma que el desarrollo del

¹² Garber. Lester. 2006. Ingeniería de tránsito y de carreteras. Universidad de Virginia. Thomson. Tercera edición.

transporte urbano ha supuesto que entre 1980 y 1998 un incremento de casi 10,000 millones de pasajeros/km transportados al año.

En la mayoría de los países del mundo el transporte carretero se ha convertido en el modo dominante para la movilización de personas y bienes (Hilling, 1996)¹³.

En cuanto a la demanda por parte de personas puede dividirse en dos grupos, el segmento de desplazamientos diarios por motivos de trabajo y el segmento que agrupa los viajes por placer. Ambos grupos generan en el mundo unos 23 millones de pasajeros/km, lo que representa el 80% de todos los desplazamientos de viajeros en el mundo para el conjunto de modos de transporte¹⁴.

Por lo que respecta a las mercancías, el transporte por carretera se muestra como el que mejor complementa al transporte marítimo. En el mundo el 13% de los movimientos de bienes se realizan por este medio¹⁵.

1.3 LA COMPETITIVIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN MÉXICO

El transporte es un elemento fundamental para cualquier país e influye en su desarrollo social, en su competitividad económica y en el intercambio comercial y cultural. En México, el transporte representa alrededor del 8% del PIB y emplea cerca de dos millones de personas (De Buen, 2009)¹⁶.

La inversión en transporte a lo largo del último sexenio ha tenido un aumento considerable en cuanto a construcción de vías de comunicación y mantenimiento de las existentes. En el marco de una planeación del transporte por parte del gobierno del país se lanzó el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012, el cual tuvo como objetivos principales elevar la cobertura, calidad y competitividad de la infraestructura; convertir a México en una de las principales plataformas logísticas del mundo, aprovechando su posición geográfica y la red de tratados internacionales; incrementar el acceso de la población a los servicios públicos, sobre todo en las zonas de mayores carencias; promover un

¹³ Hilling, David. 1996. Transport and developing countries. Routledge. London and New York, 1996.

¹⁴ Comisión Europea de Transporte, 1995. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/etif/index.htm

¹⁵ Comisión Europea de Transporte, 1995. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/etif/index.htm

¹⁶ De Buen Richkardy. 2009. Planeación estratégica de la infraestructura en México 2010 – 2035. Colegio de Ingenieros Civiles de México.

desarrollo regional equilibrado, dando atención especial al centro, sur y sureste del país; elevar la generación de empleos permanentes; impulsar el desarrollo sustentable y desarrollar la infraestructura necesaria para el impulso de la actividad turística (PNI, 2007)¹⁷

Asimismo se lanzó un Fondo Nacional de Infraestructura pretendiendo con éste ubicar a México dentro de los 30 líderes globales en infraestructura; convertir al país en una de las principales plataformas logísticas del mundo; promover un desarrollo regional equilibrado; elevar la generación de empleos permanentes e impulsar el desarrollo sustentable (BANOBRAS,2008)¹⁸. Los proyectos de infraestructura que financia el fondo son carreteras, puertos, aeropuertos, ferrocarriles, medio ambiente, turismo y agua.

La inversión, tanto privada como pública, en infraestructura del transporte en nuestro país es mayor en las carreteras, seguido por los puertos, después los aeropuertos y finalmente los ferrocarriles (Figuras 1.5 y 1.6).

Inversión Estimada por Fuente de Financiamiento			
2007-2012 (Sin el Sector Energía)			
(miles de millones de pesos de 2007)			
Sector	Recursos públicos	Recursos privados	Total
Carreteras	159	128	287
Ferrocarriles	27	22	49
Puertos	16	55	71
Aeropuertos	32	27	59
Telecomunicaciones	19	264	283
Total	253	496	749

Figura 1.5. Inversión en Infraestructura en México 2007-2012. Fuente: Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

¹⁷ Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

¹⁸ BANOBRAS, 2008. Fondo Nacional de Infraestructura. México, 2008. <http://www.banobras.gob.mx>

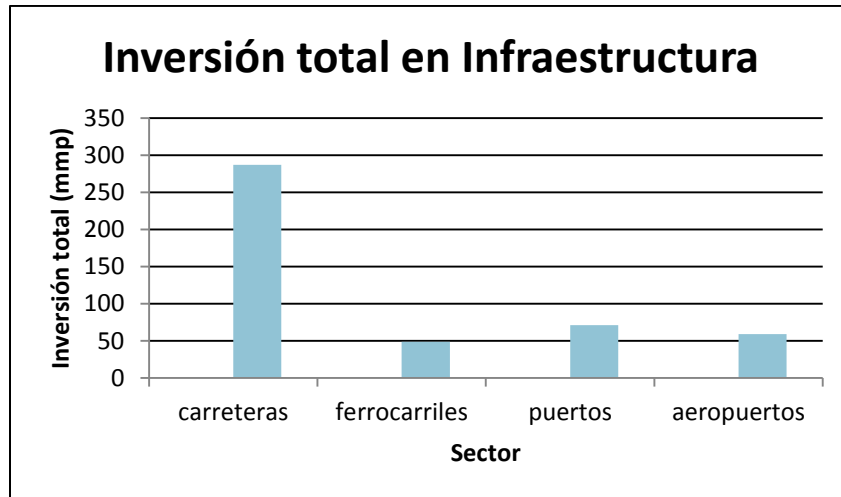


Figura 1.6. Inversión total en Infraestructura en México año 2007. Elaborado con datos de Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012. SCT

Datos del Foro Económico Mundial muestran cómo ha evolucionado el índice de competitividad en cuanto a infraestructura de México (Ver Tabla 1.1). Estas cifras muestran que el país ha estado oscilando dentro de un rango de posiciones, lo que el Foro Económico Mundial llama como un país en transición. Haciendo un análisis de estos datos se muestra que los objetivos que plantea el Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012 no se han cumplido del todo, ya que si se observa el primer y último datos se nota que en lugar de aumentar la competitividad, ésta disminuyó, de la posición 4.2 en los años 2006-2007 pasó a la posición 4.29 en el comparativo correspondiente a 2011-2012.

En términos generales los índices de competitividad señalan que cada año el país pierde posiciones con relación a los demás países que se comparan en el índice de competitividad del Foro Económico Mundial, lo que hace necesario realizar una planeación de acciones para optimizar las condiciones de calidad y de cantidad de infraestructura y así mejorar la posición de México respecto a los demás países.

Tabla 1.1. Global competitiveness. World Economic Forum

INDICE WEF World Economic Forum				
	2006-2007	2008-2009	2009-2010	2011-2012
Competitividad	52	60	60	58
Posición	4.2	4.2	4.19	4.29
Infraestructura	64	76	69	66
Posición	3.55	3.3	3.69	3.98

Índice WEF mide un componente llamado sectores precursores de clase mundial. Calcula la competitividad de 134 países y el índice va de 1 a 7, donde 7 es la mayor competitividad. Elaborado con datos del World Economic Forum establecidos en su reporte The Global Competitiveness Report correspondiente a los años 2006 a 2012.

Se han construido infinidad de nuevas obras y se ha dado mantenimiento a otras pero esto no ha sido suficiente, la infraestructura requiere de una planeación adecuada a mediano y largo plazo que trascienda los periodos gubernamentales y que se enfoque en impulsar las regiones del país y no en satisfacer intereses políticos.

Deben tomarse en cuenta la seguridad, la sustentabilidad y la utilidad para cada una de las obras, tanto nuevas como existentes, deben realizarse programas de prevención y reacción de contingencias de diversos agentes que afecten la infraestructura, debe monitorearse si se está cumpliendo con la planeación que se tuvo.

Otros indicadores del mismo Foro Económico Mundial ubican a México a nivel sectorial, en el año 2007, en el lugar 65 en ferrocarriles, 64 en puertos, 55 en aeropuertos, 51 en telecomunicaciones y 49 en carreteras. Esta evaluación se realizó con 142 países.

Para el año 2009 el país pasó del lugar 64 al 76, situado por debajo de países como El Salvador, Guatemala, Jamaica, Honduras, República Dominicana. En puertos se ocupó el lugar 94, la infraestructura ferroviaria el 72 y los caminos y carreteras la posición 66 en calidad pero la 18 en cantidad (Tabla 1.2). En el año 2011 la posición en la calidad de la infraestructura en general disminuyó del lugar 56 al 73 (Tabla 1.3) lo que resalta ya que si los trabajos enfocados a ella estuvieran teniendo resultados exitosos no se hubiera pasado a esa posición sino que se hubieran escalado lugares.

Tabla 1.2 Indicadores de infraestructura 2008-2009. World Economic Forum

Subíndices de infraestructura	Valor	Posición (De 142 países)
Calidad de infraestructura de transporte	5.0	56
Calidad de los caminos y carreteras	3.5	66
Calidad de la infraestructura ferroviaria	2.1	72
Calidad de la infraestructura portuaria	3.3	76
Calidad de infraestructura aérea	3.3	94
(Valores: 1= subdesarrollado, 7=extensivo y eficiente según los estándares del WEF)		

Fuente: World Economic Forum, *Assesing the Foundations of Mexico's Competitiveness: Finding from the global Competitiveness Index 2008-2009.*

Tabla 1.3 Indicadores de infraestructura 2010-2011. World Economic Forum

Subíndices de infraestructura	Valor	Posición (De 142 países)
Calidad de infraestructura de transporte	4.2	73
Calidad de los caminos y carreteras	4.3	55
Calidad de la infraestructura ferroviaria	2.6	68
Calidad de la infraestructura portuaria	4.0	75
Calidad de infraestructura aérea	4.8	65
(Valores: 1= subdesarrollado, 7=extensivo y eficiente según los estándares del WEF)		

Fuente: World Economic Forum, *Assesing the Foundations of Mexico's Competitiveness: Finding from the global Competitiveness Index 2011-2012.*

De acuerdo con las cifras, se puede concluir que se requiere una mejor planeación de los trabajos relacionados con la infraestructura del transporte. Aunque se tiene una buena posición en lo referente a la cantidad, la calidad no es la más idónea, no es óptimo tener muchos caminos si estos no cuentan con las condiciones adecuadas para quienes los usan en términos de seguridad y conectividad.

1.3.1 LA RED CARRETERA EN MÉXICO

La infraestructura en comunicaciones y transportes tuvo un gran impulso a partir de la década de 1920. La construcción de las carreteras modernas comenzó en 1925 con la creación de la Comisión Nacional de Caminos. Para los años de 1940 a 1952 se realizaron trabajos muy relevantes entre ellos destaca la primer autopista construida en el país que conectaba la Ciudad de México con Cuernavaca y la red contó con 2,000 km. En la década de los años sesenta se construyeron grandes proyectos como las autopistas México – Puebla, México – Querétaro y Tijuana – Ensenada. Mientras que en los años setenta se dio prioridad a la construcción y acondicionamiento de caminos rurales con lo que la red carretera llegó a 185,000 km.

Actualmente la red carretera tiene una extensión de 356, 000 km¹⁹ de los de los cuales el 35% están pavimentados, 43% son revestidos y los 22% restantes son terracerías y brechas mejoradas Es el medio dominante en el transporte de pasajeros y una de las principales modalidades de carga. En el año 1997 se transportaron 2,794,126 pasajeros y 401,900 toneladas de productos por las carreteras del país (*Chías Becerril, 2010*)²⁰.

Dentro del Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012 los objetivos en cuanto a la red carretera se centran en tres aspectos, el primero es dar prioridad a los tramos más transitados de la red y asegurar buenas condiciones de la red federal, en segundo lugar se pretende ampliar la extensión de caminos rurales y asegurar su mantenimiento y por último mejorar la calidad del servicio y seguridad así como reducir costos de operación para los usuarios.

¹⁹ Programa Sectorial SCT 2007-2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

²⁰ Chías Becerril, Luis. 2010. Instituto de Geografía, UNAM.

Para realizar esos objetivos, se propuso modernizar la red y construir más caminos centrándose en los corredores transversales y longitudinales para dar mayor conectividad a lo largo del territorio (Figuras 1.7 y 1.8). En el año 2006 se contaban con 8 corredores longitudinales y 6 transversales que brindaban conectividad al país. A partir del año 2007 y hasta el actual estos 14 corredores han sido modernizados y ampliados para brindar un mejor servicio a los usuarios.



Figura 1.7. Infraestructura carretera en México, 2006. Fuente: Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012 Secretaría de Comunicaciones y Transportes.²¹

²¹ Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Infraestructura en 2012^{1/}



Figura 1.8. Infraestructura carretera en México planeada para el año 2012. Fuente: Plan Nacional de Infraestructura Secretaría de Comunicaciones y Transportes.²²

²² Plan Nacional de Infraestructura 2007-2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

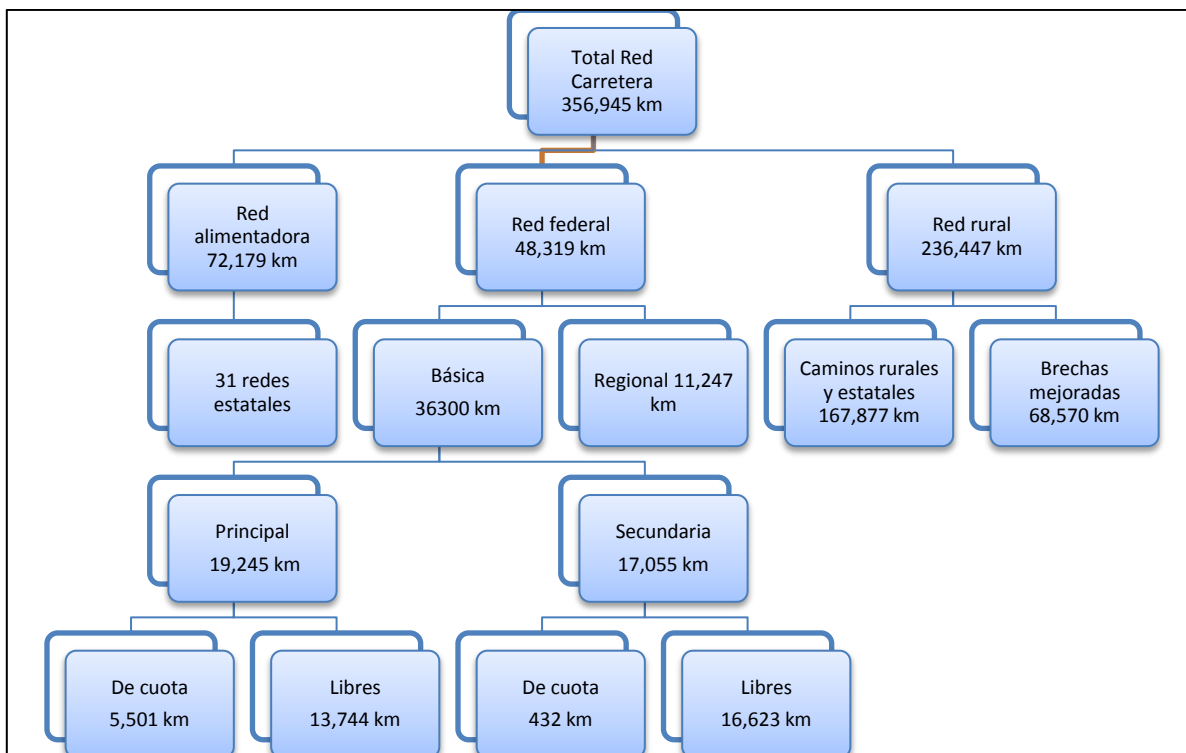


Figura 2.9. Clasificación de la red carretera actual. Fuente: Programa Sectorial SCT 2007-2012.

La red rural es la que cuenta con mayor kilometraje lo que indica que debe ponerse especial atención en estos caminos y generalmente es a los que menos se les asigna tiempo de estudio y recursos. Una buena red no puede llamarse así si alguno de sus componentes no cumple con los requisitos de calidad que se han establecido. Se debe tener total conocimiento de cómo está clasificada y regida la red para saber a qué instancias pertenece cada camino y actuar de acuerdo a su regulación (Tabla 2.4).

Realizar una modernización adecuada de la red implica el conocimiento exacto de los arcos más utilizados en todo el país, ya sea por transporte de pasajeros o de carga y una vez ubicados trabajar en mantenimiento preventivo para que esos tramos estén en óptimas condiciones no importando las externalidades que pudieran ocurrir. Asimismo asegurar las buenas condiciones de la red federal implica mantener bajo control esas externalidades, como son las condiciones medioambientales, sociales y económicas, lo que no puede llevarse a cabo sin el conocimiento adecuado de los eventos que

podieran ocurrir y tener un plan adecuado de acción ante ellos. Esto se vería reflejado en mejores condiciones de servicio y seguridad así como en la satisfacción del usuario.

Una red carretera eficiente en México no puede lograrse sin tomar en cuenta las distintas necesidades de todos los usuarios que la utilizan, hacer que estos servicios estén al alcance de toda la población, cubrir el territorio en su totalidad y mantener las componentes del sistema en equilibrio.

CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS SEGÚN LA SCT						
CLASIFICACIÓN	DEFINICION	TIPOS				
POR SU TRANSITABILIDAD	Corresponde a la construcción de las carreteras. Es la mas usada en cartografía.	Terracerías: cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.	Revestida: cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.	Pavimentada: cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.		
ADMINISTRATIVA		Federales: son costeadas íntegramente por la federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.	Estatales: son construidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportados por el estado donde se construye y el 50% por la federación. Estos caminos quedan a cargo de las juntas locales de caminos.	Vecinales o rurales: son construidos por la cooperación de los vecinos beneficiados pagando estos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la federación y el tercio restante el estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las antes	De cuota: quedan algunas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos y otras como las autopistas o concesionadas a la iniciativa privada por	

				llamadas juntas locales de caminos y ahora sistema de caminos.	tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.
TÉCNICA OFICIAL	Permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas.	Tipo especial: TDPA superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de T.P.D.) estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de 2 o 4 carriles en un cuerpo, designándoles A2 y A4, o empleando 4 carriles en 2 cuerpos diferentes designándosele s como A4, S.	Tipo A: TDPA de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).	Tipo B: TDPA de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de T.P.D.)	Tipo C: TDPA de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.)

Tabla 1.4. Clasificación de las carreteras, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1997.

1.4 FENÓMENOS QUE AFECTAN LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE

El Sistema Nacional de Protección Civil alude a grupos de fenómenos, según el tipo de agente que los produce, entonces éstos se clasifican en geológicos, hidrometeorológicos, químicos, sanitarios y sociorganizativos. Ver Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Tipos de peligros según el Sistema Nacional de Protección Civil.

TIPO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN
GEOLÓGICO	Son aquellos fenómenos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta. El CENAPRED los clasifica como sismicidad, vulcanismo, tsunamis y movimientos de laderas y suelos.
HIDROMETEOROLÓGICO	Son fenómenos relacionados al agua y el clima, se clasifican en granizadas, heladas, nevadas, inundaciones, huracanes y sequías.
QUÍMICO	Son riesgos derivados de actividades industriales y que involucran sustancias peligrosas, pueden ser clasificados como derrames, fugas, incendios, explosiones. También se incluyen los incendios forestales.
SANITARIO	Eventos relacionados con la contaminación del aire, agua y suelos, los que sean propios del área de salud, esencialmente las epidemias, también se incluyen algunos ligados a la actividad agrícola, como la desertificación y las plagas.
SOCIORGANIZATIVO	En esta categoría se agrupan ciertos accidentes y actos que son resultado de actividades humanas. Por un lado los accidentes relacionados con el transporte aéreo, terrestre, marítimo o fluvial; la interrupción del suministro de servicios vitales; los accidentes industriales o tecnológicos no asociados a productos químicos; los derivados del comportamiento desordenado en grandes concentraciones de población y los que son producto de comportamiento antisocial, como los actos de sabotaje o terrorismo.

Fuente: Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. CENAPRED, 2001.

De acuerdo con el propósito de este trabajo se abordarán los riesgos geológicos más a detalle, centrándose en los deslizamientos de laderas. De los peligros clasificados dentro de esta categoría se eligieron aquellos que por su presencia en el territorio nacional, características e intensidad son capaces de causar algún tipo de daño a la infraestructura del transporte. Se trata en consecuencia de un grupo de peligros de amplia cobertura espacial en México y que mantienen una presión latente sobre la infraestructura carretera en términos de riesgo. Estos fenómenos son:

- **Relacionados con la tectónica de placas:** Se trata de peligros que inhabilitan o destruyen porciones de la infraestructura carretera. Estos son sismos, maremotos, y fenómenos asociados a vulcanismo.
- **Derivados de los procesos anteriores y/o vinculados a la dinámica bioclimática y a la actividad humana:** Comprende los peligros que pueden destruir, inhabilitar o simplemente deteriorar la calidad de servicio de la infraestructura. Entre ellos se encuentran los derrumbes, flujos de lodo, colapsos de suelos y hundimientos.

1.4.1 PELIGROS RELACIONADOS CON LA TECTÓNICA DE PLACAS

1.4.1.1 SISMOS

Los sismos o terremotos son manifestaciones de la tectónica de placas. Son causados por una súbita liberación de energía acumulada lentamente por deformaciones a lo largo de una falla en la corteza terrestre. Los sismos representan una amenaza particularmente severa debido a los intervalos irregulares de tiempo entre eventos, imposibilidad de predicciones adecuadas, y los peligros asociados con ellos tales como el sacudimiento del suelo, las fallas en la superficie, los deslizamientos de tierra, la depresión de la superficie y los maremotos.

México se localiza dentro de la zona de sismicidad más alta del mundo, denominada "Cinturón de Fuego del Pacífico", donde se registran el 80% de los terremotos ocurridos en el mundo y se concentra una intensa actividad volcánica. El territorio nacional se

encuentra bajo la influencia de cinco placas tectónicas (Norteamérica, Pacífico, Cocos, Rivera y Caribe), de cuyos movimientos se derivan el alto grado de peligro sísmico y volcánico del país. El CENAPRED ha realizado un mapa de regionalización sísmica el cual muestra que la mayor actividad se encuentra en las costas del Pacífico. Figura 1.10.



Figura 1.10. Mapa regionalización sísmica de México. Fuente: Servicio Sismológico Nacional

Eso representa un peligro alto para las poblaciones e instalaciones costeras así como para la Cuenca de México debido a las condiciones del subsuelo. Otros casos corresponden a sitios en donde ciertos fenómenos locales (movimientos de laderas, desplazamientos permanentes del terreno por la presencia de fallas activas y licuefacción de suelos) pueden desencadenar consecuencias severas.

1.4.1.2 MAREMOTOS

La mayoría de los grandes terremotos ocurren bajo el Océano Pacífico provocando los llamados maremotos o tsunamis. El movimiento del piso oceánico provocado por un terremoto motiva la generación de ondas que se propagan a través del océano hasta arribar a la costa, en donde la altura de las olas puede llegar a ser bastante grande.

El mayor riesgo de maremotos en nuestro país, lo representan los movimientos sísmicos originados en la región de la Fosa Mesoamericana. Aunque en México el registro sistemático de estos fenómenos es reciente (alrededor de 50 años), se sabe que las costas del Pacífico Sur representan la región más expuesta.

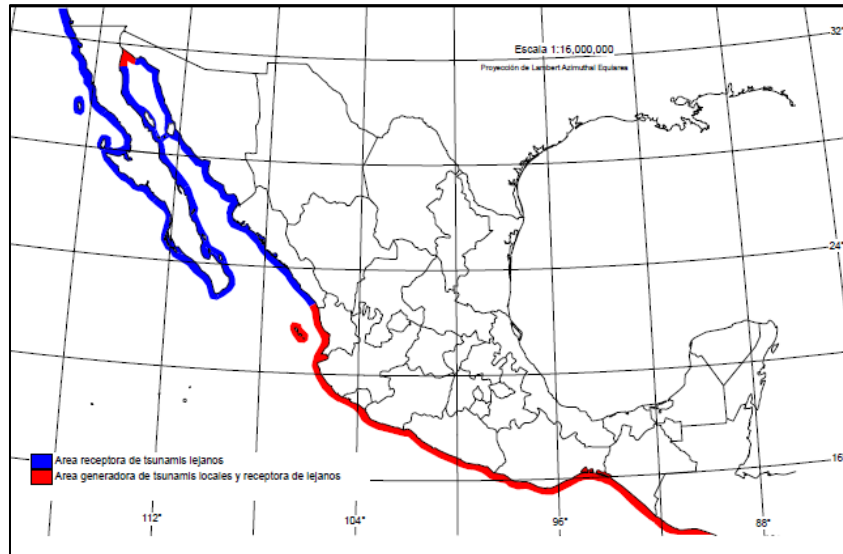


Figura 1.11. Zonas en peligro por maremotos. Fuente: Diagnóstico de peligros e Identificación de Riesgos de desastres en la Republica Mexicana. CENAPRED, 2001

1.4.1.3 VULCANISMO

Los peligros asociados con las erupciones volcánicas incluyen flujos de lava, lluvia de cenizas y proyectiles, flujos de lodo y gases tóxicos. La actividad volcánica también puede dar lugar a otros eventos naturales peligrosos incluyendo tsunamis locales; deformación del terreno; represamiento de ríos excediendo su capacidad y generando inundaciones; así como deslizamientos.

El vulcanismo en nuestro país se concentra a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana, la cual se relaciona con la actividad tectónica-volcánica de la región "Cinturón de Fuego del Pacífico". Figura 1.12.



Figura 1.12. Zonas volcánicas de México. Fuente: Dirección general de protección civil. México, 1997.

Tabla 1.6 Peligros asociados a las erupciones volcánicas

	MANIFESTACIÓN	PELIGRO ASOCIADO	VELOCIDAD	ALCANCE	EFECTO MÁS FRECUENTE
ERUPCIONES EFUSIVAS	Lava líquida	Flujos de lava	Baja	Corto	Destrucción del terreno
	Ceniza	Lluvia de ceniza	Media	Intermedio	Acumulación de ceniza
ERUPCIONES EXPLOSIVAS	Fragmentos de todos tamaños	Flujos piroclásticos	Muy alta	Corto a intermedio	Devastación
	Ceniza	Lluvia de ceniza	Media	Largo	Acumulación de ceniza
	Arrastre	Flujos de lodo	Media a alta	Intermedio a largo	Devastación
	Derrumbe o deslizamiento	Avalancha de escombros	alta	Intermedio a largo	Devastación

Fuente: Diagnóstico de peligros e Identificación de Riesgos de desastres en la República Mexicana. CENAPRED, 2001

1.4.2 PELIGROS RELACIONADOS CON LA DINÁMICA BIOCLIMÁTICA Y LAS ACTIVIDADES HUMANAS.

Los eventos asociados a la dinámica bioclimática, promovidos o acelerados, en ocasiones, por las alteraciones al medio físico-geográfico inducidas por la intervención humana, son los derrumbes, flujos de lodo, colapsos de suelos y hundimientos.

Si bien estos fenómenos son parte de los procesos naturales del modelado terrestre, el elevado incremento en su presencia es resultado de la degradación del medio ambiente a causa del uso inadecuado del territorio y de la sobreexplotación de los recursos naturales; lo que agrava el problema del riesgo que este tipo de fenómenos representan para los asentamientos humanos y las obras de infraestructura, de ahí la pertinencia de identificar y ubicar las áreas susceptibles de desarrollar este tipo de riesgos y conocer su dinámica a fin de tomar las medidas preventivas necesarias.

En México existen las condiciones naturales y de desarrollo social propicias para que se presenten problemas relacionados con la inestabilidad y el colapso de laderas. La presencia de una alta actividad pluvial activa aún más los movimientos como desprendimientos de rocas y corrimientos de tierras que causan serios daños a muchas localidades y a obras de infraestructura, entre ellas la red carretera nacional.

En la naturaleza el riesgo, de desprendimientos de masas rocosas y suelo, es latente. Los problemas de inestabilidad se presentan en zonas montañosas, donde las pendientes presentan diversos grados de inclinación. La inestabilidad puede definirse como la pérdida de la capacidad del terreno natural para sostenerse, lo que deriva en reacomodos y colapsos del mismo²³.

Los movimientos de laderas se originan por el decremento de la capacidad de las pendientes naturales para resistir las fuerzas de gravedad. A causa de las modificaciones geométricas del relieve dichas fuerzas entran en fases de desequilibrio, a la vez que ante la acción de otros fenómenos como escurrimientos y filtraciones de agua pluvial, el relieve se altera y modifica²⁴.

²³ CENAPRED, 2001. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastre en la República Mexicana.

²⁴ CENAPRED, 1996. Inestabilidad de laderas naturales y taludes. Fascículo 11. Sistema Nacional de Protección Civil.

Por otra parte, la creación de infraestructura del transporte, como intervención humana, puede motivar o acrecentar la ocurrencia de este tipo de fenómenos. La construcción de caminos puede favorecer la inestabilidad de laderas, especialmente cuando las limitaciones presupuestarias condicionan los cortes de laderas con pendientes inadecuadas. En caso de lluvias severas, se producen derrumbes que obstaculizan importantes vías de comunicación, cobran vidas y demandan recursos de las instituciones a cargo para el restablecimiento de las condiciones normales de operación de las vías.

1.4.2.1 REMOCION EN MASA

En la dinámica de la superficie del planeta, los procesos geomorfológicos de transporte se dividen en movimientos gravitacionales de masa, que son aquellos que son inducidos por la aceleración de la gravedad; y movimientos de transporte de masa, se trata de material transportado por agua, hielo o aire.

Los movimientos de remoción en masa son resultado de una compleja interacción de factores que pueden variar significativamente en tiempo y espacio, por lo que es importante conocerlos y comprenderlos, particularmente si se reconoce que los costos de los impactos que causan son muy elevados.

Los movimientos de remoción en masa se dividen en naturales y antrópicos. Los primeros se relacionan con las características geológicas del área, entre las cuales destacan: el clima, los aspectos geológicos, el tipo de suelo, las características sísmicas de la zona, la morfología del terreno y los procesos erosivos. Por su parte los antrópicos se vinculan con actividades humanas que modifican sensiblemente el medio ambiente, como son el crecimiento urbano sin control, los sistemas de transporte, de agua potable, drenaje, alcantarillado, pozos sépticos, represas, minas, etc, los cuales modifican la geometría del relieve e incrementan su susceptibilidad a desencadenar fenómenos capaces de causar desastres, en forma particular, derivados de la remoción en masa.



Figura 1.13. Afectaciones por remoción en masa en una carretera de la comunidad Juan Grijalva de Ostucán. Noviembre, 2007. Fuente: Diario meridiano 90.

1.4.2.2 DERRUMBES

Son deslizamientos de masas de roca pendiente abajo. Los deslizamientos de laderas naturales pueden causar daños diversos, por eso es importante su conocimiento tanto para fundamentar la localización correcta de distintas obras de infraestructura (puentes, carreteras, presas, etc), como para orientar la construcción de aquellas otras que se deben realizar a pesar de las dificultades impuestas por el desgaste de masas, íntimamente ligado a la meteorización y a la erosión. En la figura 1.14 se puede observar como un caído de roca bloquea parte de una vía carretera.



Figura 1.14. Ejemplo de caídos de roca en una carretera del municipio de Tecpan de Galeana, Guerrero. Agosto, 2011. Fuente: El Diario de Zihuatanejo.

1.4.2.3 FLUJOS DE CORRIENTE O LODOS

Estos fenómenos constituyen movimientos rápidos de una masa con consistencia de lodo. Las características del movimiento dependen fundamentalmente de la cantidad de agua contenida. De hecho, la presencia de muchos flujos de lodo empieza después de fuertes lluvias en las zonas montañosas, donde inician como corrientes lodosas, es decir, escurrimientos que van recorriendo y arrastrando materiales sólidos, hasta que la parte frontal de la corriente se convierte en una represa de lodo y pequeñas rocas, cuyo movimiento se va haciendo cada vez más lento y al llegar a una planicie la masa se derrumba. Son procesos particularmente peligrosos, debido a su capacidad destructora, tanto por los volúmenes de agua que pueden alcanzar como por la capacidad derivada que tienen para mover objetos grandes y pesados e incluso en ocasiones por la velocidad de deslizamiento que pueden alcanzar. En la figura 1.15 se ilustra este fenómeno.



Figura 1.15. Ejemplo de un flujo de lodo que bloqueó un camino en la comunidad de Eloxochitlán, Puebla. Mayo 2007. Fuente: USA Today

1.4.2.4 HUNDIMIENTOS Y COLAPSOS DE SUELOS

El hundimiento regional se manifiesta por el descenso de la superficie de una extensión determinada del terreno. Este fenómeno se encuentra asociado con la extracción excesiva de agua subterránea.



Figura 1.16. Hundimiento diferencial y agrietamiento del subsuelo de la ciudad de Aguascalientes, causados por la sobreexplotación de acuíferos. Fuente. CENAPRED

1.5 MANEJO DE LOS DESASTRES NATURALES EN LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN MÉXICO

Ante la ocurrencia periódica de muchos de estos fenómenos, anualmente se registran considerables daños a la red carretera del país, por lo que se estima que el costo es muy elevado y que esos montos suelen alterar significativamente los programas presupuestales de los espacios dañados y en ocasiones la economía nacional, debido a que los costos de reconstrucción superan las cantidades de recursos asignados a los fondos de contingencia. Para ilustrar esto en la tabla 1.7 se muestran algunos ejemplos que daños reportados a la infraestructura carretera nacional. Sin embargo se puede observar que la tabla presenta inconsistencias en los tópicos de registro, lo que confirma que la cuantificación de los daños no es aún parte de la cultura de estimación de los impactos derivados de un desastre.

Tabla 1.7. Ejemplos de daños causados por fenómenos naturales a la infraestructura del transporte.

AÑO	EVENTO	REGION AFECTADA	DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA	DAÑOS (MDD)
1982	Inundaciones	Todo el país	Daños por 185 millones de pesos	114.6
1982	Erupción Chichón	Chiapas	Carreteras de acceso cerradas por semanas	117
1985	Lluvias torrenciales	Nayarit	Tres carreteras	16.4
1988	Huracán Gilberto	Tamps, NL, Coah, Q. Roo, Yuc, Camp	Carreteras afectadas	76
1990	Huracán Diana	Ver, Pue, Hgo	Carreteras bloqueadas	90.7
1991	Inundaciones	Zacatecas	12000 comunidades incomunicadas, 2 puentes caídos	0.7
1991	Tormentas de invierno	BCS, Son, Sin, Chih	Daños en carreteras y puentes	16.8
1991-92	Tormentas de invierno	Nayarit	Varias carreteras dañadas	78
1993	Tormentas de invierno	Península Baja California	Daños en carreteras y puentes	
1995	Huracán Ismael	Península de Baja california, Son, Sin	Carreteras afectadas	26

1995	Huracán Opal	Campeche y Tabasco	Carreteras afectadas	124.7
1997	Huracán Paulina	Guerrero y Oaxaca	186 km carreteras pavimentadas 2210 km caminos rurales	447.8
1998	Lluvias torrenciales	Tijuana	Cierre parcial carretera Tijuana- Ensenada	600
1998	Lluvias torrenciales	Chiapas	712 km carpeta asfáltica dañados, 3600 km caminos rurales, 22 puentes colapsados y 18 dañados, 5 carreteras dañadas	602.7
1999	Inundaciones	Veracruz	Daños en vías de comunicación	216

Fuente: Bitrán, D. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99. Secretaría de Gobernación. CENAPRED y CEPAL, 2000.

Es claro que existe una falta de reconocimiento a la importancia de registrar los daños que son en si mismos el desastre y la resistencia a cuantificar los efectos indirectos, esto indica que existe una baja comprensión de estos problemas y por otra parte irresponsabilidad de las autoridades en la materia para actuar en estos casos. Establecer un patrón de registro es un paso fundamental para hacer frente a este problema, en donde medir los costos tanto directos como indirectos será necesario para asignar los recursos y crear los planes de acción cuando tienen lugar estos eventos.

Recientemente se ha llegado a reconocer que, para mejorar la protección contra estos fenómenos es necesario adoptar un enfoque global, que no sólo cubra los aspectos científicos y tecnológicos relativos al conocimiento de los fenómenos y al desarrollo de medidas para reducir sus efectos, sino que prevea esquemas operativos para apoyar a la población con medidas organizativas ´para que este preparada y responda de manera apropiada al embate de los fenómenos peligrosos.

Al conjunto de tareas que tienden a la reducción de los impactos de los desastres en México, se le ha denominado protección civil, y a la estructura organizativa para la realización de dichas tareas se le llama en México, Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).

En sus inicios, este tipo de organizaciones solo se dedicaban a la atención de emergencias, es decir, sus acciones eran reactivas. Actualmente, se reconoce ya la atención que se debe dar en la fase de prevención o mitigación, es decir, las acciones tendientes a identificar los riesgos y a reducirlos antes de la ocurrencia del fenómeno.

Dada la frecuencia de los daños a la infraestructura carretera por parte de los distintos peligros que amenazan su integridad y los costos que generan los desastres, la observación del problema se concentra en la fase de Atención a la Emergencia. Dentro de este contexto se creó en 1996 fue creado el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) con el propósito de atender a la población damnificada, así como los daños ocasionados por los siniestros, sin afectar o alterar los programas normales de las dependencias de la Administración Pública Federal.

"El Fonden tiene como objetivo atender los efectos de desastres naturales imprevisibles, cuya magnitud supere la capacidad de respuesta de las dependencias y entidades federales, así como de las entidades federativas. El Fonden es, por lo tanto, un complemento de las acciones que deben llevarse a cabo para la prevención de desastres naturales. Es por ello que, de forma independiente a la existencia y operación del Fonden, resulta indispensable que las dependencias y entidades federales, así como las entidades federativas, fortalezcan las medidas de seguridad y de prevención necesarias que ayuden a afrontar de mejor manera los efectos que ocasiona un desastre natural, incluyendo las acciones que permitan dar aviso oportuno y masivo a la población." (Sistema Nacional de Protección Civil, 2011)²⁵.

El texto del FONDEN corrobora que entre la mayoría de los responsables de la Gestión de Desastres, no hay claridad respecto a lo que significa prevenir y mitigar en términos concretos. En general se exhibe una concepción del problema situada en acciones reactivas en lugar de preventivas por lo que debe trabajarse en este aspecto.

²⁵ Sistema Nacional de Protección Civil. (2011). Lineamientos-FONDEN-2011, [en línea], Disponible en: <<http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/32/8/images/Lineamientos-FONDEN-2011>>.

El FONDEN establece que se debe verificar que sus recursos no sean solicitados para la reparación de daños ajenos al desastre en cuestión. En el caso de la infraestructura del transporte se consideran aplicables para el apoyo del FONDEN las carreteras y puentes federales libres de peaje a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; los caminos y puentes rurales del estado de Chiapas, los cuales permanecen a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en tanto no sean transferidos a dicha entidad federativa; las carreteras y puentes alimentadores a cargo de los estados y municipios; todos los caminos rurales del país; todos los elementos que integran la infraestructura portuaria como son: edificios, obras de atraque (muelles, canales, dársenas, etc.), obras de protección en los puertos (espigones, rompeolas, corazas o protección marginal, escolleras, deflectores, etc.) patios, vialidades del recinto portuario y vías férreas, y señalamiento marítimo.

Además de estos lineamientos el FONDEN establece una lista de eventos que son considerados como daños a cubrir, derivados de fenómenos naturales, estos son: bacheo intenso; desprendimiento total o parcial de la carga asfáltica; agrietamiento de carpeta asfáltica y expulsión de material fino en capas subyacentes; ondulaciones, roderas y deflexiones ocasionadas por asentamientos en la superficie de rodamiento; fallas rotacionales identificadas como asentamientos en la superficie de rodamiento con agrietamiento en los límites; erosión de taludes de la carretera por escurrimiento de agua sobre la superficie de rodamiento y en los propios taludes, con afectación parcial o total en carriles de circulación; invasión de azolves compuestos de materiales térreos o pétreos acarreados y depositados por el agua en la superficie de rodamiento y obras de drenaje; derrumbes; erosión de la estructura de la carretera por el paso de corrientes de agua o permanencia de tirantes de agua por tiempo prologando en zonas inundables; colapso o caída de puentes por cualquier causa incluida la socavación de sus apoyos y el agrietamiento de losas en zonas inundables; daños en señalamiento vertical y horizontal, así como en dispositivos de seguridad como defensas metálicas o parapetos; daños en alcantarillas, destrucción de aleros de mampostería o destrucción de taludes revestidos en obras de drenaje (lavaderos); fractura de losas de concreto en pavimento hidráulico; Asentamientos, baches y ondulaciones de la superficie de rodamiento en secciones en corte en zonas húmedas; erosión de accesos (aproches) en puentes y socavación de conos de derrame; erosión de taludes en carreteras por acción de oleaje; destrucción de

dispositivos de protección y encausamiento (muros, diques, espigones de enrocamiento o gaviones) en cauces naturales; cortes carreteros en el cruce de cauces naturales.

El FONDEN debe diferenciar los daños ocurridos no solo por fenómenos naturales sino clasificar aquellos que han sido producidos por la falta de mantenimiento, la cual se entiende bajo la óptica del uso eficiente de los recursos, pero en estricto sentido esos márgenes solo aplican en países con alta capacidad económica, lo cual no es el caso de México, en donde la explicación de la falta de mantenimiento a la infraestructura nacional, en este caso la correspondiente al transporte, obedece a recursos económicos escasos pero también a la desatención de las acciones preventivas.

Por su parte la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en sus distintas dependencias sólo atienden el problema en la parte de Atención de Emergencias y, Reconstrucción y Rehabilitación.

En este contexto, el Manual para la atención de Emergencias en la Red de Carreteras Alimentadoras y Caminos Rurales²⁶ elaborado por la Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional representa el único esfuerzo encontrado, donde explícitamente se reconoce el sistema y se sistematiza su atención. En este manual se señala que la infraestructura carretera en general enfrenta los efectos de la naturaleza pero los caminos alimentadores y rurales son especialmente vulnerables a estos efectos. Los daños ocasionados por fenómenos naturales representan, efectos directos, pérdidas significativas del patrimonio nacional al resultar afectada parcialmente la superficie de rodamiento, destruirse totalmente ésta, afectarse o destruirse las obras de drenaje menor o estructuras mayores.

Además en este manual se reconoce que las actividades preventivas son de gran importancia y en ellas se incluyen las acciones tendientes a identificar los riesgos y a reducirlos.

Las medidas relacionadas con la Atención de Emergencias como única estrategia para enfrentar el problema de los desastres resultan ineficientes y con un alto costo a la largo plazo; de modo que, de continuar con esta tendencia, no existirá ningún fondo suficiente para atender los desastres y menos aún si éstos dejan en consideraciones de mayor vulnerabilidad las áreas afectadas.

²⁶ Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional, 2000. Manual para la Atención de Emergencias en la Red de Carreteras Alimentadoras y Caminos Rurales. Subsecretaría de Infraestructura. SCT.

No existe un marco claro acerca de la Gestión de Desastres en México, existen el Sistema Nacional de Protección Civil e instituciones como el CENAPRED y el FONDEN pero no existe una visión de los desastres en conjunto ya que cada una atiende una porción del problema, por ello la necesidad de crear un programa que conjunte las acciones y las encamine a tener una visión global del tópico.

“La Atención de Emergencias debe ser entendida sólo como una fase de acción para enfrentar el problema, nunca, como el conjunto de medios suficientes para resolverlo” (García Ortega, 2003.²⁷)

Para la realización de las tareas relativas a la protección civil es esencial contar con diagnósticos adecuados para la toma de decisiones y actuación en caso de la ocurrencia de eventos que dañen a la población. Estos diagnósticos deben dar a conocer las características de los detonantes de eventos y las consecuencias que pueden tener y deben determinar la forma en que éstos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno.

El proceso de diagnóstico implica la determinación de los escenarios o eventos más desfavorables que pueden ocurrir, así como de la probabilidad asociada a su ocurrencia. Los escenarios tienen que incluir el otro componente del riesgo, que consiste en los efectos que los distintos fenómenos tienen en asentamientos humanos y en infraestructuras vulnerables a eventos (CENAPRED, 2001)²⁸.

²⁷ García Ortega, María., 2003. Sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras: gestión de desastres, concepto global para la seguridad del patrimonio carretero. Tesis para obtener el grado de Maestro en Geografía, asesor Luis Chías Becerril. UNAM, 2003.

²⁸ Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. CENAPRED, 2001.

1.6 DESASTRES CAUSADOS POR DESLIZAMIENTOS DE LADERAS EN LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN MÉXICO

Aun cuando en México los deslizamientos de laderas en zonas urbanas han ocurrido con frecuencia y desde hace varias décadas, no se cuenta aún con una base de datos que reúna información histórica, documentos o informes con la descripción de tales acontecimientos. En ciertos casos, es muy probable que la información exista pero generalmente se encuentra dispersa en instituciones relacionadas con la atención de estas emergencias. Entre dichas instituciones se pueden citar a la Comisión Nacional del Agua y sus filiales en los estados, las oficinas regionales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los departamentos de bomberos, las unidades estatales y locales de Protección Civil, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, etc. Otras fuentes importantes de información son las organizaciones no gubernamentales, los artículos en revistas o periódicos y las memorias de congresos organizados por sociedades técnicas o colegios de ingenieros.

En la tabla 1.8 se muestran algunos ejemplos de eventos asociados a deslizamientos y sus consecuencias en México. Observando la información existe una inconsistencia en la descripción de los eventos ya que mientras en algunos se dan cifras en otras solo se describen las consecuencias de una manera cualitativa. Se debe hacer esfuerzos por establecer un patrón de registro de estos eventos para tener una idea más clara de cómo afectan a la población.

Tabla 1.8. Ejemplos de deslizamientos en México.

FECHA	ESTADO	MUNICIPIO	DESCRIPCION
15 ene 2000	Veracruz	Cosautlán	3000 muertos por flujo de lodos
27 sep 90	Chihuahua	Chihuahua	15 derrumbes provocó la tromba, 45 muertos, 200 desaparecidos y 5000 damnificados
10 sep 90	DF	Anillo Periférico	Inundaciones, flujo de lodos y deslaves, decenas de vehículos provenientes de la zona montañosa, las aguas traían tierra y piedras que azolvaban el drenaje
8 mar 93	BCS, Sin	Cabo San Lucas	Las lluvias registradas provocaron deslaves y derrumbes e inundaciones en carreteras. En Cabo San Lucas, una unidad habitacional fue sepultada por lodo
7 ene 93	BC	Tijuana	Durante el paso de las avenidas, el agua alcanzó hasta 4 m de altura, en 2.5 h. La lluvia acumulada en 24 h fue de 86.90 mm, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años
9,10 nov 97	Guerrero	Acapulco	El huracán Paulina generó lluvias que causaron flujos de lodos. Las aguas arrastraban cualquier cosa a su paso, ocasionando inundaciones
9 sep 97	Jalisco	Lago de Chapala	Tromba en la ribera Norte del Lago, el fenómeno natural trajo consigo un arrastre de piedras y lodo
10 ene 97	BC	Tijuana	El volumen arrastrado por la avenida, en la cuenca "aguaje de la Tuna", fue de 38000 m ³ . La profundidad del agua fue de 1.5 m y la inundación duró 2 h.
9 sep 98	Chiapas	Motozintla, Villa Comaltitlán, Pijijiapan, Valdivia	Desbordamiento de los ríos Huixtla y Pijijiapan. Avalanchas de lodo a causa de las fuertes lluvias arrastrando todo a su paso
25 feb 98	BC	Tijuana	Dos muertos deja la sexta tormenta provocada por el fenómeno de El Niño, la lluvia provocó derrumbes de piedras y lodo, ocasionando el cierre de la autopista Tecate-La Rumorosa
5 jun 99	Puebla, Veracruz	Tezuitlán	Lluvias torrenciales ocasionan fuertes deslaves en la zona norte de Puebla y Veracruz, los daños mas severos en Tezuitlán. Aproximadamente 300 muertos entre las diferentes regiones.

Fuente: Diagnóstico de peligros e Identificación de Riesgos de desastres en la Republica Mexicana. CENAPRED, 2001

Es necesario desarrollar una metodología por parte de las instituciones involucradas para que se establezcan criterios de registro de este tipo de eventos y sus consecuencias en la infraestructura carretera ya que de ello depende que se conozcan con más certeza las zonas vulnerables y se puedan realizar planes de prevención adecuados.

2. CONCEPTOS ASOCIADOS A LOS DESASTRES

Los desastres repercuten cada vez con mayor fuerza en el desarrollo de las economías regionales. La destrucción de infraestructura productiva como son vías carreteras, instalaciones energéticas, obras para el abastecimiento de agua, etc., tiene un doble impacto, por un lado, se pierden costosas inversiones en regiones en donde la falta de capitales es un problema permanente y en donde además, la infraestructura existente es por lo general deficiente o insuficiente; reemplazar la infraestructura destruida significa desviar recursos que hubieran podido utilizarse en nuevas inversiones productivas o en el impulso del desarrollo social. Por otro lado, la pérdida de esa infraestructura paraliza o retrasa la actividad económica y social de la población afectada.

Desde 1960 los desastres alrededor del mundo se han triplicado y las pérdidas económicas debido a estos han aumentado alrededor de ocho veces (Munich, 2000)²⁹.

El estudio de fenómenos causantes de desastres³⁰ ha tomado relevancia por el aumento de la densidad de población, la urbanización acelerada y mal controlada (en América Latina la población urbana es de 76 por ciento³¹), la deficiencia de infraestructura física adecuada para contener estos eventos, la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas a ellos, las insuficientes y deficientes políticas públicas para actuar ante estos fenómenos, por lo que cada día se hace más necesario el conocimiento y la prevención de estos eventos y sus consecuencias.

Al mismo tiempo el número de muertes causadas por fenómenos naturales ha disminuido a la mitad por la gran asistencia técnica internacional en rescate de personas, ayuda humanitaria y preparación en cuanto a riesgos (Munich, 2000)³².

Hasta la década de 1970, la comunidad internacional consideraba la ocurrencia de desastres como circunstancias excepcionales, su gestión solo se enfocaba a responder a ellos después de haber sucedido y eran manejados por instituciones de defensa civil, la cruz roja, media luna roja internacional y organizaciones voluntarias privadas. Sin

²⁹ Munich Re. 2000. Topics: Natural Disasters. Munich: Munich Reinsurance Company.

³⁰ Desastre: Evento destructivo que afecta significativamente a la población, en su vida o en sus fuentes de sustento y funcionamiento. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. CENAPRED, 2001.

³¹ World Bank. 2001. Honduras At A Glance. Country Assistance Strategy for El Salvador. Washington, D.C.

³² Munich Re. 2000. Topics: Natural Disasters. Munich: Munich Reinsurance Company.

embargo, a finales de esta década y principios de la siguiente la necesidad de preparación y la relación entre el desarrollo y los desastres se volvió más fuerte (Posas, 2004)³³.

En 1994 la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres lanzó la Declaración de Yokohama³⁴ en la que se reconoció que la mayor parte de los impactos negativos producto de desastres en el continente americano son debido a los enfoques del desarrollo social. Esto significa que en los lugares donde existen condiciones económicas desfavorables existe una mayor probabilidad de que un fenómeno natural derive en desastre. Por otro lado en 1999 las Naciones Unidas elevó el perfil de los desastres naturales declarando la década de los noventa como la “Década Internacional para la Reducción de los Desastres”. Sin embargo, tanto entonces como ahora, las políticas nacionales para la mitigación del riesgo de desastres han sido limitadas, sobre todo en países del llamado tercer mundo.

Fragmento del Mandato de Ginebra sobre la Década Internacional para la Reducción de los Desastres”

"Nosotros, participantes en el Foro del Programa Internacional del DIRDN – Establecimiento de compromisos para la reducción de desastres en el siglo XXI, reconocemos que el mundo se ve amenazado cada día más por desastres de gran magnitud debido a fenómenos naturales que tienen consecuencias sociales, económicas y ambientales negativas a largo plazo para nuestras sociedades y reducen nuestra capacidad para alcanzar desarrollo sostenible y lograr inversiones, sobre todo en los países en desarrollo. Debemos tomar medidas decididas hoy para garantizar que podamos legar un mundo más seguro a las generaciones futuras. Debemos consolidar el progreso alcanzado durante el Decenio, con vistas a asegurar que la gestión de los riesgos y la reducción de los desastres pasen a ser elementos esenciales de las políticas de los gobiernos”

Figura 2.1. Fragmento del Mandato de Ginebra. Fuente: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. <http://eird.org/esp/acerca-eird/marco-accion-esp.htm>

³³ Posas, Paula; Bender, Stephen; 2004. Managing Natural Hazard Risk: Issues and Challenges. OAS – Unit for Sustainable development and environment. Policy series, number 4. September, 2004.

³⁴ La Declaración de Yokohama es producto de la labor colectiva de 155 países y territorios que participaron en la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales celebrada en Yokohama, Japón, del 23 al 27 de mayo de 1994. Agrupaciones nacionales, regionales e internacionales analizaron medidas destinadas a reducir las consecuencias de los desastres en el mundo actual y los medios apropiados para crear la voluntad de trabajar con empeño y a largo plazo para la reducción de los desastres. En la Conferencia se examinó, a mediados de la Década Internacional de Reducción de los Desastres Naturales, lo que la comunidad científica y técnica, los gobiernos nacionales, los organismos regionales y las organizaciones internacionales han hecho para prevenir y mitigar los desastres o para prepararse con antelación.

El manejo de los desastres, en términos generales, para los países industrializados el problema en el manejo de los desastres es fundamentalmente de carácter logístico, en cambio en los países subdesarrollados, si bien la logística constituye un factor clave para la atención de emergencias, el problema es de fondo, dado que en estas áreas, los desastres evidencian y agudizan las amenazas contra la vida, los bienes y las oportunidades de los habitantes de las comunidades afectadas, que de manera activa o potencial están presentes en su medio ambiente (Wilches-Chaux).³⁵

El continente americano ocupa el segundo lugar, después de Asia, en promedio anual de frecuencia de ocurrencia de eventos naturales peligrosos (Posas, 2004)³⁶, esto se combina con la vulnerabilidad generalizada de las poblaciones generada por el subdesarrollo. Entre 1990 y 2000 en América Latina, los desastres afectaron a más de 40 millones de personas, causaron la muerte de unas 45 mil y provocaron daños directos de más de veinte mil millones de dólares (Inter-American Development Bank, 2000).

Los países latinoamericanos han estado haciendo la transición de tres décadas de preparación de emergencias y respuesta reactiva a un enfoque más integral que incluye reducir activamente la vulnerabilidad de la infraestructura existente y nueva a peligros naturales. Algunos países han modernizado sus instituciones de desastres, otros están revisando sus políticas y uniéndose a organismos regionales de coordinación y prevención de desastres. Algunos otros están comenzando a hacer frente a los obstáculos estructurales con el fin de mejorar la gestión del riesgo, incluyendo el uso escaso de la información adecuada del riesgo por los tomadores de decisiones, la participación mínima del sector privado en la prevención y gestión de riesgos, la falta de integración de técnicas de prevención y mitigación así como la falta de operaciones por parte de las instituciones dedicadas a manejar el riesgo.

Entre ejemplos de desastres en Latinoamérica, se puede mencionar el Huracán Mitch que causó pérdidas por más del diez por ciento del PIB centroamericano para 1998 y demostró la vulnerabilidad de diversos sectores. El sector productivo presentó pérdidas en un 85.6%, el sector primario (agricultura, pesca, ganado y silvicultura) tuvo pérdidas en un 49%, mientras que la destrucción de carreteras, puentes y vías de tren se elevó a más de

³⁵ Wilches-Chaux, 1993. La vulnerabilidad global. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. oct. 1993.

³⁶ Posas, Paula; Bender, Stephen; 2004. Managing Natural Hazard Risk: Issues and Challenges. OAS – Unit for Sustainable development and environment. Policy series, number 4. September, 2004.

mil millones de dólares y representaron el 17.8% de las pérdidas totales (ECLACL, 1999)³⁷. Mitch no solo afectó a los sectores económicos más importantes también a las poblaciones tanto urbanas como rurales.

Otro ejemplo son los terremotos de El Salvador en 2001 (a partir de 7.6 escala de Richter), que dañaron 30 mil granjas y 20% de las plantas productoras de café, afectando gravemente los medios de ingresos para las familias rurales. El 40% de las escuelas del país fueron dañadas y un cuarto de infraestructura de salud fue destruido. Los terremotos interrumpieron el transporte en la Carretera Panamericana y en 500 caminos rurales y se agravó la degradación ambiental (World Bank, 2001)³⁸.

Brasil, Chile, Venezuela, Ecuador, Colombia, Cuba, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala y México están entre los 28 países de todo el mundo que han sufrido pérdidas directas debido a desastres de más de un mil millones de dólares en los últimos 20 años (World Map of Natural Hazards, 1998)³⁹ (Figura 2.2).

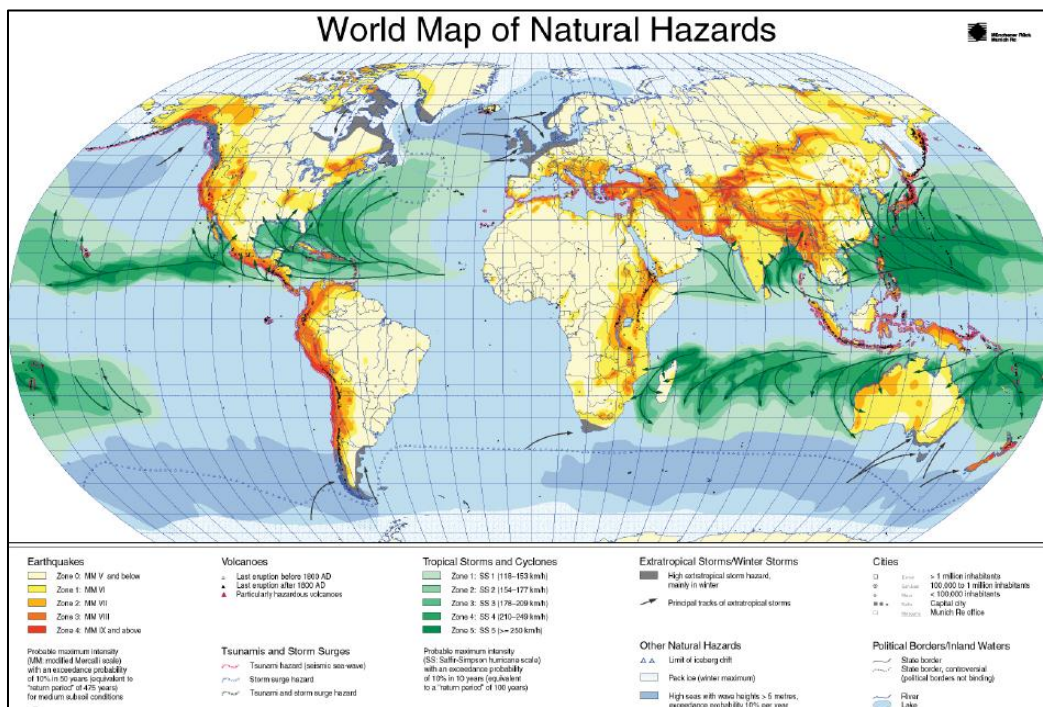


Figura 2.2. World Map of Natural Hazards, 1998. Fuente: <http://www.irinnews.org/pdf/in-depth/DR/ISDR-World-Map-of-Natural-Hazards.pdf>

³⁷ Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). 1999. Centroamérica: Evaluación de los Daños Ocasionados por el Huracán Mitch, 1998.

³⁸ World Bank. 2001. Honduras At A Glance. Country Assistance Strategy for El Salvador. Washington, D.C.

³⁹ Munich Re. 1998. World Map of Natural Hazards. Munich: Munich Reinsurance Company.

La revista DIRDN informa para el caso de América Latina y el Caribe en su artículo "Desastres en la Región" que durante la década de 1990 las pérdidas económicas provocadas por los desastres fueron más de nueve veces superiores a las registradas en la década de 1960. Según datos de la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y Media Luna Roja, señalan que han ocurrido tres veces más desastres del año 2000 al año 2010 que hace 20 años.

En 1998, según datos compilados por Munich Reinsurance, el monto de daños causados por fenómenos climáticos ascendió a 92 billones de dólares y 32,000 muertes, lo que representó un aumento del 50% con respecto al registro anterior. El huracán Mitch ocasionó en Centroamérica alrededor de 13000 muertes y el monto de los daños causados alcanzó la cifra de 10 billones de dólares. Las estimaciones presentadas en el Informe de Desastres 1999, de la Federación Internacional de la Cruz Roja indican que la economía de la región sufrió un retroceso de 30 años, es decir, casi el 90% de la economía regional depende del transporte por vía terrestre y la infraestructura respectiva fue severamente dañada.⁴⁰

Sobre la base de los casos citados se puede afirmar que en América Latina aún no se ha puesto en práctica la idea de la gestión del riesgo y su traducción en términos sistémicos. Sin embargo esto no significa que no se hayan registrado procesos de modernización de las estructuras existentes, así como casos en que los que se haya constituido efectivamente un sistema.

América Latina y México en particular son un ejemplo de acción en torno a emergencias y no a prevención y mitigación, se han implementado programas y proyectos de reconstrucción postdesastre mientras que las acciones asociadas a la reducción de riesgos son incipientes. Algunas razones que Mansilla⁴¹ cita son:

1. El riesgo en la resolución de los problemas prioritarios de la población hace que la prevención de desastres no sea un asunto primordial.
2. La prevención de desastres implica reestructurar los modelos de desarrollo del país. Esto requiere de programas de largo plazo y alto costo económico.
3. Desconocimiento de áreas de riesgo potencial.

⁴⁰ DIRDN, 1999. Desastres en la Región, Revista para América Latina y el Caribe. Núm 15.

⁴¹ Mansilla, E. Desastres y desarrollo de México. Revista Desastres y Sociedad. Núm 1. Año 1. Noviembre, 1993. <http://osso.univalle.edu.co/tmp/lared/public/revistas>.

4. Falta de capacitación y coordinación entre distintas instancias de gobierno, además de burocracia y corrupción.

La gestión de los desastres es una tarea importante para los gobiernos de los países latinoamericanos e instituciones regionales e internacionales, hoy en día este manejo consiste en una fase proactiva pre-evento, la cual comprende la identificación de los detonantes del riesgo, la reducción del riesgo y la preparación ante él; y una fase reactiva de pos-desastre que incluye la respuesta de emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Cada etapa incluye evaluaciones de peligro, amenaza y vulnerabilidad lo que ayuda a los tomadores de decisiones en la selección de medidas adecuadas de mitigación y de solución. Estas medidas incluyen arreglos con aseguradoras, fortalecimiento de sistemas de alerta temprana, la incorporación de la gestión de riesgo de desastres en la planificación y ordenación del territorio, en las políticas nacionales y regionales, y en rmas y códigos ingenieriles relacionados con los desastres frecuentes. (Posas, 2004)⁴².

Los desastres en México

El territorio nacional se encuentra sujeto a una gran variedad de fenómenos que pueden causar desastres en la infraestructura. Debido a su localización, el país presenta una fuerte actividad sísmica y volcánica, además está sujeto a embates de huracanes los cuales tienen efectos como lluvias intensas que pueden causar inundaciones y deslizamientos, no sólo en las costas, sino también en el interior del territorio. Independientemente de la actividad ciclónica, se generan inundaciones y deslizamientos importantes debido a las tormentas que ocurren durante la temporada de lluvias. Además en las políticas de desarrollo llevadas a cabo por el Estado no se ha tomado en cuenta el crear medidas de prevención y mitigación para este tipo de fenómenos. En su lugar, sólo se han establecido líneas generales orientadas a la atención de emergencias, situación directamente relacionada con la concepción que tienen los responsables de la Seguridad Nacional hacia los desastres.

⁴² Posas, Paula; Bender, Stephen; 2004. Managing Natural Hazard Risk: Issues and Challenges. OAS – Unit for Sustainable development and environment. Policy series, number 4. September, 2004.

Hablando del problema de los desastres en términos de costos, en México, el asunto es de consideración; ante el embate periódico de distintos fenómenos, año con año se registran severos daños al patrimonio nacional (escuelas, carreteras, instalaciones de los servicios de salud, entre otros), a la infraestructura productiva, así como a los bienes particulares de la población por lo que se estima a manera de supuesto impreciso, que el costo-país en consecuencia es muy elevado. De hecho el cálculo de los costos generados a consecuencia de un desastre es al día de hoy, un "detalle" no resuelto en México. Si se llega a tener alguna estimación del costo de los daños, éste se restringe a la suma de algunos costos directos, esto se explica debido a que la información del evento se encuentra dispersa en varias áreas de la administración pública.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres en colaboración con la CEPAL (Comisión Económica para América Latina) publicó un trabajo titulado "Características del impacto socioeconómico en México en el periodo 1980-1999", el cual constituye uno de los pocos esfuerzos disponibles orientados a evaluar las repercusiones sociales y económicas de los desastres en las regiones afectadas y su impacto en la economía nacional. En este trabajo se tiene como base una metodología que ha aplicado la ONU desde hace 25 años a través de la CEPAL, para medir efectos socioeconómicos que representan a los desastres en América Latina y el Caribe. Se han realizado algunos diagnósticos de daños directos e indirectos en cada uno de los sectores económicos y sociales afectados, así como de los efectos macroeconómicos sobresalientes.

Para efectos de medición de los daños, la metodología citada agrupa en tres categorías los efectos causados por los fenómenos generadores de desastres: daños directos, daños indirectos y efectos macroeconómicos (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Metodología de medición de daños CENAPRED - CEPAL

CATEGORÍA	EFFECTOS CUANTIFICABLES
DAÑOS DIRECTOS Se manifiestan en el momento del desastre	Pérdidas en: <ul style="list-style-type: none"> • Acervos de capital • Patrimonio de personas, empresas, instituciones • Existencias de bienes terminados, en proceso y materias primas • Cosechas agrícolas a punto de ser levantadas
DAÑOS INDIRECTOS Los efectos se prolongan de 2 a 5 años	Perjuicios por: <ul style="list-style-type: none"> • Flujos de bienes y servicios que se dejan de producir durante el período de reconstrucción de la infraestructura • Gasto social en servicios de comunicaciones, salud, educación, etc., mientras se restituye la capacidad operativa de los acervos destruidos • Atención de la emergencia
EFFECTOS MACROECONÓMICOS	Impacto sobre agregados macroeconómicos: <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento económico • Desequilibrios en balanza de pagos • Incremento del gasto público • Inflación • Disminución de reservas internacionales • Deterioro del ingreso de las familias • Aislamiento de regiones agrícolas • Otros

Fuente: Bitrán, 2000. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-1999. CENAPRED Y CEPAL. Nota: No se consideran los costos que representan las pérdidas de vidas y la atención a heridos.

Sin embargo la instrumentación de la metodología señalada ha encontrado en México dificultades para su aplicación, según lo revela el mismo documento, en donde se insiste en el carácter tentativo de las cifras obtenidas, debido a irregularidades como el hecho de que no se dispone de un registro sistemático de los daños causados por estos eventos; y de que en el caso de la existencia de datos, éstos se circunscriben a la pérdida del patrimonio físico, es decir, no contemplan las pérdidas relativas a las actividades económicas que se ven interrumpidas por dichos siniestros.

Así el trabajo presentado por Bitrán consigna que de acuerdo con estadísticas del CENAPRED se reconoce que los daños a la infraestructura productiva y social han sido cuantiosos, causando también, cierto impacto en los agregados macroeconómicos de las regiones afectadas, sin embargo no existen datos sólidos que sustenten tales afirmaciones. Cuando se tratan de incluir los efectos indirectos de los desastres, es decir, contabilizar no sólo la destrucción de infraestructura sino también de la interrupción de los flujos de producción de bienes y servicios atribuibles al desastre, los datos no pueden precisarse (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Síntesis de los costos por desastres en México.

TIPO DE EVENTO	DAÑOS DIRECTOS	DAÑOS INDIRECTOS	TOTAL
Hidrometeorológicos	4,402.3	144.9	4,547.2
Geológicos	4,043.7	516.4	4,560.1
Antropogénicos	1,149.7	133.6	1,283.3
TOTAL	9,595.7	794.9	10,390.6

Fuente: Bitrán, 2000. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-1999. CENAPRED Y CEPAL. Nota: Las cifras corresponden a millones de dólares.

Las magnitudes de las cifras presuponen que los recursos asignados anualmente por el Fondo Nacional de Desastres (FONDEN) para la atención de los siniestros, sólo cubre una parte de las necesidades de la población, razón que reconfirma la pertinencia de redirigir los esfuerzos a las fases de prevención y mitigación dentro de la "Gestión de Desastres".

Ante la constante presencia de desastres que se registran en todo el territorio nacional, además de las pérdidas humanas, materiales y económicas derivadas de esos eventos, la "Gestión de Desastres" debe convertirse en una actividad permanente y para ello el análisis espacial es un requisito fundamental por ser un recurso para obtener información encaminada hacia el objetivo de gestión.

En el estudio y gestión de desastres los términos peligro y riesgo son utilizados muchas veces como sinónimos, sin embargo para efectos de estudios de prevención deben ser diferenciados. La palabra peligro, involucra una amenaza potencial, aquello que puede ocasionar un daño, en cambio el riesgo, es la probabilidad de ocurrencia de un peligro y las secuelas dañinas que puede ocasionar, es un concepto que involucra a la población. Existe un vasto número de definiciones en torno a estos conceptos, con variación de términos que pueden provocar confusiones. La figura 2.3 muestra un modelo conceptual del problema de los desastres, la vulnerabilidad de la sociedad asociada a los peligros inherentes al espacio ocupado va gestando las condiciones de riesgo que al acentuarse con motivo de los desequilibrios del medio ambiente, dan lugar a la situación de desastre.

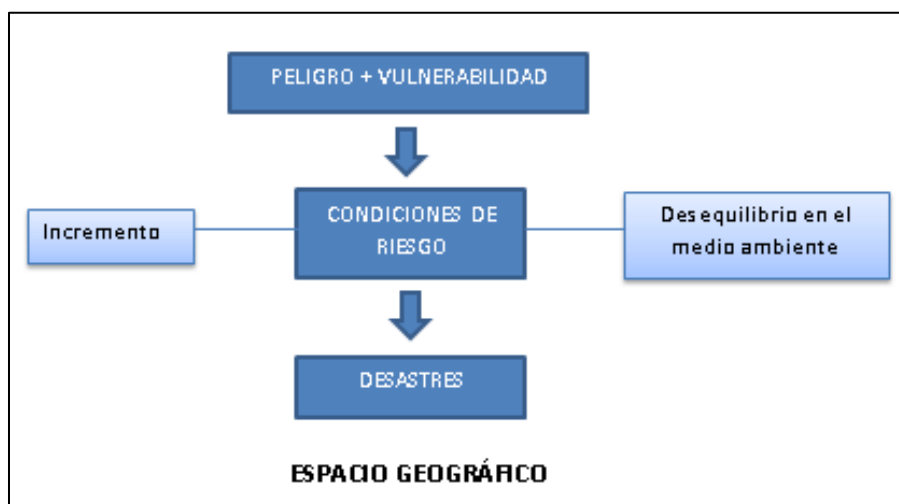


Figura 1.3. García Ortega, 2002. Modelo conceptual que orienta la comprensión del problema "desastres".

En la tabla 2.3 se muestra un comparativo de distintas definiciones que existen de los conceptos asociados a los desastres.

Tabla 2.3. Comparación entre los principales conceptos asociados al fenómeno Desastres

INSTITUCIONES O AUTORES	DESASTRE	PELIGRO O AMENAZA	RIESGO	VULNERABILIDAD
UNDRO- UNESCO (1979)	Evento que afecta el funcionamiento de una comunidad con pérdidas de vidas y daños de magnitud en sus propiedades y servicios	Probabilidad de ocurrir un evento desastroso	grado de pérdida previsto debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad	Grado de pérdidas de elementos bajo riesgo. Escala: 0 = sin daño 1 = pérdida total
CENAPRED (1990)	Evento resultado de agente perturbador sobre un sistema afectable. Sus efectos pueden ser prevenidos, mitigados o evitados por agente regulador.	condición con el potencial para causar una consecuencia indeseable, es la probabilidad con al que un evento particular ocurre dentro de un lapso dado	Es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, a la salud, a la propiedad o al medio ambiente	Grado de pérdida de un elemento dado o de un conjunto de elementos dentro del área afectada por un evento. Se expresa en una escala de 0 (ninguna pérdida) a 1 (pérdida total). Para el caso de una propiedad, la pérdida será el valor de la propiedad; para personas, será la probabilidad de que una vida en particular (el elemento en riesgo) sea perdida, dada la persona afectada por el evento.
WILCHES- CHAUX (1993)	Se presentan cuando convergen en lugar y tiempo vulnerabilidad y riesgo	Probabilidad de ocurrir un riesgo respecto al cual una comunidad es vulnerable	Fenómeno de origen natural o humano capaz de generar cambios en medio ambiente de comunidades vulnerables a ese fenómeno	Incapacidad de la comunidad de enfrentar efectos de cambio en su medio ambiente. Determina la intensidad de los daños para cada comunidad
CARDONA (1993)	Evento inesperado. Causa severos daños a comunidades y al medio ambiente. Desorganiza patrones "normales" de vida y requiere de asistencia externa	Probabilidad de que un evento exceda el nivel de severidad en sitio y tiempo específico	Pérdida esperada resultado de la relación de la amenaza y la vulnerabilidad	Predisposición de elementos a sufrir daños por acciones externas, su evaluación contribuye al conocimiento de los riesgos. El nivel de vulnerabilidad determina la severidad de los efectos

PREDES (1995)	Ocurre cuando un número considerable de personas es afectada. Se requiere de ayuda externa, surgen de interacción y coincidencia de peligros naturales y condiciones de vulnerabilidad de la comunidad.	Comprende a los fenómenos naturales capaces de causar daño	Combinación compleja de vulnerabilidad y peligro	Susceptibilidad al daño de los elementos expuestos. Es generada por procesos socioeconómicos y políticos
PLAN PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS, CALÍ, COLOMBIA (1997)	Evento causado por la naturaleza o actividades humanas durante los cuales hay pérdidas humanas y materiales	Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente peligroso	Conjugación de amenazas y vulnerabilidades. Cálculo anticipado de pérdidas esperadas (Vidas y bienes) a causa de un determinado fenómeno	Grado de propensión a sufrir daños. Depende de varios factores: <ul style="list-style-type: none"> - Grado de exposición - Educación de comunidades - Capacidad para atención de emergencia - Calidad de infraestructura - Condiciones de urbanización

En las descripciones correspondientes al peligro existen amplias diferencias, en algunos casos se alude al fenómeno generador y en otros a la probabilidad de que esos fenómenos provoquen un riesgo o desastre.

En el caso del concepto vulnerabilidad, no se observan tantas desigualdades, en general se habla de la susceptibilidad o predisposición de las comunidades a ser afectadas y determina la severidad de los daños.

Para el término riesgo, existen diferencias pero pueden rescatarse puntos comunes, lo que se traduce como el grado de pérdidas resultado de la combinación de peligro y vulnerabilidad.

Para el caso de desastres, los rasgos comunes podrían ser que representan eventos que afectan en términos de pérdidas y daños un espacio geográfico. Son resultado de la convergencia en dicho espacio, de peligros y condiciones de vulnerabilidad de la

población. Se requiere de ayuda externa para el restablecimiento del funcionamiento de los territorios afectados.

Para efectos de este trabajo las definiciones que se tomarán en cuenta serán las establecidas por el CENAPRED que es el organismo regulador de los desastres en México.

2.1 PELIGRO

El peligro son los fenómenos naturales o antrópicos capaces de generar daño. Se habla de varios tipos de peligro, uno es el natural el cual se presenta cuando el fenómeno que produce el daño tiene su origen en la naturaleza, otro es el antrópico que es cuando el fenómeno que produce la pérdida tiene su origen en acciones humanas y finalmente a la combinación de ambos se le llama ambiental (Suarez).⁴³

Para que un fenómeno natural sea peligroso para las personas, requiere ciertas condiciones de la vida humana en su entorno, como asentamientos humanos mal ubicados, ambiente deteriorado, hacinamiento, escasez de recursos económicos, inadecuada educación, descuido de las autoridades, desorganización, entre otros. Todos estos elementos configuran una población altamente vulnerable.

Es importante tratar de definir el peligro en términos de parámetros con un significado físico preciso y que permitan utilizar una escala continua de la intensidad del fenómeno; por ejemplo la velocidad máxima para la intensidad del viento, el número de milímetros de precipitación pluvial, el grado de intensidad de un sismo en la escala de Richter o Mercalli. Esto no siempre es posible debido a la escasez de información para una evaluación cuantitativa del peligro. Por ello es frecuente que se represente el peligro de manera cualitativa como bajo, medio o alto, basados en la incidencia del fenómeno en cada región. Estas representaciones se realizan en el llamado análisis de peligro.

⁴³ Suarez, J. Deslizamientos. Análisis geotécnico. www.erosion.com.co

2.2 RIESGO

Usualmente el riesgo se estima como la multiplicación de la probabilidad de que ocurra un evento (peligro) por las consecuencias que se deriven del mismo; dicho de otra forma, es la multiplicación del peligro por el valor potencial de pérdidas. En la práctica existen diversos autores que proponen ecuaciones para estimar su valor, entre ellos Chau (2003) quien propone al riesgo como:

$$\text{Riesgo (x)} = \text{peligro (x)} * \text{exposición (x)}^{44}$$

El IUGS (1997) dice que el riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente, Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo, y daños ambientales. Es estimado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo.

$$\text{Riesgo} = \text{amenaza} * \text{vulnerabilidad} * \text{elementos en riesgo}^{45}$$

Por su parte Duque (2002) lo define así:

$$\text{Riesgo} = \text{detonante} * \text{susceptibilidad} * \text{potencial} * (\text{exposición/resistencia})^{46}$$

⁴⁴ Chau. 2003. Landslide hazard analysis for HongKong using landslide inventory and GIS. Computers & Geosciences 30 (2004).

⁴⁵ IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment, 1997. Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The state of the art. Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment. Honolulu, Hawaii, USA.

⁴⁶ Duque G, 2000. Riesgo en la zona andina tropical por laderas inestables. Simposio sobre suelos del Eje Cafetero. Manizales,

Mendoza y Domínguez en 2005 con una noción de amenaza, vulnerabilidad y riesgo:

$$R = \sum A_i * [\sum v_{\mu} x C_j]^{47}$$

Donde:

A_i = amenaza i

v_{ji} = vulnerabilidad de los elementos j para la amenaza i

C_j = costo o valor del elemento j

Brusi y Roqué hablan del riesgo como:

$$R = P_c * C^{48}$$

Donde:

P_c = probabilidad de ocurrencia de un peligro

C = valor de los daños (vidas o costos)

⁴⁷ Mendoza M.J., Domínguez L., 2005. Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas. En CENAPRED Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. México.

⁴⁸ Brusi, D., Roqué, C. Los riesgos geológicos, algunas consideraciones didácticas. Tercers Jornades del CRECIT. La didáctica dels riscos naturals. Italia.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres propone la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = P * E * V^{49}$$

Dónde:

P = peligro

E = exposición

V = vulnerabilidad

En todas las ecuaciones se observa un elemento detonante, que puede ser llamado peligro o amenaza resultado posible de un evento expresado en probabilidades y un elemento afectado que son las unidades en exposición o vulnerables al detonante expresados en términos monetarios o pérdidas humanas. El peligro o amenaza puede ser natural o antrópico mientras que los elementos afectados son seres humanos y todo lo que tiene que ver con ellos. Entonces vemos que el riesgo no puede ser entendido sin el aspecto humano, si no se miden los daños físicos y económicos que éste tiene no hay un análisis de riesgo y será sólo medición de fenómenos naturales peligrosos.

2.2.1 ELEMENTOS DE RIESGO

Comprende la población, los edificios y obras ingenieriles, las actividades económicas, la infraestructura y las instalaciones para el servicio público o privado ubicadas en el área potencialmente afectada.

⁴⁹ Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. CENAPRED, 2001.

2.2.2 TIPOS DE RIESGO

Existen muchas clasificaciones para los riesgos, una primera distinción debe realizarse entre los riesgos tecnológicos y los riesgos naturales. Los riesgos tecnológicos están directamente asociados al mal funcionamiento de los sistemas, sus efectos suelen materializarse a través de explosiones, contaminación, emisiones radioactivas, etc. Ocupan una posición intermedia los riesgos ligados al agotamiento de los recursos naturales o a la acumulación anómala de materiales potencialmente contaminantes (Brusi, Roqué)⁵⁰.

Los riesgos naturales, en cambio, son los que derivan de procesos que acontecen de forma natural en el medio y que pueden producir daños a alguna comunidad.⁵¹

En México, el Sistema Nacional de Protección Civil ha adoptado la clasificación basada en el tipo de agente perturbador que los produce. Se distinguen así los riesgos de origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario y sociorganizativo.

RIESGOS NATURALES

- **Riesgos geológicos**

Son aquellos fenómenos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta. El CENAPRED los clasifica como sismicidad, vulcanismo, tsunamis y movimientos de laderas y suelos.

- **Riesgos hidrometeorológicos**

Son fenómenos relacionados al agua y el clima, se clasifican en granizadas, heladas, nevadas, inundaciones, huracanes y sequías.

⁵⁰ Brusi, D., Roqué, C. Los riesgos geológicos, algunas consideraciones didácticas. Tercers Jornades del CRECIT. La didáctica dels riscos naturals. Italia.

⁵¹ Brusi, D., Roqué, C. Ibid.

RIESGOS ANTROPOGÉNICOS

- **Riesgos químicos**

Son riesgos derivados de actividades industriales y que involucran sustancias peligrosas, pueden ser clasificados como derrames, fugas, incendios, explosiones. También se incluyen los incendios forestales.

- **Riesgos sanitarios**

Eventos relacionados con la contaminación del aire, agua y suelos, los que sean propios del área de salud, esencialmente las epidemias, también se incluyen algunos ligados a la actividad agrícola, como la desertificación y las plagas.

- **Riesgos sociorganizativos**

En esta categoría se agrupan ciertos accidentes y actos que son resultado de actividades humanas. Por un lado los accidentes relacionados con el transporte aéreo, terrestre, marítimo o fluvial; la interrupción del suministro de servicios vitales; los accidentes industriales o tecnológicos no asociados a productos químicos; los derivados del comportamiento desordenado en grandes concentraciones de población y los que son producto de comportamiento antisocial, como los actos de sabotaje o terrorismo.

Generalmente las situaciones de riesgo más evidentes son causadas por fases paroxísticas (de magnitud superior a la normal) de los procesos geológicos o atmosféricos, en este caso, suelen actuar en un breve tiempo y producir efectos intensos, peo ejemplo un sismo o un huracán. Otros escenarios presentan procesos más lentos y con una baja intensidad pero con efectos acumulativos que pueden acarrear daños igualmente graves, por ejemplo la pérdida de suelo. Los riesgos naturales pueden afectar a áreas muy extensas, como por ejemplo el caso de una inundación, o a zonas muy reducidas, como en el caso de un desprendimiento de rocas.

Otra clasificación que se utiliza para un estudio de riesgo es la siguiente (Suarez)⁵², la cual sirve para fines evaluativos o estadísticos:

- **Riesgo específico:** daño causado por un fenómeno
- **Riesgo total:** elementos en riesgo por el riesgo específico
- **Riesgo evitable:** por su origen o consecuencia
- **Riesgo controlable:** evento predecible o efecto atenuable
- **Riesgo incontrolable:** no predecible, evaluable o solucionable
- **Riesgo aceptable:** diferencia entre el mayor nivel de riesgo y la máxima previsión

Además para poder medir el riesgo se pueden establecer varias categorías: el riesgo social, que son las lesiones o muertes de una sociedad medidas como un todo, la unidad de medida puede ser vidas humanas; el riesgo económico que es el costo de las pérdidas económicas, directas e indirectas ocasionadas por la amenaza; y el riesgo ambiental que son los daños ocasionados al medio ambiente medidos conforme a ciertos parámetros, por ejemplo emisiones de contaminantes a la atmósfera. Para realizar estas mediciones se recurre al llamado análisis de riesgo.

En la figura 2.3 se observa un esquema de evaluación de riesgo, en el cual a partir de la ocurrencia de un evento, al que se le llama peligro, un sistema se puede ver afectado según su grado de vulnerabilidad a dicho evento y sufrir un desastre potencial que se evalúa mediante el análisis de riesgo. Dentro de este trabajo se realizó una evaluación de riesgo considerando como los peligros a los deslizamientos de laderas y el sistema afectable es la red carretera del estado de Puebla así como la población que transita por ella y la que vive cerca de estas vías.

⁵² Suarez, J. Deslizamientos. Análisis geotécnico. www.erosion.com.co

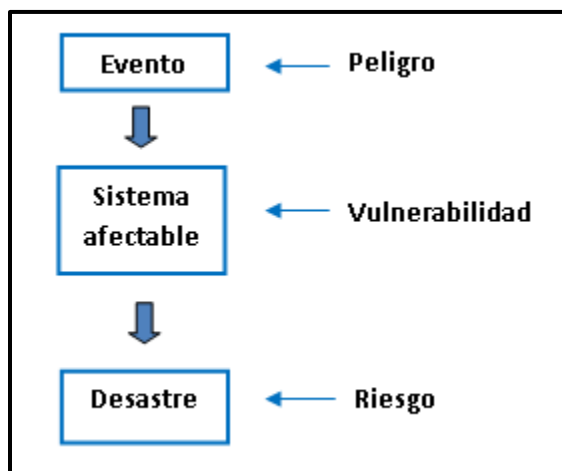


Figura 2.3. Esquema de riesgo. Fuente: Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. CENAPRED, 2004.

2.3 GESTION DE DESASTRES

La comprensión actual de los desastres ofrece amplias posibilidades de actuación. Lavell⁵³ en su obra "La gestión de los Desastres" propone un esquema de concepción de esta gestión con cuatro subconjuntos de actividades:

1. Gestión de peligros

Comprende todas aquellas actividades que buscan reducir la probabilidad de que los peligros físicos se conviertan en hechos reales o intentan disminuir su probable intensidad o impacto.

2. Gestión de vulnerabilidades

Incluye la serie de tareas que aspiran a reducir la vulnerabilidad de las sociedades frente a los peligros físicos.

⁵³ Lavell, A., 1996. La gestión de los desastres: hipótesis, concepto y teoría. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO). Sep, 1996. Lima, Perú.

3. Gestión de la emergencia o de la respuesta inmediata

Comprende las actividades cuya finalidad es restaurar las condiciones mínimas de seguridad y bienestar social y económico de las poblaciones afectadas por el impacto de algún evento.

4. Gestión de la rehabilitación y la reconstrucción

Incluye aquellas actividades que pretenden restablecer las condiciones normales de existencia de las poblaciones afectadas

Esta conceptualización destaca la participación de actores sociales y especialidades en la gestión global de los desastres, además de estar integrado por una serie de actividades distintas que deben estar coordinadas e integradas entre sí. Relacionando términos relacionados a los desastres con lo propuesto por Lavell se tiene que:

✓ Prevención

Son acciones encaminadas a evitar o disminuir los efectos de un desastre, incluidas en la "gestión de peligros" BUSCA DECIR NO A LOS PELIGROS.

✓ Mitigación

Se asocia con la reducción de la vulnerabilidad, a eliminar o reducir en lo posible esa incapacidad de la comunidad para absorber los efectos de un determinado cambio en su ambiente. BUSCA DECIR NO A LA VULNERABILIDAD.

✓ Preparativos de desastres

Se instrumentan antes y después de la ocurrencia de algún evento promotor de desastres. Son acciones ligadas con la gestión de emergencias.

El área a la que se le pone más atención es la de preparativos de desastres, la prevención y la mitigación ocupan un lugar secundario. La tendencia hacia la mitigación debe encontrar un camino ya que no se puede seguir manteniendo una posición de asistencia o reparación de daños porque los presupuestos de los países no serían suficientes y el costo social sería muy alto.

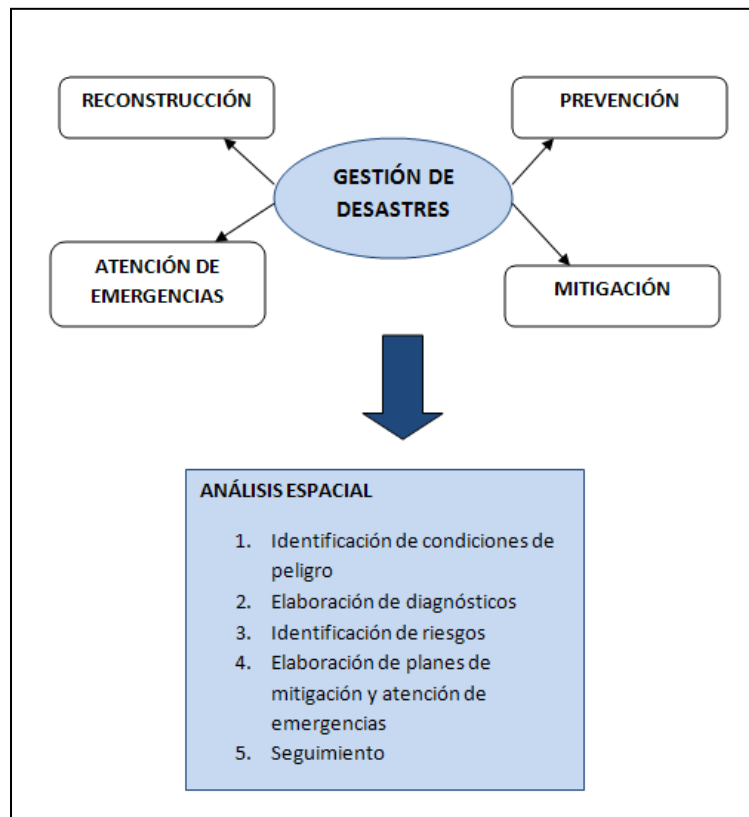


Figura 2.4. Gestión de Desastres

Para llevar a cabo una adecuada gestión de desastres el análisis espacial es una herramienta de mucha utilidad ya que permite identificar condiciones peligrosas, realizar diagnósticos, identificar riesgos, y de este modo, poder elaborar planes de prevención, mitigación y respuesta a emergencias; como se puede ver en la figura 2.4. Por esta razón este trabajo presenta una propuesta de análisis espacial que pueda ser útil en un futuro para realizar planes de prevención y mitigación de daños en la infraestructura carretera.

3. ANÁLISIS ESPACIAL DE PELIGRO Y DE RIESGO

3.1 ANÁLISIS DE PELIGRO Y DE RIESGO

El Análisis de Peligro no es lo mismo que el Análisis de Riesgos. Sin embargo, usualmente, se confunden y a veces, se usan los términos indistintamente. La diferencia radica en la entidad que hace la tarea, es decir, el análisis, el resultado y el alcance del análisis (Michaine, 2002)⁵⁴.

El análisis de peligro es una técnica de naturaleza predictiva que identifica eventos. Determina frecuencia de los eventos y define condiciones espaciales y temporales de su ocurrencia (Cerri, 1993)⁵⁵.

El análisis de riesgo es el uso de la información disponible para estimar el riesgo a individuos, poblaciones, propiedades, o medio ambiente, debido a cierto peligro. Comprende tres etapas, identificación del fenómeno, identificación del peligro y estimación del riesgo (CENAPRED, 2006)⁵⁶. Se realiza a partir del análisis de peligro, cuantifica informaciones, correlacionando la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos con la probabilidad de consecuencias indeseables, estimando daños.

Los estudios de peligro se basan en información física, mientras que los estudios de riesgo son más complejos porque reflejan la interacción entre los fenómenos naturales y el entorno, y la de éstos con los sistemas físicos y sociales producidos por el hombre.

Una peculiaridad de los estudios de riesgo es que lo que está expuesto al fenómeno varía en el tiempo, tanto en cantidad, como en sus características. Particularmente importantes son los efectos del crecimiento demográfico y de la industrialización, que modifican e incrementan el riesgo (CENAPRED, 2001)⁵⁷.

⁵⁴ Michaine, Silvia., 2002. Análisis de peligro versus Análisis de Riesgos. Granados & Carnes. Año 3. Número 15. Buenos Aires, Octubre, 2002.

⁵⁵ CERRI, L.E. 1993. Riscos Geológicos asociados a escorregamentos: uma proposta. *Tese de Doutorado*. Unesp. Rio Claro

⁵⁶ Guía Básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos geológicos. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED, 2006.

⁵⁷ Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. CENAPRED, 2001.

Tabla 3.1 Análisis de peligro vs Análisis de Riesgo

	ANÁLISIS DE PELIGRO	ANÁLISIS DE RIESGO
Tiene en cuenta	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del tipo o naturaleza del fenómeno. • Alcance o extensión del evento peligroso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de peligro. • Estimación del riesgo.
Debe incluir	<ul style="list-style-type: none"> • Probable presentación del peligro y su gravedad. • Evaluación cualitativa o cuantitativa de la presencia del peligro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del riesgo de manera cuantitativa. • Desarrollo de una o más opciones para la gestión del riesgo.

Elaborado con información de Michaine, 2002.

Los fenómenos que pueden provocar desastres son en general impredecibles, es decir, no pueden pronosticarse en términos de una magnitud o intensidad, tiempo de ocurrencia y sitio específico de impacto.

El estudio de los riesgos se vuelve imprescindible para evitar o mitigar los peligros y la gravedad de los daños producidos por los desastres (Aneas, 2002)⁵⁸.

Para el estudio de los peligros y la identificación de los riesgos, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso que pueda medirse en una escala numérica. En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse 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 fenómeno tiene una sola magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que interese determinar sus efectos. La magnitud suele ser una medida más fácil de definir, ya que representa una característica precisa del fenómeno físico, mientras que la intensidad depende de muchos factores que se relacionan con condiciones locales.

Para algunos fenómenos, la distinción entre magnitud e intensidad no es tan clara, pero en términos generales, el peligro debe estar asociado a la intensidad del evento más que

⁵⁸ Aneas de Castro, Susana. 2000. Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona [ISSN 1138-9788]. N° 60, 15 de marzo de 2000.

a su magnitud, o sea más a las manifestaciones o efectos que se pueden presentar en el sitio de interés, que a las características básicas del fenómeno mismo. En este sentido, el estudio del peligro lleva a la construcción de escenarios, es decir, a la representación, de los efectos del fenómeno en la región de interés.

Es importante tratar de definir el peligro en términos de parámetros con un significado físico preciso y que permitan utilizar una escala continua de la intensidad del fenómeno; por ejemplo, la velocidad máxima para la intensidad del viento o el número de milímetros de precipitación pluvial. Esto no siempre es posible debido a la escasez de información para una evaluación cuantitativa del peligro. Es frecuente que se tenga que recurrir a representar el peligro en términos solamente cualitativos, como bajo, mediano o alto, basados en la evidencia disponible sobre la incidencia del fenómeno en cada región. Esto es de utilidad para fines de protección civil en cuanto permite saber en qué zonas es necesario tomar mayores precauciones ante la posibilidad de ocurrencia de cierto evento. Este tipo de diagnóstico no es suficiente; sin embargo, se usa para tomar decisiones sobre planeación de desarrollo urbano y para diseño de obras de protección.

Otro aspecto esencial de los análisis de riesgo es la conveniencia de plantear en términos de probabilidades los distintos factores que influyen en él. Los fenómenos que pueden provocar desastres son, en general, altamente impredecibles, o sea, no pueden pronosticarse en términos de una magnitud o intensidad de tiempo de ocurrencia y sitio específico de impacto. Tampoco es factible para estas variables fijar un máximo o un mínimo absolutos. Por ello conviene recurrir a una formulación probabilística.

Para la representación de los resultados de los estudios de peligro y en parte también para los de riesgo, se han utilizado generalmente el análisis espacial y su representación en mapas a distintas escalas, en los que se identifican los tipos e intensidades de los eventos que pueden ocurrir.

3.2 MAPA DE PELIGRO

Este tipo de mapa indica la intensidad con que cabe esperar que ocurra un evento catastrófico en una zona considerada. Representan de manera gráfica la distribución de las características de los fenómenos perturbadores con base en conocimientos científicos y en datos estadísticos y probabilísticos (CENAPRED).

La cartografía de peligros ofrece una amplia gama de posibilidades de representación, una colección de mapas de este tipo constituye propiamente un atlas. Por otra parte los sistemas de información geográfica permiten análisis complejos y representaciones mucho más completas de los eventos.

La expresión de un peligro representado en un mapa asocia su distribución espacial en el territorio con la probabilidad de su ocurrencia en un lapso de tiempo. En términos generales, este tipo de mapas representan la intensidad del fenómeno de estudio, mediante una clasificación asociada a una escala de colores, con una base cartográfica, que puede ser una carta topográfica, la división estatal o municipal de la zona o inclusive con rasgos de infraestructura como caminos o presas (CENAPRED, 2004)⁵⁹.



Figura 3.1. Ejemplo de Mapa de Peligro de Incendios Forestales para la ciudad de Valparaíso, Chile. Fuente: Proyecto SEVEIF. www.seveif.com

⁵⁹ Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED. 2004.

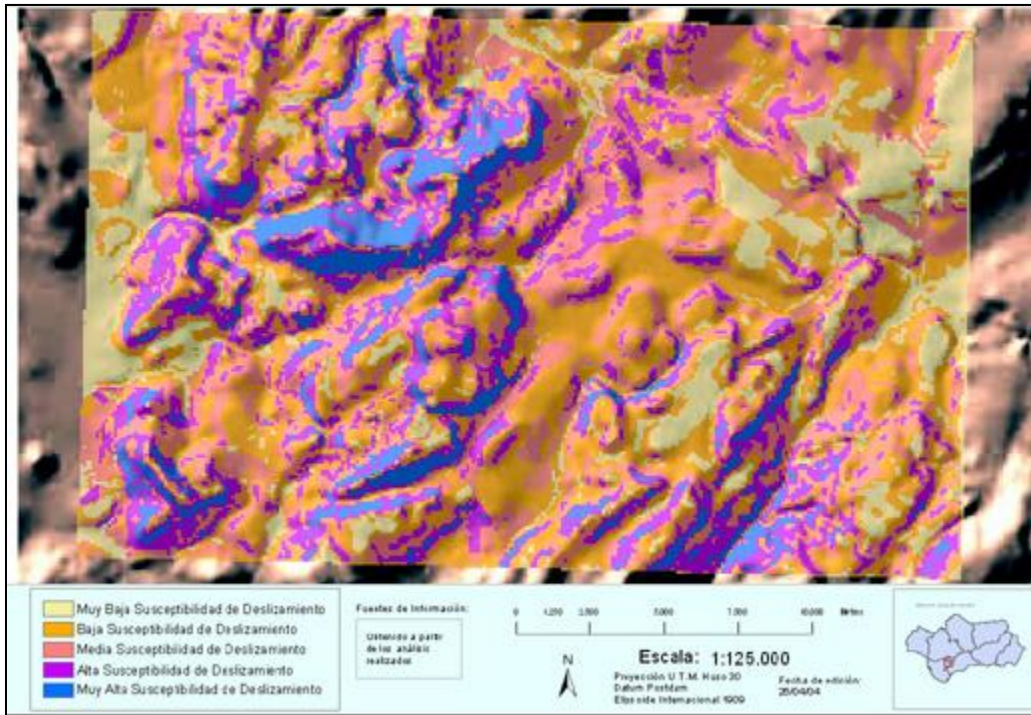


Figura 3.2. Dotor Ruiz, Ester. Mapa de Peligro por deslizamientos de laderas en la región de Ubrique, España. Trabajo Fin de Máster del Programa UNIGIS de Postgrado y Máster Internacional a distancia en SIG, gestionado por la Universidad de Girona. Fuente: <http://www.cartesia.org/article.php?sid=169>

En las figuras 3.1 y 3.2 se observan ejemplos de mapas de peligros, la primer figura muestra una escala de intensidad de peligro que va de bajo a extremo en el cual se muestran las zonas forestales propensas a sufrir un incendio en la ciudad de Valparaiso, Chile. La figura 3.2 muestra un ejemplo de mapa de peligros de deslizamientos de laderas con una escala que va de muy baja a muy alta susceptibilidad a sufrir un evento, los parámetros ocupados para realizar este trabajo fueron pendiente del terreno, litología, precipitación, vegetación e hidrología, estos se ponderaron según una escala y se obtuvo el análisis espacial de los deslizamientos en esta zona.

3.3 MAPA DE RIESGO

Es una representación gráfica destinada a mostrar las zonas de riesgo y permite tomar medidas preventivas y correctivas. Es un instrumento informativo dinámico que permita conocer los factores de riesgo y los probables o comprobados daños en una zona determinada. Permite evaluar la extensión de los factores de riesgo, la gravedad del riesgo y programar los recursos necesarios para la prevención.

Representan gráficamente en una base cartográfica, la probabilidad de incidencia de un fenómeno o de varios, sus características e intensidades, y de qué manera influyen en los diferentes tipos de ámbitos, sean estos geográficos (localidad o región) geopolíticos (municipio, estado, país), fisiográficos (tipo de suelo, vegetación) o aquellos caracterizados por la actividad humana (población, vivienda, infraestructura y agricultura), (CENAPRED, 2004)⁶⁰.

Su elaboración consiste en conocer los factores de peligro, realizar un análisis de estos mezclados con factores de población, infraestructura, etc.

Los sistemas de información geográfica son especialmente adecuados para este tipo de mapas, donde se requiere representar a la vez los escenarios de fenómenos peligrosos y los sistemas que pueden ser afectados por éstos⁶¹.

La figura 3.3 muestra un ejemplo de mapa de riesgo de incendios forestales, a diferencia del mapa de la figura 3.1 aquí se incluyen datos de población lo que muestra zonas en rojo con una cantidad de habitantes importante que pueden ser afectados por estos incendios. Por su parte la figura 3.4 es un ejemplo de un mapa de riesgo debido a deslizamientos de laderas donde se incluyen zonas de actividad antrópica, las que se clasifican en cuatro rubros:

- ✓ *Zonas de actividad baja*: áreas del territorio en las que la densidad de población e infraestructura es pequeña
- ✓ *Zonas de actividad media*: áreas del territorio con valores medios de densidad de población e infraestructura

⁶⁰ Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. CENAPRED. 2004.

⁶¹ Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. CENAPRED, 2001.

- ✓ Zonas de actividad alta: áreas del territorio con altos índices de densidad de población e infraestructura
- ✓ Zonas de actividad muy alta: áreas del territorio en las que hay gran densidad de población y de infraestructura.

Estas zonas se combinan con el mapa de peligros de la figura 3.3 ponderando éste con un 40% y las actividades antrópicas con un 60%. Para de este modo obtenerse el mapa de riesgos.

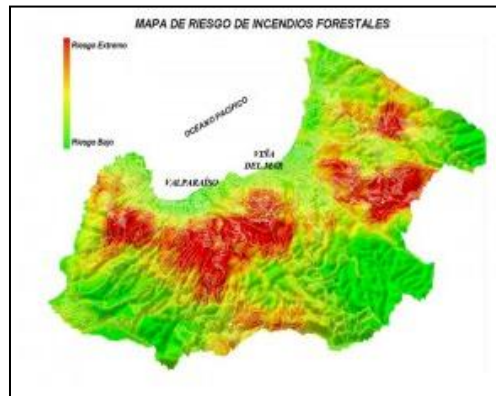


Figura 3.3. Ejemplo de Mapa de Riesgo de Incendios Forestales para la ciudad de Valparaíso, Chile. Fuente: Proyecto SEVEIF. www.seveif.com

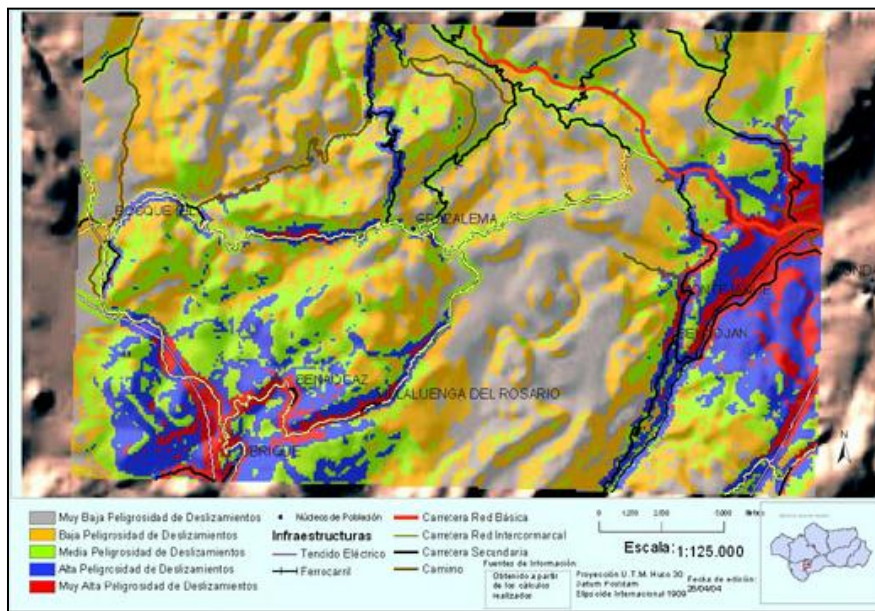


Figura 3.4. Dotor Ruiz, Esther. Mapa de Riesgo por deslizamientos de laderas en la región de Ubrique, España. Trabajo Fin de Máster del Programa UNIGIS de Postgrado y Máster Internacional a distancia en SIG, gestionado por la Universidad de Girona. Fuente: <http://www.cartesia.org/article.php?sid=169>.

Tabla 3.2. Mapas de riesgo de desastre

OBJETOS CONGNOSCITIVOS O TEMÁTICOS BÁSICOS	ENCUADRE METODOLÓGICO	OBJETIVOS INTERNOS
Amenazas naturales, específicas o concatenadas (multiamenazas).	Por lo general, es el marco de la aplicación de Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo. Es necesario considerar las condiciones determinantes que intervienen en el origen y efecto predecible de estas amenazas, dentro de la totalidad ambiental en que se sitúa.	Aportar información utilizable como insumo y producto de estos sistemas
Amenazas socio-naturales y antrópicas.		
Amenazas percibidas (mapas perceptuales).	Encuesta sobre percepción de amenazas, combinadas con procedimientos de investigación participativa.	Representan atributos de las amenazas según las perspectivas subjetivas dominantes en la población.
Vulnerabilidad según indicadores.	Encuestas muestrales o censales, complementadas por registros de campo, fuentes secundarias, etc.	Representar vulnerabilidad diferencial de una población mediante el análisis "objetivo" de factores considerados determinantes.
Vulnerabilidad según las representaciones del propio sujeto colectivo.	Investigación participativa	Representar vulnerabilidad diferencial desde la conciencia de riesgo de sus protagonistas.
<p>Cierta clase de información, muy comúnmente incluida en los mapas de riesgo, puede ser integrada, con los matices pertinentes, en cualquiera de los objetos temáticos mencionados y servir para establecer relaciones entre ellos. Especialmente la relativa a la localización espacial de: a) condiciones peligrosas (por ejemplo, sistemas de drenaje malogrados, puentes en mal estado, concentraciones de sustancias explosivas o tóxicas, etc.) b) bienes inmuebles y lugares propensos a mayor afectación c) datos necesarios para las acciones de emergencia y rehabilitación: sistemas de alerta temprana, centros de atención y albergue, vías de evacuación, servicios básicos, etc.</p>		

Fuente: Campos, Armando. Algunas consideraciones sobre los mapas de riesgo. Elaboración de mapas de riesgo. Biblioides, número 30.

Dentro de este proyecto el mapa de riesgo realizado presenta como objetos cognoscitivos las amenazas naturales específicas, en este caso los deslizamientos de laderas, con todos los elementos que conlleva la creación de este fenómeno. El encuadre metodológico considera el uso de Sistemas de Información Geográfica para aportar información que resulte útil para efectos de planeación, prevención y mitigación.

Los mapas de peligro y riesgo no hablan por sí solos, deben ser utilizados como herramientas para la planeación y el quehacer en materia de mitigación de desastres. Son herramientas que los gobiernos y las instituciones internacionales dedicadas al estudio de desastres deben usar para la planeación de acciones que puedan frenar o disminuir las afecciones que sufren las poblaciones. La confiabilidad de estos mapas depende de la cantidad y calidad de la información que se tenga para su realización.

Actualmente, el estudio de los peligros y riesgos que amenazan al hombre y su ambiente, es un tema de creciente interés y de apertura masiva, que evoluciona continuamente. Si bien algunos peligros han sido enfrentados exitosamente otros, por el contrario, han aumentado, o bien han surgido peligros nuevos. Es lo que podría llamarse *transición de peligros*, el pasaje de mortalidades tradicionales a mortalidades modernas, y de daños tradicionales como las inundaciones a daños modernos como la contaminación. Dado que el peligro y el riesgo son un binomio inseparable también se puede hablar de *transición de riesgos*.

Por otra parte, la población no puede darse el lujo de mantener esfuerzos aislados puesto que muchos de los riesgos se han convertido en fenómenos globales como el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono o la lluvia ácida, causados por la misma población. El planeta ha entrado en un proceso de riesgo global, con eventos causantes de desastres cada vez más frecuentes y de mayor intensidad. Tomando conciencia de ello, la comunidad científica, organismos internacionales y gobiernos han comenzado a tomar medidas en la prevención de desastres, pero éstas aun son insuficientes. Es entonces necesaria una gestión de riesgos global ya que la solución de muchos problemas requiere el esfuerzo integral de las naciones.

3.4 ANÁLISIS DE PELIGRO DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

Establecer un modelo de peligro para el estudio de deslizamientos de laderas a nivel regional ha sido una labor importante para científicos y gobiernos, existen varios métodos de estudio y mapeo de éstos que han sido propuestos en el mundo. Los primeros estudios de este fenómeno desde el punto de vista de peligro y riesgo se ubican en las décadas

de 1980 y 1990 con autores como Leroi (1997), Hansen (1984), Fell y Hartford (1997), Einstein (1988, 1997), Varnes(1984), y Hungr (1997).

En la década de los 80 los sistemas de información geográfica (GIS) se convirtieron en una tecnología muy popular para manejar y predecir peligros naturales, incluyendo deslizamientos de laderas (Coppock, 1995)⁶².

Algunos de estos estudios han sido desarrollados por Luzi (2000), Miles y Ho (1999), Miles y Keefer (1999), Refice y Capalongo (2000) con estudios de peligro en deslizamientos de laderas debido a actividad sísmica. Por su parte Milles y Sias (1998) trabajaron en deslizamientos inducidos por condiciones hidrológicas y Cancelli y Costra (1994) generaron un mapa de peligro debido a caídos de roca.

Sin embargo la confiabilidad de una metodología de estudio de peligro no depende del sistema de información geográfica sino del método de análisis utilizado (Carrara 1999)⁶³, de la cantidad y calidad de los datos disponibles y de la escala de trabajo.

Existen varios métodos de análisis espacial que han sido propuestos por distintos autores, los cuales pueden dividirse en dos grupos: cualitativos y cuantitativos.

3.4.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS CUALITATIVOS

Los métodos cualitativos utilizan datos históricos de eventos o parámetros establecidos para identificar sitios con propiedades geológicas y geomorfológicas similares que son susceptibles a deslizamientos. Dependen de la opinión de expertos y envuelven la idea de ponderación de factores, dentro de estos se puede citar:

⁶² Coppock, J.T., 1995. GIS and natural hazards: an overview from a GIS perspective. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer, Dordrecht.

⁶³ Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards* 20

Tabla 3.3 Niveles de peligro de deslizamiento según el Centro Nacional de Prevención de Desastres.

	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
LITOLÓGÍA	Regiones donde afloran rocas de cualquier naturaleza parcialmente alteradas, con poco desarrollo de suelo residual.	Regiones donde afloran rocas de cualquier naturaleza parcialmente alteradas, con poco desarrollo de suelo residual.	Regiones donde afloran rocas sedimentarias, rocas ígneas extrusivas e intrusivas parcial o totalmente alteradas, rocas metamórficas foliadas o bandeadas parcial o totalmente alteradas. Suelo residual poco desarrollado.	Regiones donde afloran rocas sedimentarias de composición arcillosa, rocas ígneas piroclásticas, y rocas metamórficas foliadas y alteradas. Presencia de suelos residuales provenientes del intemperismo.
CLIMA	Seco a muy seco.	Templado húmedo a semihúmedo.	Cálido y/o templado húmedo a semihúmedo.	Cálido húmedo o semihúmedo,
PRECIPITACIÓN	Media anual menor a 500 mm.	Media anual de 500 a 1000 mm.	Media anual mayor a 1000 mm.	Media anual mayor a 1000 mm.
TOPOGRAFÍA	Montañosa a plana, con pendientes mayores que 10°.	Montañosa a plana, con pendientes mayores que 20°.	Montañosa a semimontañosa, con pendientes mayores que 25°.	Montañosa, con pendientes mayores que 30°.
SISMICIDAD	Muy baja, zona A.	Baja a media, zonas B y C.	Media a alta, zonas C y D.	Alta intensidad sísmica, zona D.

Fuente: Prevención y control de desastres en la República Mexicana – Diagnóstico de riesgos. CENAPRED

La elección de uso de esta escala se debe a que representa un intento por uniformar criterios a nivel nacional ya que establecer una escala general para un estudio de deslizamientos de laderas para México es una tarea muy compleja por la diversidad de factores que están involucrados en este fenómeno y las condiciones temporales y territoriales.

3.4.2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CUANTITATIVOS

A diferencia de los cualitativos, los métodos cuantitativos están basados en expresiones numéricas de relación entre factores y deslizamientos. Existen dos tipos: determinísticos y estadísticos (Aleotti and Chowdhury, 1999)⁶⁸. Los primeros dependen de principios ingenieriles de estabilidad de pendiente en términos de seguridad, debido a que requieren datos exhaustivos de cada evento solo son útiles para mapeo local. El segundo grupo utiliza metodologías estadísticas multivariadas o bivariadas aprovechando la conexión entre parámetros que controlan la ocurrencia de deslizamientos y la distribución espacial de ellos. (Guzzetti et al., 1999).⁶⁹ Dentro de las metodologías estadísticas se puede citar:

- **BSA (Bivariate statistical analyses)**

Método que compara un mapa de eventos históricos de deslizamientos con mapas de deslizamiento elaborados con parámetros de influencia para así establecer una escala de clases en la formación de eventos, usando densidades.

- **MSA (Multivariate statistical approaches)**

Incluye análisis discriminativo y regresión logística. Encuentra la mejor función para describir la relación entre la presencia o ausencia de deslizamientos (variable dependiente) y los parámetros independientes.

Variable dependiente: deslizamientos. Se realiza un mapa de históricos de deslizamientos en una zona determinada

Variable independiente: es difícil ya que no existe un criterio universal, sin embargo deben cumplir con ciertos criterios:

- ✓ Operacionales: tener un grado de afinidad con la variable dependiente

⁶⁸ Aleotti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 58

⁶⁹ Guzzetti, et al, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. Geomorphology 31.

- ✓ Completos: representativas del área
- ✓ No uniformes: variabilidad espacial
- ✓ Medibles: pueden ser expresadas por distintas escalas
- ✓ No redundantes: su efecto no debe causar dobles consecuencias en el resultado final

Al igual que con los métodos determinísticos la escala de funcionamiento es local.

Ninguno de estos métodos fue elegido para realizar la presente investigación ya que, como se mencionó, el uso de ellos es para una escala local por lo que para una escala estatal no sería práctico y los resultados obtenidos tendrían un bajo grado de confiabilidad.

El estudio de deslizamientos de laderas representa un reto para quienes se dedican a ello ya que los factores que los propician son inestables en tiempo y espacio y es complicado establecer un método único para su análisis. Lo adecuado es entonces utilizar el método que más se adapte a la región o punto específico que se esté estudiando.

En el caso de México el análisis de este tipo de eventos se ha realizado en su mayoría a escala local y algunos a escala regional (país) ya que el territorio nacional y las condiciones son distintas a lo largo y ancho del país. Un ejemplo de trabajo local es el de García_Palomo et al. (2006)⁷⁰ quienes realizan un mapa de inventario de eventos históricos de deslizamientos en la Sierra de Guadalupe en el norte de la Cuenca de México auxiliándose de software especializado para análisis espacial, mientras que un ejemplo de escala regional es el trabajo de Jaimes Tellez et al. (2008)⁷¹ donde realizan un modelo de estudio de peligro de deslizamientos en el país causados por sismos y lluvias mediante un sistema de información geográfica utilizando parámetros geotécnicos y una escala cualitativa.

⁷⁰ García-Palomo, et al. 2006. Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico Basin. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Número Especial de Geología Urbana Tomo LVIII, núm. 2, 2006,

⁷¹ Jaimes Tellez et al. 2008. Peligro por deslizamientos en el país ante sismo y lluvia intensa integrado en un sistema de información geográfica. Geos, Vol. 28, No. 2, Octubre, 2008

- **AHP (Analytic hierarchy process). Saaty (1980)⁶⁴ y Barredol (2000)⁶⁵**

Este método construye jerarquías de factores decisivos y hace comparaciones entre parejas en una matriz donde se le asigna una tasa de consistencia. Basado en 3 principios: descomposición, juicio comparativo y síntesis de prioridades.

- **WLC (Weighted linear combination), Ayalew (2004)⁶⁶**

Combina mapas de deslizamiento elaborados con elementos de influencia aplicando una escala estandarizada para cada clase de parámetro (peso primario) y una ponderación para cada factor (peso secundario).

- **OWA (Ordered weighted averaging), Ayalew (2004)⁶⁷**

Método que establece una escala de peso creciente o decreciente a los factores o se inclina hacia alguno para generar el mapa.

En este trabajo el método utilizado fue el OWA, ya que la información con la que se cuenta permite establecer una escala de peso creciente, la cual ha sido definida por el CENAPRED como "Niveles de peligro de deslizamiento" en su diagnóstico de riesgos del programa de prevención y control de desastres en la República Mexicana.

⁶⁴ Saaty, T.L., 1980. The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York

⁶⁵ Barredol, et al. 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

⁶⁶ Ayalew. Et al, 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides 1.

⁶⁷ Ayalew. Et al, 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides 1.

3.5 ANÁLISIS DE RIESGO DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

La zonificación de amenazas de deslizamientos generalmente es imprecisa debido a que la inestabilidad de laderas es un problema de alta complejidad por la cantidad de factores que involucra sin embargo modelos ingenieriles y geográficos se aplican para realizar este tipo de análisis.

Un estudio completo de riesgos, debe definir el número de personas amenazadas, así como las propiedades y el medio ambiente. El cálculo del riesgo es primariamente, un tratamiento matemático, basado en la amenaza, los elementos en riesgo y la vulnerabilidad de éstos⁷².

Leroi⁷³ comenta que el análisis espacial de zonas de riesgo todavía es una evaluación tipo ejercicio y que comúnmente no provee información suficiente para el diseño de las soluciones. Sin embargo, en este trabajo se pretende mostrar que este tipo de estudios pueden arrojar resultados útiles para la planeación, sobre la localización de obras o asentamientos humanos, y la estimación de habitantes e infraestructura vulnerable.

Para realizar el análisis del riesgo también existen dos tipos de métodos, cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos incluyen información de zonas peligrosas, elementos en riesgo y sus vulnerabilidades expresando los resultados de forma cualitativa. Los atributos se clasifican en una forma prácticamente verbal.

Por su parte los métodos cuantitativos analizan la distribución probable del peligro, determina la naturaleza, características y localización de los elementos en riesgo y mide el grado o probabilidad de afectaciones, ya sea poblaciones o infraestructura.

⁷² Suarez, J. Deslizamientos. Análisis geotécnico. www.erosion.com.co

⁷³ Leroi, E., 1996. Landslide hazard – Risk maps at different scales: Objectives, tools and developments. Landslide hazard – Risk maps at different scales: Objectives, tools and developments. In Landslides, Proc. Int. Symp. On Landslides, Trondheim, 17-21 June (Ed. K. Senneset

El riesgo puede ser estimado conforme a la siguiente ecuación (Chau, 2003)⁷⁴:

$$\text{Riesgo } (x) = \text{peligro } (x) * \text{elementos en exposición } (x)$$

Aplicado para deslizamiento de laderas:

Riesgo (x) = índice o medida de afectación

Peligro (x) = deslizamientos

Elementos en Exposición (x) = población y vías carreteras

En un mapa de análisis de riesgo es conveniente incluir los diversos asentamientos humanos, indicando las densidades poblacionales, para poder definir las magnitudes de los riesgos relacionados con las vidas humanas y los bienes materiales.⁷⁵

Para el caso de este trabajo el estudio de riesgo se realizó con un método cuantitativo aplicando la ecuación de Chau, en la cual el peligro son los resultados obtenidos en el mapa de peligros mientras que los elementos expuestos son las vías carreteras y la población relacionada a ellas. Arrojando como resultados la localización de la población afectada y la cantidad de vías carreteras ubicadas en zonas de muy alto grado de peligro.

⁷⁴ Chau, 2003. Landslide hazard analysis for HongKong using landslide inventory and GIS. Computers & Geosciences 30 (2004)

⁷⁵ Suarez, J. Deslizamientos. Análisis geotécnico. www.erosion.com.co

4. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE PELIGRO DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

En este capítulo se presenta la propuesta de una metodología de análisis espacial para elaborar un mapa de peligro debido a deslizamientos de laderas aplicada para México, específicamente para el estado de Puebla. El método de apoyo utilizado, como se mencionó en el capítulo anterior, fue el Orderer Weighted Averaging (OWA) con la escala propuesta por el CENAPRED (Tabla 3.3), ya que a cada factor se le puede asignar un peso conforme el grado de peligro. De este modo la generación del mapa se realizó conforme una multiplicación ponderada (Voogd, 1983)⁷⁶:

$$I = \sum_{i=1}^n X_{i1}j_1 X_{i2}j_2 \dots X_{in}j_n$$

Dónde:

I = índice de peligro

X_{ij} = peso de la clase i del factor j

Los factores, tomados de la escala propuesta por el CENAPRED fueron:

j₁ = Litología

j₂ = Unidades climáticas

j₃ = Unidades de precipitación

j₄ = Zonas sísmicas

j₅ = Precipitación

El software utilizado fue ArcGIS 9.3 con datos vectoriales del INEGI, escala 1:1 000 000. A cada uno de los factores se les asignó un peso conforme la escala del CENAPRED como:

1: peligro bajo, 2: peligro medio, 3: peligro alto, 4: peligro muy alto

⁷⁶ Modificado de Hervás et al, 2002. Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria). En F. J. Ayala – Carcedo y J. Corominas, (eds.) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España, Instituto Geológico y Minero de España.

4.1. MAPAS RASTER

El primer paso para realizar el análisis de peligro fue crear mapas raster, los cuales se crearon a partir de la ponderación de factores (j1=litología, j2=unidades climáticas, j3=unidades de precipitación, j4=zonas sísmicas y j5=topografía). La ponderación se realizó utilizando la tabla 3.3 **Niveles de peligro de deslizamiento según el Centro Nacional de Prevención de Desastres.**

Para el factor Litología, los datos vectoriales del INEGI hacen una clasificación de 26 tipos de roca (Tabla 4.1), por ejemplo para el caliche, que es un suelo residual producido por intemperismo, la tabla del CENAPRED (Tabla 3.3) lo clasifica como peligro muy alto por lo que se le asignó un valor de 4. Lamentablemente no se pudo asignar un peso considerando la alteración de cada tipo de roca porque esa información solo puede obtenerse en el campo y visitar cada sitio del estado de Puebla hubiera resultado inviable para los efectos de la investigación. En la figura 4.1 se muestra como se clasificaron cada uno de los polígonos referentes a litología para después realizar el mapa raster.

Tabla 4.1 Clasificación de la Litología con base en la escala propuesta por CENAPRED.

LITOLOGÍA	PESO	LITOLOGÍA	PESO
Arenisca	2	Lutita	4
Arenisca – conglomerado	3	Lutita – Arenisca	3
Brecha sedimentaria	4	Metasedimentaria	3
Caliche	4	Mármol	3
Caliza	1	Suelo	4
Caliza - Lutita	2	Travertino	4
Caliza - Yeso	3	Volcanoclástico	4
Cataclasita	2	Yeso	4
Conglomerado	2	Ígnea extrusiva básica	1
Cuarcita	4	Ígnea extrusiva intermedia	2
Esquisto	4	Ígnea extrusiva ácida	1
Gneis	3	Ígnea intrusiva intermedia	3
Limolita – Arenisca	3	Ígnea intrusiva acida	3

Mediante el programa ArcGIS 9.3 se transformaron los polígonos a una imagen raster donde se agruparon por pesos, arrojando como resultado cuatro zonas clasificadas como:

Verde: Peligro Bajo

Amarillo: Peligro Medio

Rojo Claro: Peligro Alto

Rojo Intenso: Peligro Muy Alto

La figura 4.1 muestra el mapa creado para Litología en formato Raster que servirá junto con los otros factores (Clima, Topografía, Precipitación y Zonas Sísmicas) para realizar una suma de mapas y obtener el Mapa de Peligros por Deslizamientos para el Estado de Puebla.

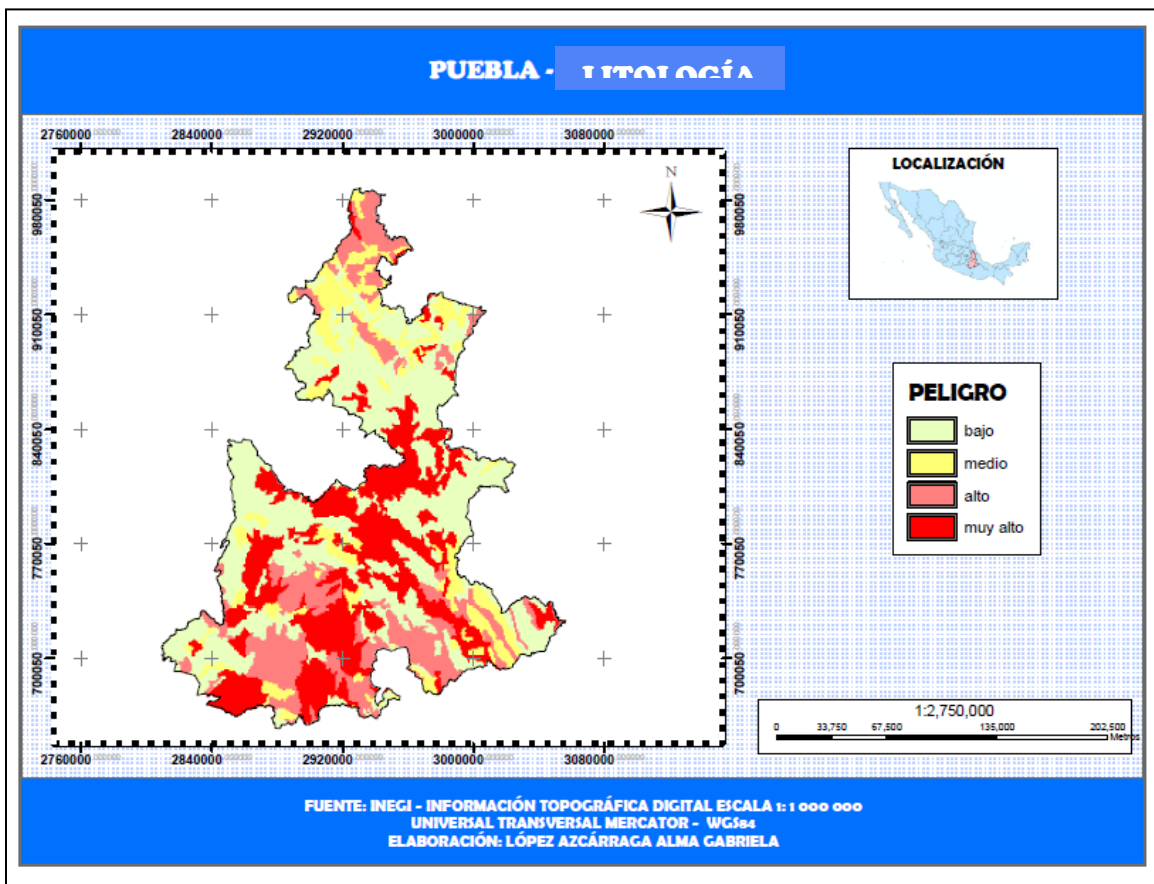


Figura 4.1 Mapa de clasificación litológica para el Estado de Puebla. Escala 1:275000.

El mismo procedimiento se realizó para los factores Clima (Figuras 4.2 y 4.2), Precipitación (Figuras 4.4 y 4.5) y Zonas Sísmicas (Figuras 4.6 y 4.7). INEGI clasifica en 13 grupos el tipo de clima en el estado de Puebla, para el factor de precipitación también se encontraron 13 clases mientras que para el factor zonas sísmicas se tomó en cuenta el Mapa de Zonificación sísmica de México elaborado por el CENAPRED, en el cual el estado de Puebla queda ubicado dentro de las zonas B y C, siendo éstas peligro medio y alto.

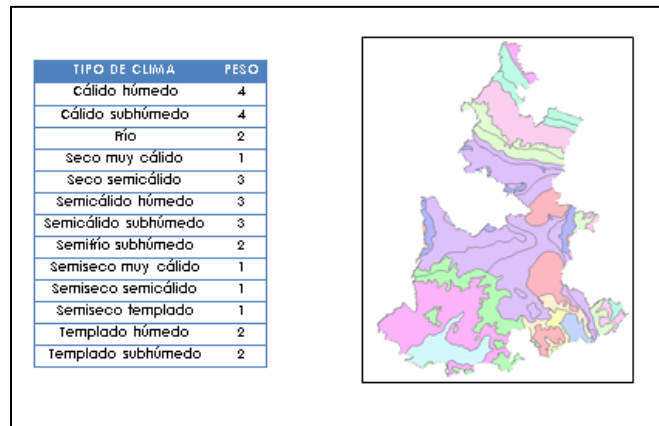


Figura 4.2 Clasificación de polígonos del factor Clima

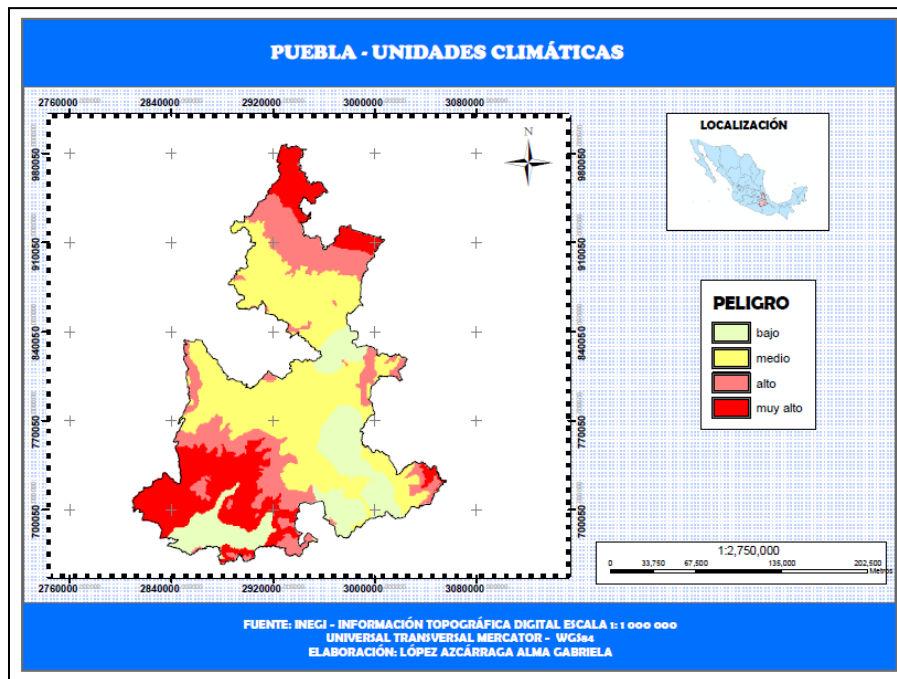


Figura 4.3 Mapa de clasificación climática para el Estado de Puebla. Escala 1:275000.

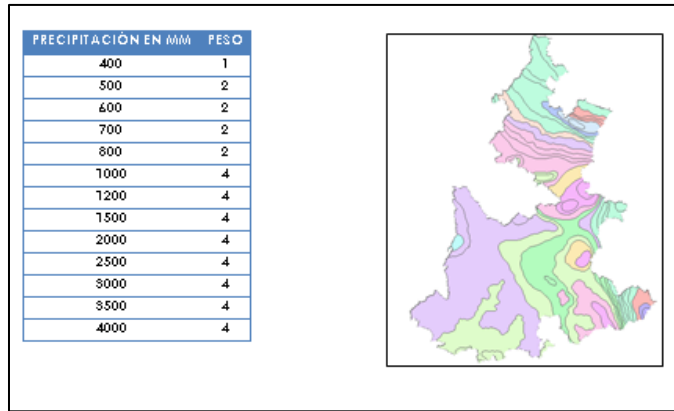


Figura 4.4 Clasificación de polígonos del factor Precipitación

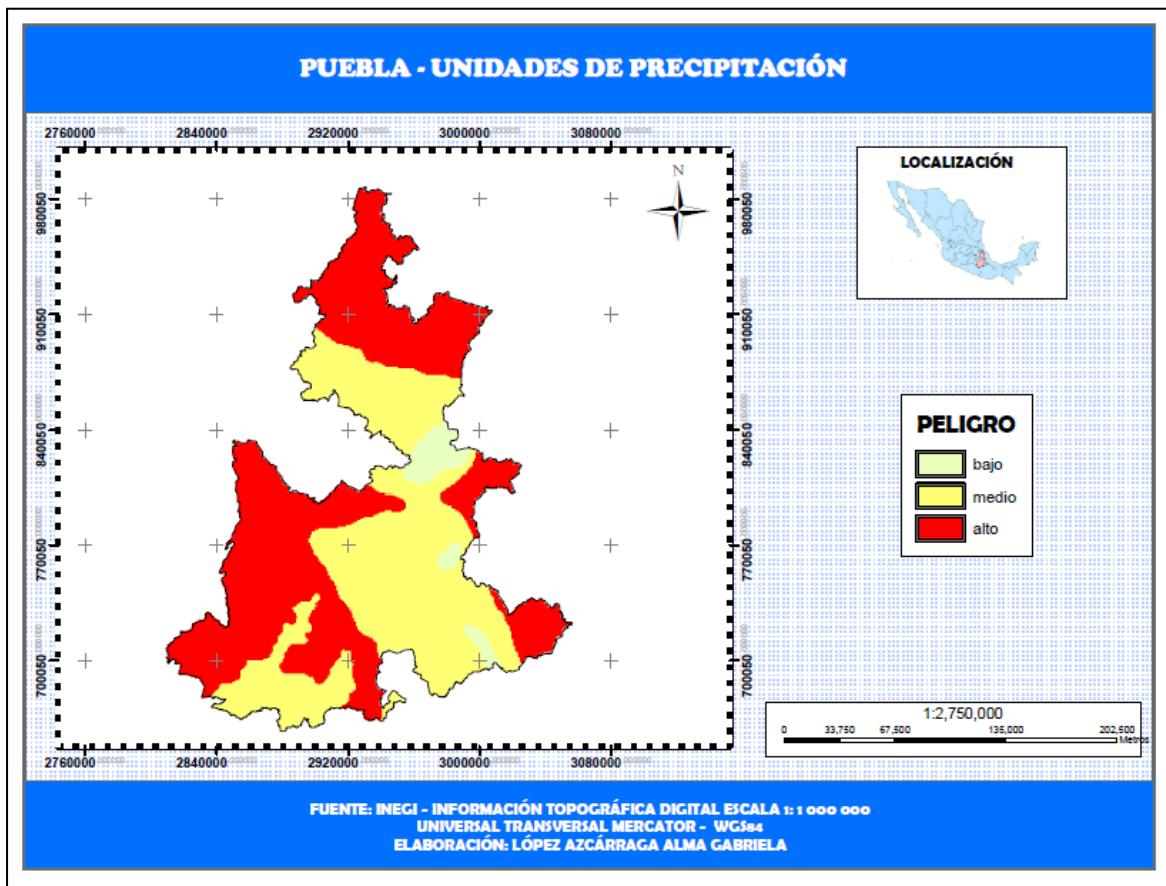


Figura 4.5 Mapa de clasificación de unidades de precipitación para el Estado de Puebla. Escala 1:275000.

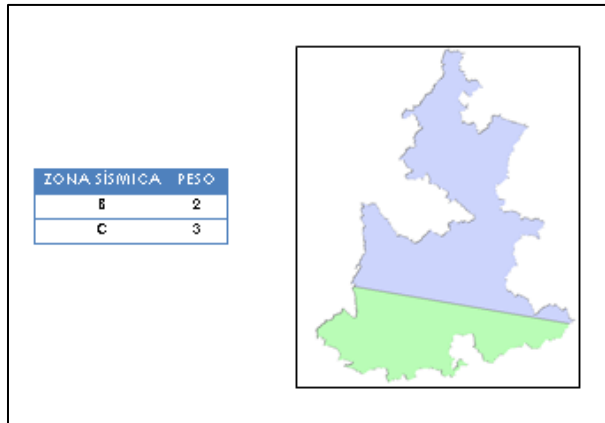


Figura 4.6 Clasificación de polígonos del factor Zonas Sísmicas. En Azul se observa la zona B y en Verde la zona C.

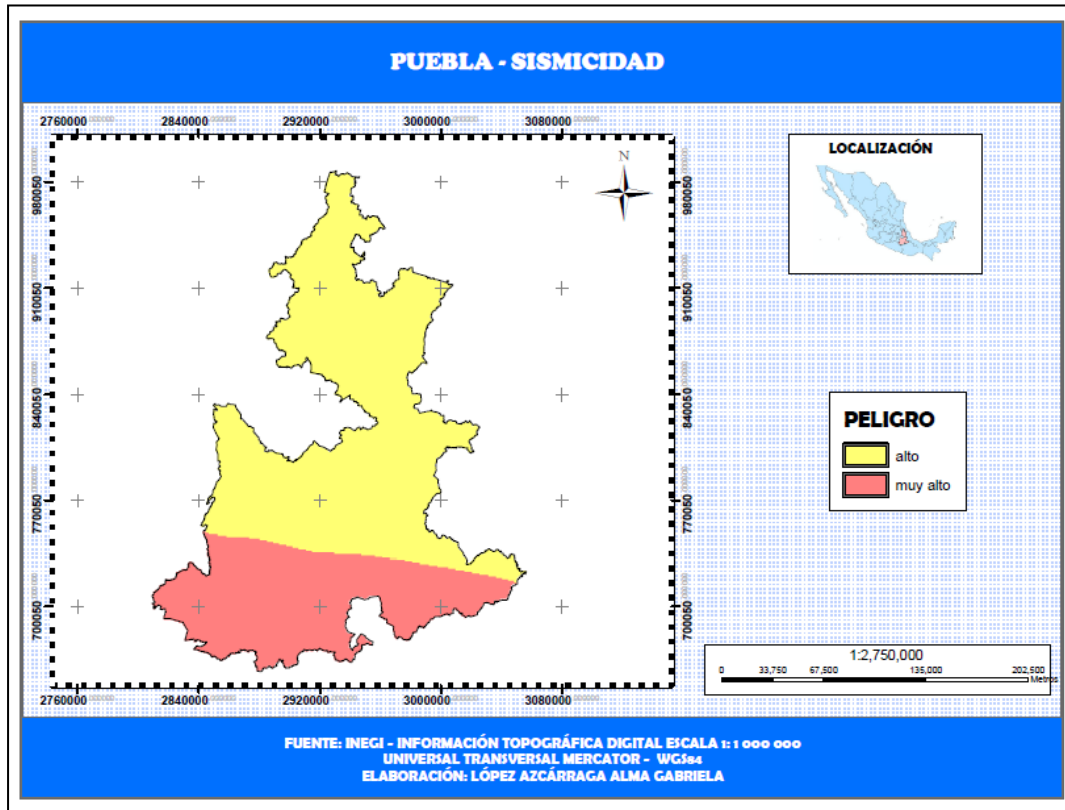


Figura 4.7 Mapa de clasificación de zonas sísmicas para el Estado de Puebla. Escala 1:275000.

En el caso del factor Topografía se realizó un modelo digital de elevación utilizando curvas de nivel (escala 1:250000) (Figuras 4.8 y 4.9) y a partir de este hacer un modelo de pendiente (4.10). Los valores de inclinación del terreno para el estado de Puebla tienen valores de 0° a 34°, los cuales fueron ponderados conforme a la escala del CENAPRED (Tabla 3.3). Estos modelos también fueron realizados con el software ArcGIS 9.3

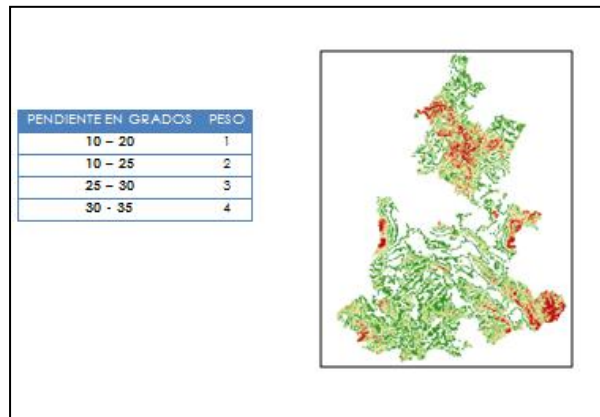


Figura 4.8. Clasificación del factor topografía a partir de un modelo digital de pendiente elaborado con curvas de nivel INEGI 1:1000000

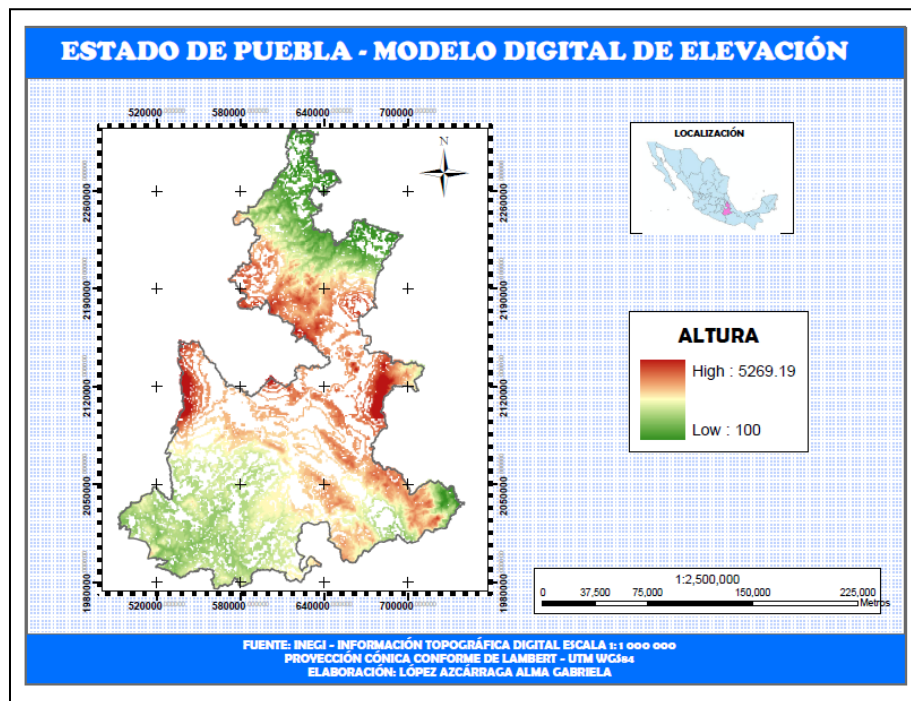


Figura 4.9. Modelo digital de elevación Estado de Puebla. Escala 1:2500000.

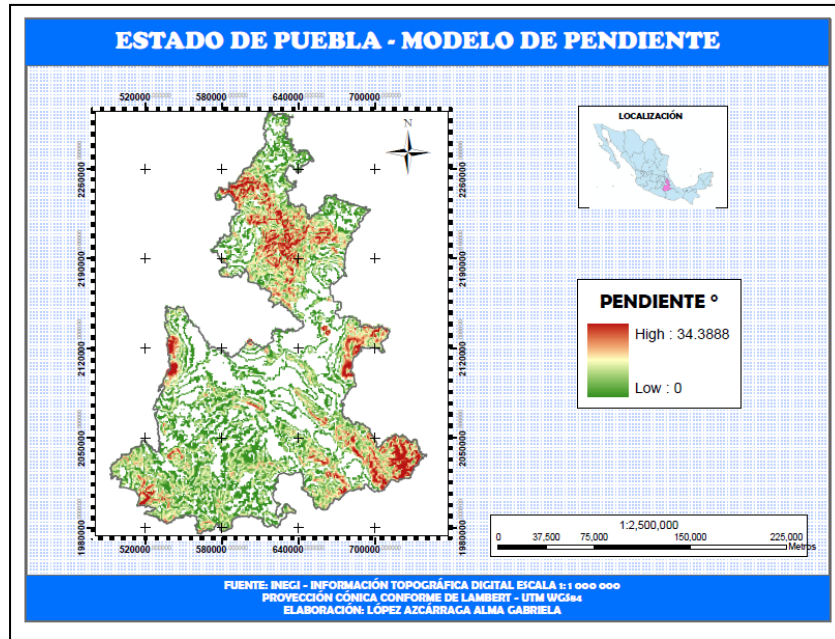


Figura 4.10 Modelo de pendiente. Estado de Puebla. Escala 1:2500000.

Después de realizar el modelo de pendiente se hizo una reclasificación de los valores de la imagen raster para hacer una ponderación con base en la escala propuesta por el CENAPRED. Figura 4.11.

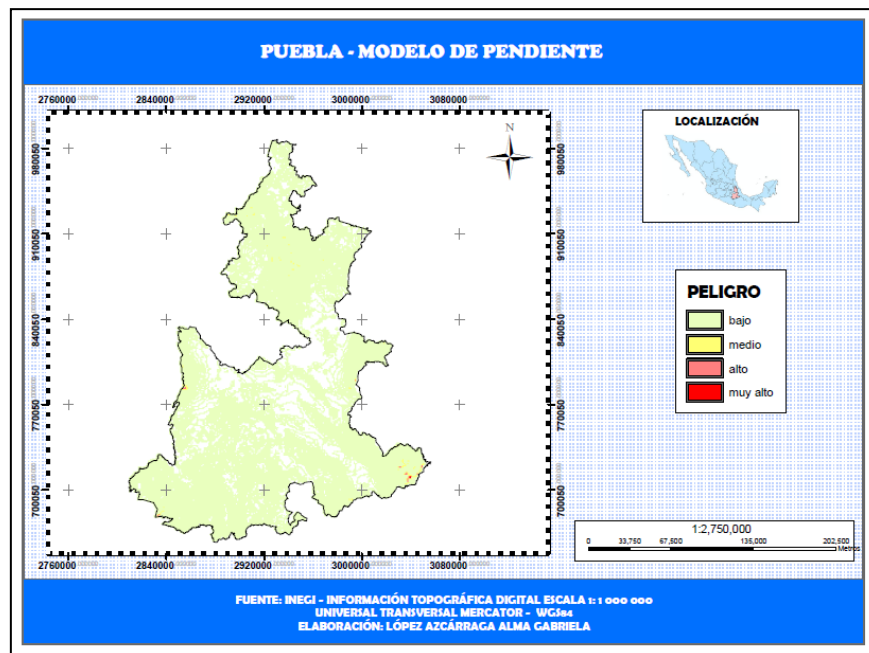


Figura 4.11. Modelo de pendiente ponderado. Estado de Puebla. Escala 1:2750000.

4.2 MAPA DE PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

Una vez obtenidos los mapas raster de cada uno de los factores, se realizó la suma de éstos (ecuación de Voogd) (Figura 4.12), multiplicando las imágenes raster para obtener el mapa de peligro debido a deslizamientos de laderas para el Estado de Puebla.

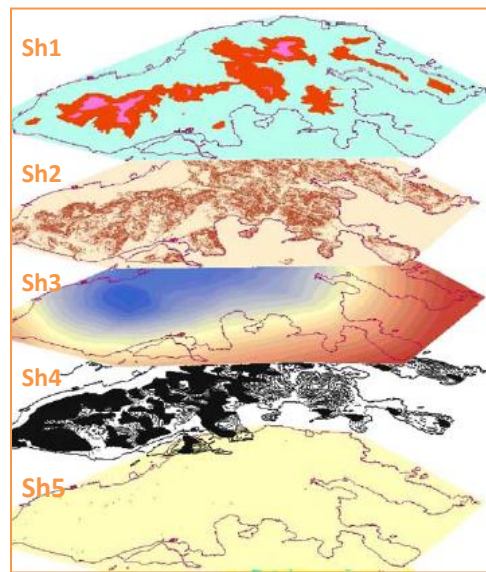


Figura 4.12. Superposición de capas. Capas raster que generan el mapa. Sh1: geología, Sh2: clima, Sh3: pendiente, Sh4: precipitación, Sh5: sismicidad. Modificado de K.T. Chau., 2003. Landslide hazard analysis for HongKong using landslide inventory and GIS.

Posteriormente se clasificó la imagen raster en cuatro clases: peligro bajo, medio, alto y muy alto. De este modo se obtiene el mapa de peligros debido a deslizamientos de laderas. Figura 4.13

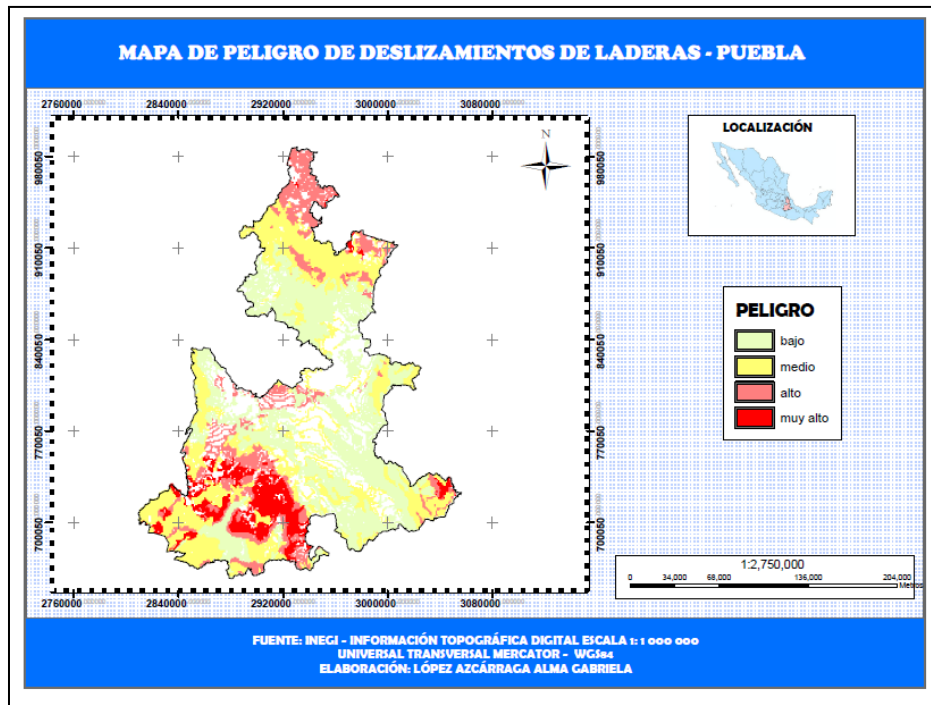


Figura 4.13. Mapa de peligro de deslizamientos de laderas. Estado de Puebla. Escala 1:2500000.

4.3 MAPA DE PROBABILIDAD DE PELIGRO DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

Para poder contar con información cuantitativa que sirva como base para elaborar el mapa de riesgo se realizó un análisis predictivo y probabilístico de zonas de peligro, a partir del mapa cualitativo. El procedimiento se realizó con el método de Kriging⁷⁷ debido a que es útil para realizar interpolaciones para simular procesos naturales, donde intervienen variables estocásticas, los datos podrían ajustarse a una distribución normal ya que cada parámetro se obtiene como la suma de clases independientes.

En el mapa obtenido se puede observar el análisis predictivo en colores sólidos mientras que en el análisis probabilístico se ve como contornos. El color verde indica peligro bajo, naranja peligro medio, rojo claro peligro alto y rojo intenso peligro muy alto. Los contornos de probabilidades tienen una escala de valores que va del 0 a 1 donde 0 significa probabilidad nula y 1 significa 100% de probabilidad de ocurrencia (Figura 4.14).

⁷⁷ Método de Kriging: interpolación rápida que puede ser exacta o suavizada dependiendo del error medido del modelo. Es muy flexible y permite elaborar gráficas de autocorrelación espacial. Utiliza modelos estadísticos que permite calcular mapas predictivos, de error estandarizado, probabilístico, etc. Asume que los datos provienen de procesos estocásticos y de una distribución normal estándar de los datos. Tomado del Manual del Usuario Geostatistical Analyst ArcGIS 9.3 ESRI

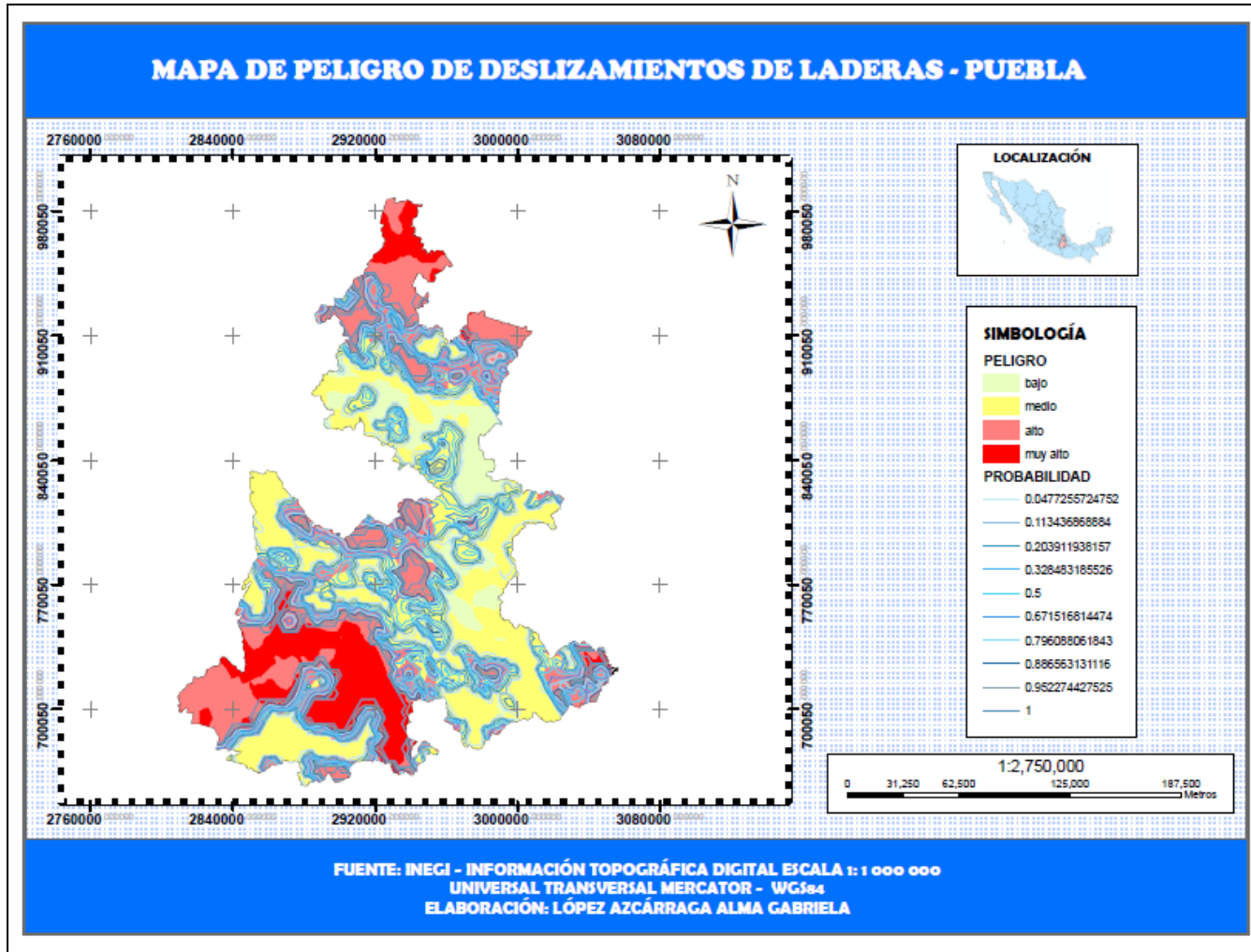


Figura 4.14. Mapa de probabilidad de peligro de deslizamientos de laderas. Estado de Puebla. Escala 1:2500000.

5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGO CARRETERO Y POBLACIONAL DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

El análisis espacial de riesgo se realizó con base en una metodología cuantitativa, se incorporaron datos vectoriales correspondientes a la infraestructura carretera del estado además de vehículos que transitan por esas vías y datos poblacionales por municipio. El diagrama 5.5 muestra una sobreposición topológica de la metodología utilizada para el análisis de riesgo, es decir, se muestra el uso del mapa de peligro obtenido sumado a las capas de población y carreteras para de este modo obtener el mapa de riesgo.

Con los datos de población e infraestructura carretera se calcularon densidad vial por superficie, densidad vial por población, vehículos en riesgo y población en riesgo en zonas con peligro alto y muy alto.

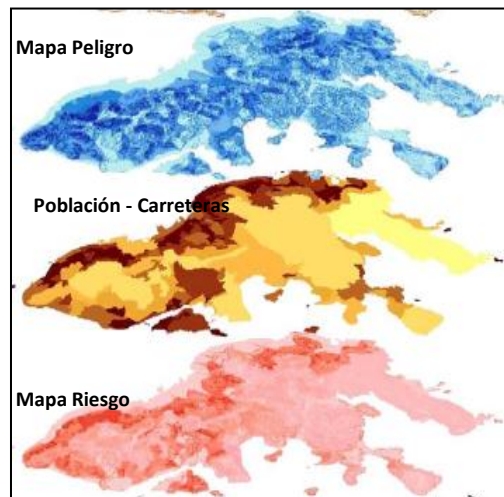


Figura 5.1. Diagrama de sobreposición topológica de la metodología para el análisis de riesgo. Modificado de K.T. Chau,, 2003. Landslide hazard analysis for HongKong using landslide inventory and GIS.

5.1. INCORPORACIÓN DE RED CARRETERA Y CÁLCULO DE DENSIDAD VIAL POR SUPERFICIE

Tomando como base el mapa de peligro se agregaron los datos vectoriales correspondientes a la infraestructura carretera (INEGI escala 1: 250 000).

Segmento de peligro	Longitud en km	Red carretera %
Bajo	4930.36	34.47
Medio	4181.86	29.24
Alto	3764.98	26.32
Muy alto	1422.03	9.94

Tabla 5.1. Longitud red carretera por segmento de peligro. Estado de Puebla. Calculado con ArcGIS 9.3

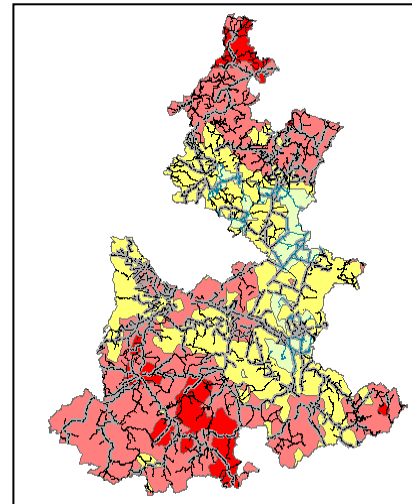


Figura 5.2. Imagen raster de peligro por deslizamientos de laderas con la red carretera del Estado de Puebla

La longitud total de la red carretera del estado de Puebla, según datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, es de 14,299.25 km. Con ayuda del sistema de información geográfica se pudo obtener información acerca de cuantos kilómetros de la red carretera se encuentran en cada segmento de peligro (Tabla 5.1 y Figura 5.3).

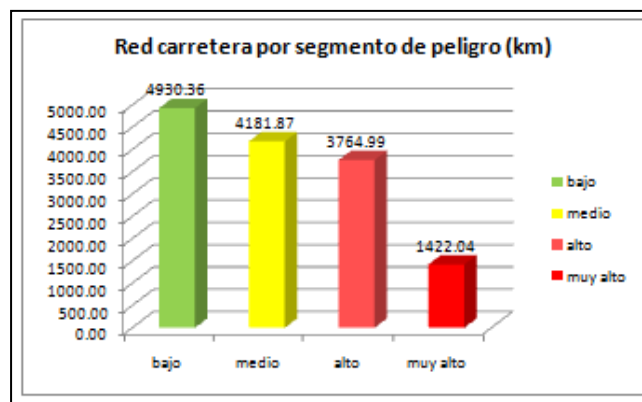


Figura 5.3. Gráfica red carretera por segmento de peligro.

Según la tabla 5.1 la magnitud es similar entre la longitud de la red en peligro medio y alto (26.32 - 29.24 %) , ambas corresponden a más del 50% de la longitud de la red (55.56%). La suma de la red en los segmentos de peligro alto y muy alto es más que el total del segmento de peligro bajo (36.26%).

La sección correspondiente al segmento de peligro bajo es el que presenta mayor longitud de carreteras (34.47%) mientras que el segmento muy alto es el que presenta una menor cantidad. Por otro lado la superficie total del estado de Puebla es 34,119.24 km². De los cuales el segmento de peligro bajo también es el que tiene mayor porcentaje (Tabla 5.2 y Figura 5.4).

Rango de peligro	Área en km ²	Porcentaje %
Bajo	14636.31	42.89
Medio	7776.14	22.79
Alto	8613.33	25.24
Muy alto	3093.46	9.06

Tabla 5.2. Área por segmento de peligro. Estado de Puebla. Calculado con ArcGIS 9.3

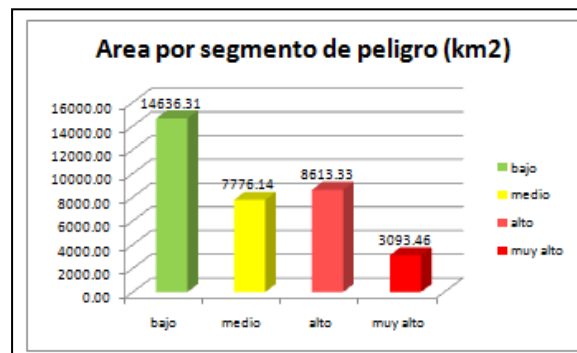


Figura 5.4. Gráfica área por segmento de peligro.

Para realizar el cálculo de la densidad vial por superficie (Dvs) se utilizó la ecuación de Chías⁷⁸ ocupando los datos obtenidos de área y longitud vial.

$$Dvs = \frac{L}{S}$$

Donde:

Dvs: densidad vial por superficie

L: longitud vial (km)

S: superficie (km²)

Segmento de peligro	Dvs
Bajo	0.3369
Medio	0.5378
Alto	0.4371
Muy alto	0.4597

Tabla 5.3. Densidad vial por superficie por segmento de peligro. Estado de Puebla.

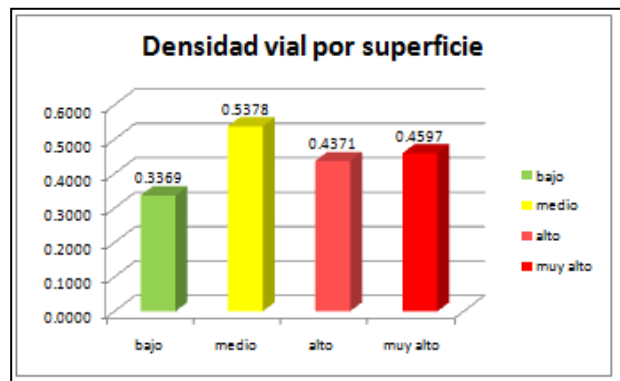


Figura 5.5. Gráfica densidad vial por superficie por segmento de peligro. Elaboración del autor.

Este factor indica la distribución vial por área que existe en el estado. El segmento con índice de densidad más alto es el de peligro medio, esto quiere decir que es la zona mejor comunicada con respecto a las demás. Por el contrario la zona con menor conectividad, es decir, la que presenta menor cantidad de vías en relación con el área, es la del segmento correspondiente al peligro bajo.

⁷⁸ Chías. Análisis espacial de las redes de transporte, empleando sistemas de información geográfica.

5.2 INCORPORACIÓN DE POBLACIONES Y CÁLCULO DE DENSIDAD DE RED VIAL POR POBLACIÓN

De igual manera que se agregaron los datos vectoriales de la red carretera, se agregaron datos vectoriales de poblaciones de INEGI – ITER para el año 2005⁷⁹. La población total del estado de Puebla en esta capa es de 5,379,986 habitantes.

Segmento de peligro	Población (hab)	Habitantes %
Bajo	2,933,942	54.53
Medio	1,116,053	20.74
Alto	1,144,352	21.27
Muy alto	185,639	3.4

Tabla 5.4. Población por segmento de peligro.
Estado de Puebla. Calculado con ArcGIS 9.3

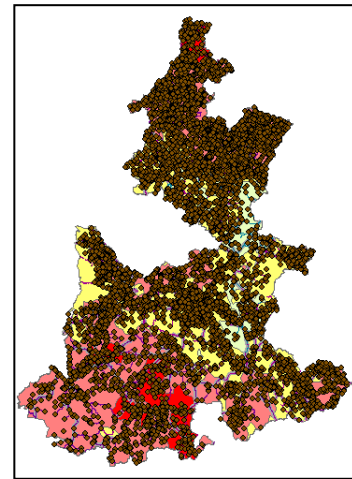


Figura 5.6. Raster peligro de deslizamientos y poblaciones.

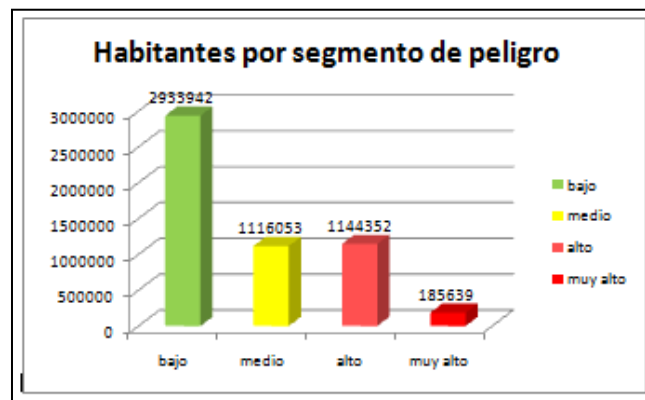


Figura 5.7. Gráfica habitantes por segmento de peligro.

⁷⁹ Se utilizaron datos del 2005 ya que en el momento de realizar el estudio solo se tenían esos datos disponibles.

Utilizando la ecuación (Chías)⁸⁰, se calculó la densidad vial de la red por población, que es un indicador que da a conocer zonas donde la población puede llegar a saturar la infraestructura vial disponible.

$$Dvp = \frac{L}{H * 1000}$$

Donde:

Dvp= densidad vial de la red por población

L= longitud vial (km)

H= número de habitantes

Segmento de peligro	Dvp
Bajo	0.5951
Medio	0.2669
Alto	0.3039
Muy alto	0.1305

Tabla 5.5. Densidad vial de la red por población. Estado de Puebla.

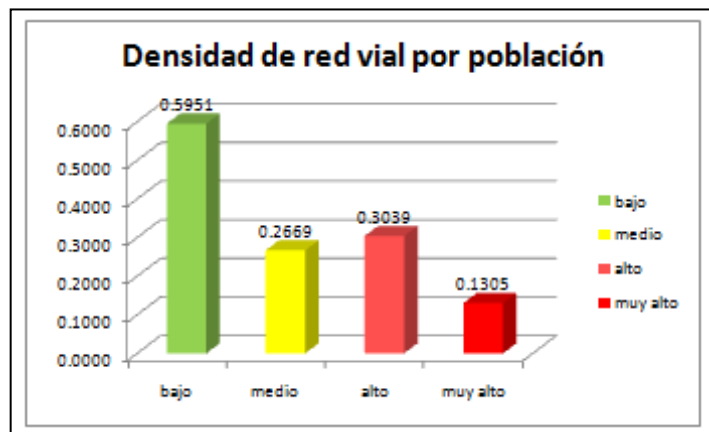


Figura 5.8. Gráfica densidad de red vial por población. Estado de Puebla.

La zona que es más propensa a saturarse, es decir, que la infraestructura vial no sea suficiente, es la de peligro bajo, seguida de la de peligro alto, lo cual indica que al ser una zona con más probabilidad (alrededor de 0.8)⁸¹ de presentar un evento, si éste ocurriera, habría una afectación en términos de red vial y población considerable. Por esta razón se realizará un cálculo de un índice de riesgo para los vehículos que transitan por las zonas con peligro alto y muy alto para medir el costo social que tendría un evento en puntos de la red donde hay datos de tránsito diario promedio anual medidos. Las zonas con peligro

⁸⁰ Chías. Análisis espacial de las redes de transporte, empleando sistemas de información geográfica. Instituto de Geografía, UNAM. 10-14.

⁸¹ Ver Mapa de probabilidad de peligro de deslizamientos de laderas. Capítulo 3.

bajo y medio se descartaron debido a sus valores de probabilidad (menores a 0.5)⁸², la razón de no tomar en cuenta estas zonas es que existe menos del 50% de probabilidad que ocurra un deslizamiento de laderas y la intención de este trabajo es enfocarse en eventos con un valor mayor probabilidad de ocurrencia que el mencionado.

5.3 CÁLCULO DE VEHÍCULOS EN RIESGO

Usando la siguiente ecuación se realizó el cálculo de los vehículos en riesgo (Pierson 1990)⁸³:

$$AVR = \frac{Lh Vh ADT}{PSL}$$

Donde:

AVR: índice de riesgo

Lh: longitud de la zona amenazada por caídos de roca en km

Vh: probabilidad de que un vehículo se encuentre en el lugar del evento en porcentaje

ADT: promedio de tránsito diario

PSL: velocidad señalada en km/h

Para efectos de este trabajo la velocidad señalada en los segmentos se tomó como 80 km/h para segmentos pavimentados, en caso de caminos de terracería la velocidad recomendada es 50 km/h, estos valores son los recomendados por el autor. En este trabajo no se consideraron ese tipo de caminos ya que los datos vectoriales utilizados no contaban con esa información. La longitud de los segmentos se calculó mediante el software ArcGIS 9.3, la probabilidad de que un vehículo se encuentre en el lugar del evento se tomó como 100%, la razón de tomarse ese valor es debido a que indica la

⁸² Ver Mapa de probabilidad de peligro de deslizamientos de laderas. Capítulo 3.

⁸³ Pierson, 1990. The rockfall hazard rating system. Oregon Department of Transportation.

presencia del vehículo en la vía en el momento del evento. El promedio de tránsito diario se obtuvo con los datos viales 2010 de la SCT, se tienen datos en 365 puntos del estado⁸⁴.

Los segmentos para los que se realizó el cálculo del índice de riesgo para vehículos fueron alto y muy alto, los segmentos bajo y medio se descartaron debido a que la probabilidad que exista un deslizamiento es menor a 0.5⁸⁵

Se localizaron 55 puntos con datos de TDPA en las zonas con peligro alto y muy alto. Para estos se obtuvo el índice de vehículos en riesgo lo cual se muestra en la tabla 5.6.

1	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	CHILA	192.3	8	2447	80	422
2	45	RAMALATULCINGODELVALLE	T.IZQ.PIAXTLA	7.31	13.7	2466	80	767
3	30	CUAPIAXTLA-ACATLANDEOSORIO	ACATLANDEOSORIO	127	1	2358	80	2603
4	45	RAMALATULCINGODELVALLE	T.C.PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	0	7.31	3116	80	759
5	16	TEHUACAN-HUAJUAPANDELEON	ZAPOTITLANSALINAS	28	27.8	2207	80	2081
6	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	TEHUITZINGO	113.3	40.9	5091	80	1243
7	46	TEHUACAN-HUITZO	T.DER.SANGABRIELCHILAC	14.4	8.6	7062	80	1049
8	16	TEHUACAN-HUAJUAPANDELEON	TEHUACAN	0	28	5945	80	5101
9	16	TEHUACAN-HUAJUAPANDELEON	TEHUACAN	0	1	5786	80	1838
10	46	TEHUACAN-HUITZO	TEHUACAN	0	14.4	6906	80	1814
11	27	AMAYUCA-IZUCARDEMATAMOROS	T.DER.CHIETLA	53	14.5	5788	80	3751
12	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	T.DER.CUAUTLA	70	43.3	9425	80	1640
13	31	IZUCARDEMATAMOROS-TEPEXIDERODRIGUEZ	ZACAPALA	46	16	1882	80	596
14	14	STABARBARA-IZUCARDEMATAMOROS	X.C.AMAYUCA-IZUCARDEMATAMOROS	134.99	3.15	10010	80	3790
15	27	AMAYUCA-IZUCARDEMATAMOROS	X.C.SANTABARBARA-IZUCARDEMATAMOROS	67.5	1	8537	80	1533
16	27	AMAYUCA-IZUCARDEMATAMOROS	X.C.SANTABARBARA-IZUCARDEMATAMOROS	67.5	1.5	15744	80	1927
17	31	IZUCARDEMATAMOROS-TEPEXIDERODRIGUEZ	IZUCARDEMATAMOROS	0	46	3196	80	6045
18	14	STABARBARA-IZUCARDEMATAMOROS	X.C.AMAYUCA-IZUCARDEMATAMOROS	134.99	1	7941	80	2688
19	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	IZUCARDEMATAMOROS	67	3	10764	80	650
20	14	STABARBARA-IZUCARDEMATAMOROS	T.DER.TENANGO	102.96	0.27	3916	80	553
21	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	TEPEOJUMA	51.9	15.1	9609	80	5741
22	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	ATLIXCO	29.88	22.02	13628	80	2860
23	43	PUEBLA-ATLIXCO.CUOTA	ATLIXCO	25.3	1	4694	80	1605
24	43	PUEBLA-ATLIXCO.CUOTA	ATLIXCO	25.3	1	4799	80	1594
25	7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	ATLIXCO	29.88	1	14396	80	531
26	8	PUEBLA-TEHUACAN	AMOZOC	17.86	1	10139	80	245

⁸⁴ Datos viales, 2010. Estado de Puebla. Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

⁸⁵ Ver Mapa de probabilidad de peligro de deslizamiento de laderas. Capítulo 4.

27	8	PUEBLA-TEHUACAN	AMOZOC	17.86	1	10091	80	29
28	8	PUEBLA-TEHUACAN	CHACHAPA	8.4	1	13857	80	285
29	8	PUEBLA-TEHUACAN	CHACHAPA	8.4	9.46	13867	80	72
30	8	PUEBLA-TEHUACAN	T.IZQAENLACECONAUT.PUE-CORDOBA	5.83	1	18714	80	376
31	8	PUEBLA-TEHUACAN	T.IZQAENLACECONAUT.PUE-CORDOBA	5.83	2.57	18543	80	394
32	24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	T.DER.AMOZOC.CASETADECOBRO	21.55	1	11760	80	107
33	24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	T.DER.AMOZOC.CASETADECOBRO	21.55	25.55	11867	80	295
34	24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	T.DER.AMOZOC.CASETADECOBRO	21.55	1	15439	80	99
35	24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	T.DER.AMOZOC.CASETADECOBRO	21.55	1	15611	80	404
36	1	AMOZOC-TEZUITLAN	X.C.PUEBLA-CORDOBA(CUOTA)	1.4	10.6	11568	80	13
37	20	AMOZOC-PEROTE.CUOTA	CASETADECOBROAMOZOC	0.68	19.4	7945	80	59
38	20	AMOZOC-PEROTE.CUOTA	T.C.PUEBLACORDOBA.CUOTA	0	0.68	6222	80	60
39	24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	PUEBLA	0	1	21794	80	180
40	24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	PUEBLA	0	21.55	22440	80	127
41	1	AMOZOC-TEZUITLAN	ACAJETE	12	23.5	9150	80	126
42	4	MEX-PUE	T.IZQ.AEROPUERTO	92.8	1	6320	80	173
43	4	MEX-PUE	T.IZQ.AEROPUERTO	92.8	8.2	6341	80	234
44	32	RAMALAAEROPUERTOHNOS.SERDAN	T.MEXICO-PUEBLA.LIBRE	9	1	4690	80	147
45	32	RAMALAAEROPUERTOHNOS.SERDAN	T.AUT.MEX-PUE.CUOTA	0	9	4914	80	193
46	23	MEXICO-PUEBLA.CUOTA	CASETADECOBROSANMARTINTEXMELUCAN	91	12	38271	80	195
47	23	MEXICO-PUEBLA.CUOTA	T.IZQ.TLAXCALA	90.61	1	15866	80	53
48	23	MEXICO-PUEBLA.CUOTA	T.IZQ.TLAXCALA	90.61	0.39	14945	80	272
49	4	MEX-PUE	X.C.MEX-PUE.CUOTA	74.1	13.9	16458	80	79
50	10	RAMALNUEVONECAXA	NUEVONECAXA	1.5	1	2552	80	59
51	35	RAMALAZIHUATEUTLA	T.C.PACHUCA-TUXPAM	0	13	1961	80	198
52	5	PACHUCA-TUXPAN	VILLAAVILACAMACHO	141.75	1	7484	80	73
53	5	PACHUCA-TUXPAN	VILLAAVILACAMACHO	141.75	16.95	7577	80	32
54	5	PACHUCA-TUXPAN	NEGRAS	158.7	15.4	8282	80	319
55	5	PACHUCA-TUXPAN	T.IZQ.VENUSTIANOCARRANZA	174.1	5.9	7205	80	94

Tabla 5.6. Puntos para los que se calculó el índice de vehículos en riesgo AVR. ID = número de identificación, NCARR= número de carretera según la SCT, NOMCARR= nombre de la carretera según la SCT, TRAMO= nombre del tramo, KM = kilómetro donde se tomó la medición del TDPA, Long= longitud del tramo, TDPA= tránsito diario promedio anual, V= velocidad tomada, AVR= índice de vehículos en riesgo.

Los 55 puntos donde fue calculado el índice de vehículos en riesgo se agrupan en 19 vías carreteras (Tabla 5.7) encontrando la número 7 “Puebla - Huajuapán de León” con mayor número de vehículos/hora en riesgo (13,087), lo cual es consistente con las poblaciones

que conecta ya que son las que presentan un mayor número de habitantes y de importancia económica, éstas son la ciudad de Puebla, Atlixco e Izúcar de Matamoros. En segundo lugar se encuentra la carretera 16 “Tehuacán – Huajuapán de León”, seguida de la carreteras 27, 14 y 31 que conectan el poblado de Izúcar de Matamoros, lo que concentra en la parte centro - suroeste del estado buena parte del tránsito en riesgo que circula por la red carretera. Además la mayor parte de los tramos en riesgo pertenecen a jurisdicción federal.

El total de vehículos en riesgo es 58,173 lo que representa un 2% del tránsito diario promedio anual del estado de Puebla. (4, 024,609 vehículos).

7	PUEBLA-HUAJUAPANDELEON	Red federal libre	7	13087
16	TEHUACAN-HUAJUAPANDELEON	Red federal libre	3	9020
27	AMAYUCA-IZUCARDEMATAMOROS	Red estatal libre	3	7211
14	STABARBARA-IZUCARDEMATAMOROS	Red federal libre	3	7031
31	IZUCARDEMATAMOROS-TEPEXIDERODRIGUEZ	Red estatal libre	2	6641
43	PUEBLA-ATLIXCO.CUOTA	Red estatal cuota	2	3199
46	TEHUACAN-HUITZO	Integrada por tramos federales y estatales	2	2863
30	CUAPIAXTLA-ACATLANDEOSORIO	Red estatal libre	1	2603
45	RAMALATULCINGODELVALLE	Integrada por tramos federales y estatales	2	1526
8	PUEBLA-TEHUACAN	Red federal libre	6	1401
24	PUEBLA-CORDOBA.CUOTA	Red federal cuota	6	1212
23	MEXICO-PUEBLA.CUOTA	Red federal cuota	3	520
5	PACHUCA-TUXPAN	Red federal libre	4	518
4	MEX-PUE	Red federal libre	3	486
32	RAMALAAEROPUERTOHNOS.SERDAN	Red estatal libre	2	340
35	RAMALAZIHUATEUTLA	Red estatal libre	1	198
1	AMAZOC-TEZUITLAN	Red federal libre	2	139
20	AMAZOC-PEROTE.CUOTA	Red federal cuota	2	119
10	RAMALNUEVONECAXA	Red federal libre	1	59

Tabla 5.7. Carreteras en las que se calculó el índice de Vehículos en riesgo AVR. Estado de Puebla. Orden de mayor a menor AVR

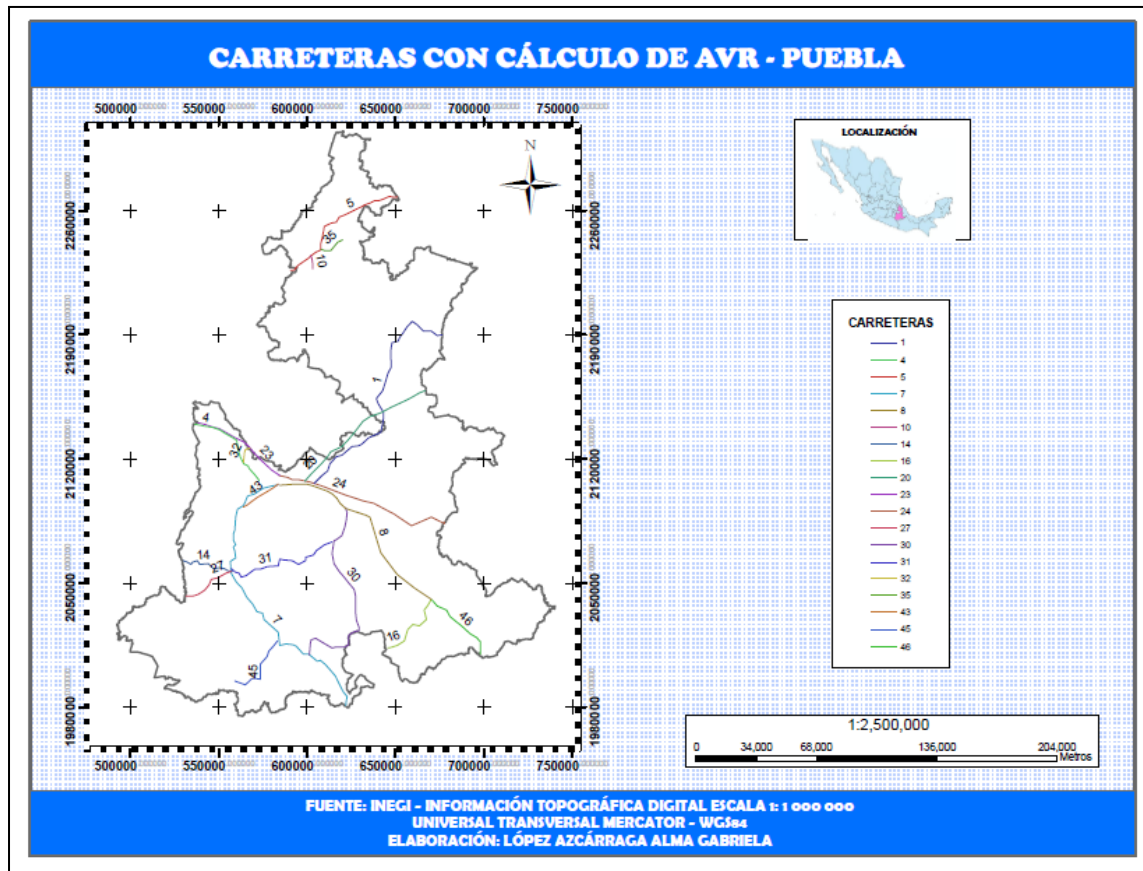


Figura 5.9. Mapa de carreteras donde se realizó el cálculo de Índice de vehículos en Riesgo AVR. Estado de Puebla. Escala 1:2,500,000.

5.4 CÁLCULO DE HABITANTES EN RIESGO

Para medir la población en riesgo se utilizó la siguiente ecuación (modificado de Ragozin y Tikhvinsky, 2000)⁸⁶.

$$R_p = \sum P(L_i) V_{ji} Q_j$$

Donde:

$P(L_i)$ = probabilidad que se presente el deslizamiento i

V_{ji} = vulnerabilidad de la infraestructura j a la acción del deslizamiento i

Q_j = costo total de la infraestructura j

Los valores de probabilidad se tomaron de los polígonos del mapa de probabilidad de peligro de deslizamientos de laderas realizado (Figura 4.23), la vulnerabilidad se tomó como 100%, ya que eso significa que la infraestructura (en este caso las vías carreteras) están totalmente expuestas al evento (deslizamiento); y el costo total de la infraestructura es en este caso la sumatoria de la población en las zonas de peligro alto y muy alto. El número de habitantes por zona de probabilidad se calculó con el software ArcGIS 9.3.

183664	0.95	1	174481
92942	0.89	1	82718
164752	0.8	1	131802
200528	0.67	1	114301
346400	0.5	1	173200
333845	0.3	1	100154
TOTAL			776655

Tabla 5.8. Cálculo de habitantes en zonas de probabilidad de peligro. Q_j = Número de habitantes. $P(L_i)$ =polígono de probabilidad de ocurrencia de un evento, V_{ij} = vulnerabilidad de la infraestructura, R_p = Habitantes en riesgo.

⁸⁶ Ragozin A. L., Tikhvinsky I. O. (2000) "Landslide Hazard, vulnerability and risk assessment. 8th international symposium on landslides Cardiff.

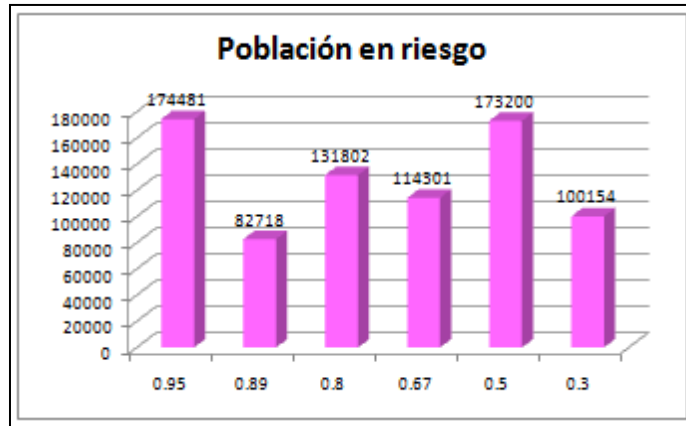


Figura 5.10. Gráfica cantidad de habitantes de riesgo de deslizamientos de laderas por polígono de probabilidad.

La población total en riesgo en zonas con peligro alto y muy alto es 776,655 personas, lo que representa el 15% de la población total del estado (5, 379,986).

5.5 MAPA DE RIESGO DEBIDO A DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

Finalmente para obtener el mapa de riesgo causado por deslizamientos se realizó la superposición topológica mostrada en la figura 5.1, es decir, la población en riesgo por segmento de probabilidad de ocurrencia y el índice de vehículos en riesgo (AVR) en zonas de peligro alto y muy alto, junto con el mapa de peligro obtenido. Figura 5.11.

5.6 ANÁLISIS POR TRAMO CARRETERO

Haciendo un cambio de escala, otra propuesta de estudio es realizar un análisis por tramo carretero para encontrar las poblaciones que resultarían aisladas y cuántos habitantes estarían en riesgo si un segmento de la red carretera quedará totalmente incomunicado debido a un deslizamiento. Como ejemplo se muestra el tramo Tepeojuma (kilómetro 51.9) de la carretera número 7 Puebla – Huajuapán de León. Este tramo presenta las siguientes características:

- Longitud vial: 15.1 km
- TDPA: 9,609 vehículos (76.8 % autos, 6.1% autobuses de pasajeros, 17.1% camiones de carga). Lo que representa el 0.23% del TDPA anual en el estado (4,024,609 vehículos)
- AVR: 5,741 vehículos en riesgo

Se aplicó un buffer múltiple de 1, 3 y 5 km que se muestra en la Figura 5.12. Las distancias se ilustran con colores, en rosa se muestra el buffer de 1 km, en verde el de 3 km y en azul el de 5 km.

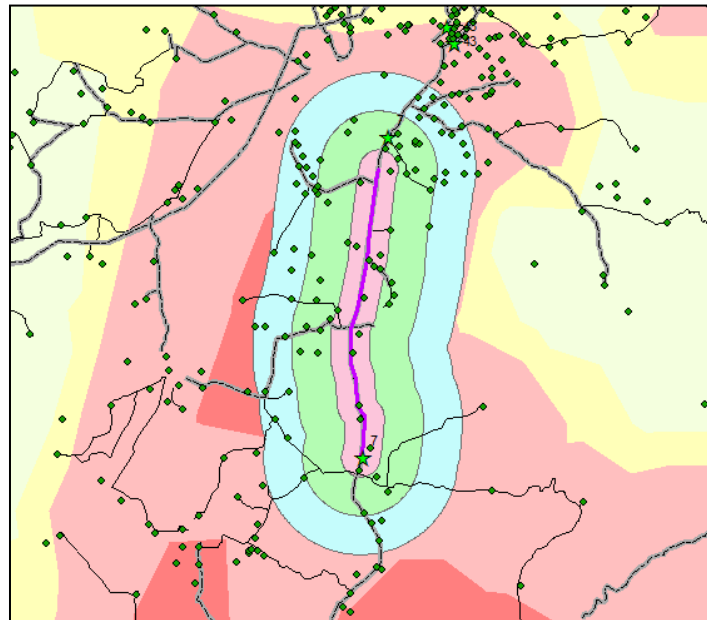


Figura 5.12. Buffer múltiple aplicado al tramo Tepeojuma de la carretera Puebla-Huajuapán de León.

Dentro de este buffer existe una población en riesgo por kilómetro de:

- 1 km = 7,877 habitantes (0.195 % del total)
- 3 km = 4,236 habitantes (0.107 % del total)
- 5 km = 100,349 habitantes (2.49% del total)

Lo que hacen un total de 112,462 habitantes, el 2.79% de la población total del estado (4,024,609 habitantes)

Si se cerrara el tramo totalmente, 33 localidades quedarían aisladas con una población total afectada de 7,356 habitantes, las cuales se ilustran con puntos en color rojo, figura 5.13.

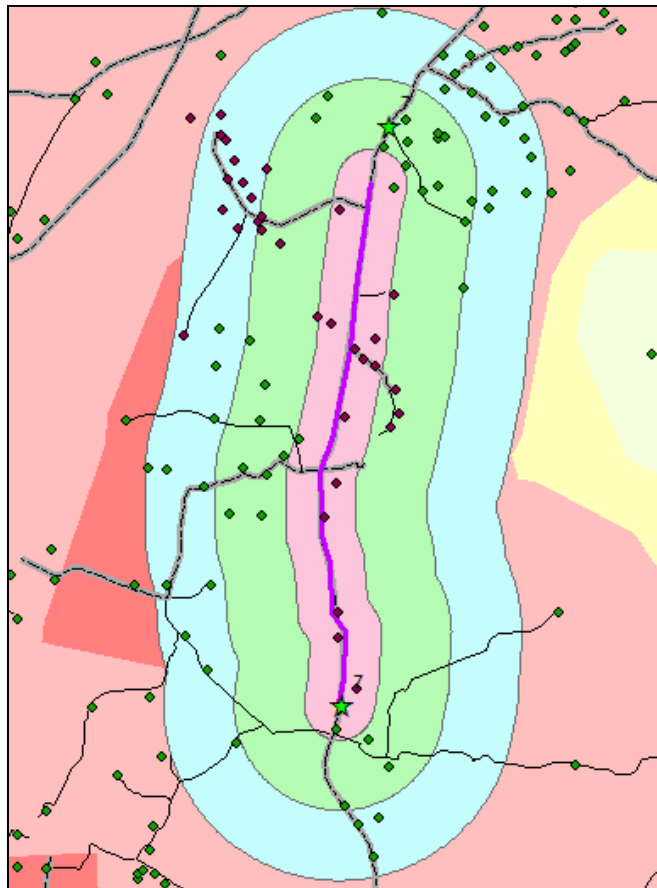


Figura 5.13. Poblaciones afectadas en caso que el tramo Tepeojuma quedara totalmente incomunicado debido a eventos de deslizamientos de laderas. En rojo se observan aquellas que quedarían aisladas. En verde aquellas que se verían afectadas pero no aisladas.

Realizar este cambio de escala sería útil para analizar lo que sucedería en una escala local y así poder hacer una planeación adecuada en cuanto a evacuación de poblaciones y mitigación de daños.

En cada uno de estos tramos podrían realizarse estudios más detallados, tomando datos de campo como corte del talud, condiciones físicas de la vía (pavimentada o terracería), importancia en la red (si es vía primaria o secundaria, conectividad). De este modo se contribuiría a que las tareas de las etapas de Gestión de Peligros y Gestión de Vulnerabilidades se realicen adecuadamente y de este modo la Gestión de emergencias y rehabilitación sean mucho más sencillas de realizar ya que se tendrán bien identificadas las zonas y cuantificados los daños potenciales.

La realización de un trabajo como éste es de mucha importancia ya que si bien se han realizado esfuerzos en cuanto conocer las zonas y daños que pueden provocar los deslizamientos de laderas éstos no se han aplicado en el sector transporte en términos de tránsito promedio, conectividad de la red, densidad vial, densidad de población, etc., lo que contribuiría a que la tarea de Gestión de Desastres en dicho sector se ejecute mejor.

6. CONSIDERACIONES FINALES

La infraestructura carretera representa uno de los bienes fundamentales para el país, tanto en inversión económica como en las funciones que tiene, integración territorial, desarrollo de espacios económicos, desempeño de actividades económicas locales y regionales y pilar del comercio internacional, por ello es importante proteger su integridad y funcionamiento.

Saber que la infraestructura del transporte está constantemente sometida a diversos tipos de riesgo impulsa a trabajar en busca de medidas que disminuyan el riesgo y sus márgenes de vulnerabilidad. La infraestructura se debe proteger, fundamentalmente en virtud de su papel de medio que posibilita y/o mejora el desempeño de múltiples funciones vitales de los espacios locales y regionales, los aportes del análisis geográfico son imprescindibles, dado que convergen dos tópicos de presencia territorial, el transporte y la construcción de condiciones de riesgo.

La vulnerabilidad a deslizamientos está en función de la ubicación de un sitio (topografía, geología, condiciones pluviales), tipo de actividad, y la frecuencia de deslizamientos en el pasado. Los efectos de este tipo de fenómenos sobre las personas y las estructuras se pueden disminuir mediante la supresión total de regiones con riesgo de deslizamiento o limitando, prohibiendo o imponiendo condiciones sobre las actividades en la zona de peligro. Se deben crear políticas y reglamentos del uso de suelo, además de brindar información a las personas sobre los riesgos a los que se encuentran expuestas.

La comunicación del peligro de los deslizamientos a la población, es una tarea fundamental para evitar la ocurrencia de desastres y ésta debe incluir: la probabilidad de que ocurra un fenómeno de una magnitud y en un lugar que causaría víctimas, daños o la interrupción del nivel de seguridad actual, la ubicación prevista y el alcance de los efectos del fenómeno sobre el terreno, las estructuras o la actividad socioeconómica, la gravedad estimada de los efectos sobre el terreno, las estructuras o la actividad socioeconómica.

Se deben formular estrategias por parte de los gobiernos, tanto locales como federal, que comprendan una *Gestión de Riesgos* cuyos propósitos deberán ser evitar daños y mitigar sus efectos, de tal manera que el impacto se reduzca al mínimo posible y no signifique un severo y prolongado trastorno para la operación y niveles de servicios de la red. Se debe dar una gran atención a la prevención, puesto que es el área de intervención que mayores repercusiones positivas permite alcanzar debido a que tiene la oportunidad de incidir sobre los elementos promotores del riesgo.

No obstante ser la infraestructura carretera el objeto de interés, es decir, el patrimonio que se busca proteger, la relevancia de sus daños deriva del impacto que su afectación provoca en el funcionamiento social y económico de los territorios afectados, debido a que las redes carreteras no son un solo ente sino que son un elemento que provee conectividad dentro del espacio socioeconómico al que sirven y que al mismo tiempo constituyen. Es por esto que el énfasis de una *Gestión de Desastres* debe verse más allá de una afectación a la infraestructura, deberá ponerse atención en los efectos provocados por los eventos.

El análisis del comportamiento territorial de diversas variables permite distinguir las áreas donde existan condiciones de riesgo que puedan dañar la red carretera, del mismo modo que hace posible la diferenciación de los niveles de vulnerabilidad de la red vial, información necesaria para la elaboración de diagnósticos de riesgo de la infraestructura; toma de medidas preventivas; elaboración de planes de mitigación de daños y para orientar las acciones en los periodos de emergencia.

Se debe tener en cuenta que el riesgo es multicausal, por ello el análisis geográfico es fundamental, ya que lo que en una zona determinada puede provocar una situación de riesgo, no necesariamente se comporta de la misma manera en otra zona donde la combinación de variables es distinta. En el caso de los deslizamientos de laderas, por ejemplo, en cierta zona la construcción un camino con cortes en laderas con pendientes no adecuadas combinados con fuertes lluvias pueden favorecer derrumbes que obstaculicen la red mientras que en otra zona que no presente tales condiciones de lluvia los efectos pueden ser mucho menores.

Es necesario establecer estrategias para identificar la presencia de problemas de inestabilidad de laderas a fin de delimitar zonas en movimiento y diagnosticar el tipo de deslizamiento de ladera, a partir de lo cual es factible evaluar la magnitud del riesgo y estimar el tiempo en el que el problema se puede volver crítico. Información con la que resulta viable establecer programas de acción encaminados a la protección civil.

El análisis espacial es una herramienta útil y conveniente para la presentación sobre los riesgos asociados a deslizamientos. Se pueden presentar muchos tipos y combinaciones de información a diferentes niveles de detalle que sirvan para realizar planificación de las acciones relacionadas con la prevención y la mitigación.

Dado que el objetivo de este trabajo fue ubicar peligros que asechan la infraestructura carretera, en específico los deslizamientos de laderas, y establecer su distribución territorial con fines de prevención y mitigación de desastres, el uso de un Sistema de Información Geográfica fue de gran utilidad ya que ofrece una visualización espacial de los fenómenos y es una herramienta para realizar análisis territoriales con la ventaja de organización, actualización, integración y ampliación de las bases de datos.

Con los sistemas de información geográfica se muestra la información exacta que se desea conocer cómo, en el caso de este trabajo, el número de habitantes en zonas de muy alta peligrosidad o el número de vehículos que son susceptibles a estos fenómenos. Si se modifica la escala podrán conocerse otras variables que se deseen y que sean útiles para la tarea de la Gestión de Riesgos.

Esta metodología puede ampliarse si se incluye mayor información, por ejemplo, relacionada con caminos de terracería. Además incluir datos históricos de deslizamientos podría enriquecerlo mucho más ya que así se tendría una base más sólida de los eventos que suceden. Desafortunadamente en el caso de este trabajo no fue posible conseguir alguna base de datos de estos eventos ya que, como se mencionó en el trabajo, el registro de esta información no está sistematizado y los datos se encuentran dispersos en las diferentes dependencias encargadas de manejar estos hechos.

7. REFERENCIAS

ALEOTTI, P. y CHOWDHURY, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* [en línea], no. 58, 21– 44. Disponible en: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs100640050066>>.

ANEAS DE CASTRO, Susana. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* [en línea], 15 de marzo de 2000, no. 60. Universidad de Barcelona. Disponible en: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>>.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; UGAWA, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides* [en línea], no. 1, 73–81. Disponible en: <<http://www.snr.arizona.edu/rnr/rnr419/publications/ayalewetal2004.pdf>>.

AYALEW, L. y YAMAGISHI, H. (2004). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* [en línea], no. 65, 15–31. Disponible en: <<http://www.h5.dion.ne.jp/~hiromitu/5%29Application.pdf>>.

BANOBRAS. (2008). Fondo Nacional de Infraestructura. México, en <<http://www.banobras.gob.mx>>.

BARREDO, J.; BENAVIDES, A.; HERHL, J.; WESTEN, C. (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* [en línea], no. 2, 9–23. Disponible en: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/landslides/Documents/Barredo_et_al_2000-5th_EC_GIS_workshop.pdf>.

BITRÁN, Daniel. (2001). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99* (1ª ed.) Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

BRUSI, David y ROQUÉ, Carles. (1998). Los riesgos geológicos, algunas consideraciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [en línea], vol. 6, 127-137. Disponible en: <<http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88487/166183>>.

CAL Y MAYOR, Rafael y CÁRDENAS, James. (1995). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones* (8ª. ed.) México: Alfaomega.

CAMPOS, Armando. (s.f.) *Algunas consideraciones sobre los mapas de riesgo. Elaboración de mapas de riesgo* [en línea]. Disponible en:
<http://www.cridlac.org/esp_mk_articulo_mapas_riesgo.shtml>.

CARRARA, A.; GUZZETTI, F.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards* [en línea], no. 20, 117–135. Disponible en:
<<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1008097111310?LI=true#page-1>>.

CHAU, K.; SZE, Y.; FUNG, M.; WONG, W.; FONG, E.; CHAN, L. (2004). Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. *Computers & Geosciences* [en línea], no. 30, 429–443. Disponible en:
<http://www.gisknowledge.net/topic/spatial_thinking_and_gis/chau_et_al_comp_geosci_04.pdf>.

CHÍAS, Luis y RESÉNDIZ, Héctor. (s.f.) *Análisis espacial de las redes de transporte, empleando sistemas de información geográfica*. México: Instituto de Geografía, UNAM.

COPPOCK, J.T. (1995). GIS and natural hazards: an overview from a GIS perspective. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, no. 6, 21–34.

CERRI, L.E. (1993). *Riscos Geologicos associados a escorregamentos: uma proposta para Prevenção de Acidentes*. Rio Claro: UNESP. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (1996). *Inestabilidad de laderas naturales y taludes*. Fascículo 11. (2ª ed.). México: Autor.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. (1ª. ed) Serie: Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. México: Autor.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (2006). *Guía Básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos geológicos*. (2ª ed.) Serie: Atlas Nacional de Riesgos. México: Autor.

CLARKE, C.; CHARVÉRIAT, C.; MORA-CASTRO, S.; COLLINS M.; KEIPI, K. (2000). *Facing the Challenge of Natural Disasters in Latin America and the Caribbean: An IDB Action Plan*, [en línea], Washington, D.C.: Inter-American Development Bank. Disponible en: <<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=823495>>.

COMISIÓN EUROPEA DE TRANSPORTE (s.f.). en http://ec.europa.eu/transport/index_en.htm

DE BUEN, Richkardy. (2009). *Planeación estratégica de la infraestructura en México 2010 – 2035* (1ª ed.). México: Colegio de Ingenieros Civiles de México.

DIRDN. (1999). Desastres en la Región, Revista para América Latina y el Caribe, [en línea], no. 15. Disponible en: <http://www.eird.org/esp/revista/No15_99/index_15i.htm>.

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. (2001). *Diccionario de la lengua española*. (23º ed.) de <http://www.rae.es/rae.html>

DUQUE, G. (2000). *Riesgo en la zona andina tropical por laderas inestables*. Simposio sobre suelos del Eje Cafetero, Manizales, 8 noviembre, [en línea]. Disponible en: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/1681/1/Riesgo-Suelos-ZAT.pdf>>.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. (1999). *Centroamérica: Evaluación de los Daños Ocasionados por el Huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente*, [en línea]. Disponible en: <<http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc12958/doc12958.pdf>>.

ESRI. (2008). *Manual del Usuario Geostatistical Analyst*. ArcGIS 9.3

GARBER, Nicholas y LESTER, Hoel. (2006). *Ingeniería de tránsito y carreteras*, (3ª ed.). EUA: Thomson.

GARCÍA ORTEGA, María. (2003). *Sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras: gestión de desastres, concepto global para la seguridad del patrimonio carretero*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Geografía, asesor Luis Chías Becerril. México. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.

GARCÍA-PALOMO, Armando; VALERIO, Víctor; LÓPEZ-MIGUEL, Celia. (2006). Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico Basin. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Número Especial de Geología Urbana, [en línea], Tomo LVIII, núm. 2, 195-204. Disponible en: <<http://www.geociencias.unam.mx/~alaniz/SGM/%282%29GarciaPalomo.pdf>>.

FORO CIUDADES PARA LA VIDA (2002). *Gestión comunitaria de riesgos*. Manual no. 2 [en línea], Perú: Autor. United Nations Human Settlements Programme. Disponible en:

<<http://www.ciudad.org.pe/downloads/manuales/ManualdeGestionComunitariadeRiesgos.pdf>>.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. *Geomorphology*, [en línea], no. 31, 181–216. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X99000781>>.

HERVÁS DE DIEGO, Javier y BARREDO CANO, José. (2001). *Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria)*. V simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Madrid, 27-30 Noviembre, [en línea]. Disponible en: <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/landslides/Documents/Hervas_Barredo_2001_Madrid.pdf>.

HILLING, David. (1996). *Transport and developing countries*. (3a. ed). London and New York: Routledge.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. (1991). En <<http://www.ite.org/>>.

IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment, 1997
Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The state of the art.
Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 3-12.

JAIMES TÉLLEZ, Miguel; NIÑO LÁZARO, Mauro; REINOSO ANGULO, Eduardo; CARLOS VALERIO, Victor. (2008). *Peligro por deslizamientos en el país ante sismo y lluvia intensa integrado en un sistema de información geográfica*. *Revista Geos*, Vol. 28, No. 2, Octubre.

LEROI, E. (1996). *Landslide hazard – Risk maps at different scales: Objectives, tools and developments*. *7th International Symposium on Landslides*, 17-21 June, Trondheim, Norway.

MANSILLA, Elizabeth. (1993). Desastres y desarrollo de México. *Revista Desastres y Sociedad*. [en línea], no. 1. Año 1. Noviembre. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/revistas/dys/rdys01/dys1-DDM-oct-24-2001.pdf>>.

MICHAINE, Silvia. (2002). *Análisis de peligro versus Análisis de Riesgos*. Año 3, no. 15, Octubre. Buenos Aires: Granados & Carnes.

MENDOZA M. y DOMÍNGUEZ L. (2005). Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

MILLER, Jonathan. (2007). *Infrastructure 2007, A global perspective*.

Washington D.C: Uli - The Urban Land Institute and Ernst & Young, [en línea]. Disponible en: <http://www.neite.org/vt/docs/ULI_Infrastructure2007Report.pdf>.

MORENO PÉREZ, (2008). *La infraestructura y la competitividad en México*. Centro de estudios sociales y de opinión pública de la Cámara de Diputados, LX Legislatura. Documento de trabajo no. 60, Noviembre, [en línea]. Disponible en: <http://www3.diputados.gob.mx/camara/.../Docto%2060_Infraestructura.pdf>.

MUNICH RE. (1998). *World Map of Natural Hazards*. Munich: Munich Reinsurance Company, [en línea]. Disponible en: <<https://www.munichre.com/touch/portal/en/service/login.aspx?ReturnUrl=/touch/publications/en/list/default.aspx?id=1139&cookiequery=firstcall>>.

PIERSON, Laurence. (1991). *The rockfall hazard rating system*. USA: Oregon Department of Transportation, [en línea]. Disponible en: <<http://library.state.or.us/repository/2008/200811050838383/index.pdf>>.

POSAS, Paula; BENDER, Stephen. (2004). *Managing Natural Hazard Risk: Issues and Challenges*. *Natural Hazards*. Organization of American States - Unit for Sustainable Development and Environment. Policy series, [en línea], no. 4. September. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/policy_series/4_eng.pdf>.

RAHN, P.H. (1986). *Engineering Geology: an environmental approach* (2a ed.), New York: Elsevier Science Publishing.

RAGOZIN A. L y TIKHVINSKY I. O. (2000). *Landslide Hazard, vulnerability and risk assessment*. *Landslides in Research, Theory and Practice*, 1257- 1262, [en línea]. Disponible en: <<http://z-telford-01.ingenta.com/content/chapter/lirtapv3.34631.0030>>.

SAATY, T.L. (2004). *The Analytical Hierarchy Process*. New York: Pearson Education Limited, [en línea]. Disponible en: <http://www.booksites.net/download/coyle/student_files/AHP_Technique.pdf>.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. (2000). *Manual para la Atención de Emergencias en la Red de Carreteras Alimentadoras y Caminos Rurales*. Subsecretaría de Infraestructura, Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. (2006). *Plan Nacional de Infraestructura 2007 – 2012*. México, [en línea]. Disponible en: <<http://www.sct.gob.mx/obrapublica/MarcoNormativo/1/1-1/1-1-9.pdf>>.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. (2010). *Datos viales 2010*. Estado de Puebla. Dirección General de Servicios Técnicos.

SEGUÍ PONS, Joana María; MARTÍNEZ REYNES, María Rosa. (2003). Pluralidad de métodos y renovación conceptual en la geografía de los transportes del siglo XXI. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. Universidad de Barcelona, [en línea], vol. 7, no. 139, 15 abril. Disponible en: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-139.htm>>.

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL. (2011). *Lineamientos-FONDEN-2011*, [en línea], Disponible en: <<http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/32/8/images/Lineamientos-FONDEN-2011>>.

SMITH, Keith. (1992). *Environmental hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster* (5a ed.) London and New York: Routledge.

SUAREZ, Jaime. (s.f.). Deslizamientos. Análisis geotécnico, en <<http://www.erosion.com.co/>>.

SUSSMAN, Joseph. (2002). *Transitions in the World of Transportation: A Systems View*. Transportation Quarterly, Vol. 56, No. 1, Winter, Eno Transportation Foundation, Washington, DC, [en línea]. Disponible en: <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-387-23260-5_22>.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE CHALCO Y COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO. (2009). *Planeación estratégica de la infraestructura en México 2010 – 2035* (1ª ed.). México: Autor.

VARNES, David. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*. Francia: UNESCO - United Nations Educational, [en línea]. Disponible en: <<http://www.bib.ub.edu/fileadmin/fdocs/landslidehazard.pdf>>.

VOIGT, Fritz. (1954). *Economía del los Sistemas de Transporte*. México: Fondo de Cultura Económica.

WILCHES-CHAUX, Gustavo. (1993). La vulnerabilidad global. *Revista Desastres y Sociedad*. [en línea], no. 1, Año 1, Noviembre. Red de estudios sociales en prevención de desastres naturales en América Latina. Disponible en: <<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap2.htm>>.

WORLD BANK. (2005). International Bank for Reconstruction and Development and International Finance Corporation. *Country Assistance Strategy for The Republic of El Salvador*. [en línea]. Disponible en: <<http://siteresources.worldbank.org/ELSALVADOREXTN/Resources/CAS-Annexes-042005-ElSalvadorEN.pdf>>.

WORLD ECONOMIC FORUM. (2008). *The Global Competitiveness Report 2008-2009*, [en línea]. Disponible en: <http://www.immi-to-australia.com/pics/advant/2007_WorldEconomicForum.pdf>.

WORLD ECONOMIC FORUM. (2009). *The Global Competitiveness Report 2008-2009*, [en línea]. Disponible en: <<https://members.weforum.org/pdf/GCR08/GCR08.pdf>>.

WORLD ECONOMIC FORUM. (2010). The Global Competitiveness Report 2009-2010, [en línea]. Disponible en:
<<https://members.weforum.org/pdf/GCR09/GCR20092010fullreport.pdf>>.

WORLD ECONOMIC FORUM. (2011). The Global Competitiveness Report 2011-2012, [en línea]. Disponible en:
<http://www3.weforum.org/docs/WEF_GCR_Report_2011-12.pdf>.