



01059  
6  
RECEIVED  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ENSAYO METODOLOGICO GEOSISTEMICO PARA  
EL ESTUDIO DE LOS RIESGOS NATURALES**

**T E S I S**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN GEOGRAFIA  
P R E S E N T A :  
ALVARO GERARDO PALACIO APONTE

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





# ENSAYO METODOLÓGICO GEOSISTÉMICO PARA EL ESTUDIO DE LOS RIESGOS NATURALES

## INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

### CAPÍTULO I

#### ANÁLISIS TEÓRICO-CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE LOS RIESGOS NATURALES

##### **Análisis conceptual**

Conceptualización a nivel perceptivo.....	6
Conceptualización a nivel aplicado.....	8
Conceptualización global.....	11

##### **Fundamentos teóricos esenciales para el estudio de los riesgos naturales**

Lineamientos generales (base teórico-metodológica).....	12
Principios generales en el estudio de los riesgos naturales.....	14
Estructuración general del ensayo.....	16

### CAPÍTULO II

#### ENSAYO METODOLÓGICO GEOSISTÉMICO

##### **1 UBICACIÓN DEL O LOS COMPONENTES DEL RIESGO EN TIPOLOGÍAS PREESTABLECIDAS**

Tipología del geosistema perturbador.....	24
Tipología del sociosistema afectable.....	25
Medio Ambiente Natural.....	26
Medio Ambiente Transformado (paisaje rural).....	26
Medio Ambiente Antrópico.....	27

##### **2 METODOLOGÍAS PARCIALES DE EVALUACIÓN POR SUBSISTEMAS**

###### **GEOSISTEMA PERTURBADOR**

ESTRUCTURACIÓN ESPACIAL DE LA PELIGROSIDAD.....	31
<u>Fenomenología</u>	
A) Características y funcionamiento del fenómeno.....	33
Génesis y comportamiento.....	33
Magnitud física.....	35

Intensidad.....	37
Análisis temporal.....	38
B) Medio de desplazamiento y estado físico y movimiento de los materiales.....	41
<u>Geosistemas(características funcionales)</u> .....	42
<u>Estructura geosistémica</u> .....	44
<u>Expresión de peligrosidad</u> .....	46
<u>Vulnerabilidad ambiental (susceptibilidad del territorio)</u>	
Vulnerabilidad parcial- componentes abióticos.....	47
Vulnerabilidad parcial- componente de interfase.....	51
Vulnerabilidad parcial- componente biótico.....	52
Vulnerabilidad total -Rugosidad del territorio.....	52
<u>Impacto</u> .....	53
EVALUACIÓN FINAL DE PELIGROSIDAD.....	54
<b>SOCIOSISTEMA AFECTABLE</b>	
VALOR POR TIPO DE SOCIOSISTEMA AFECTABLE	
Medio Ambiente Natural.....	58
Medio Ambiente Transformado.....	60
Medio Ambiente Antrópico.....	62
VULNERABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA.....	63
EVALUACIÓN FINAL DE VALOR.....	66
<b>3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN GENERAL DE RIESGO.....</b>	<b>67</b>
<b>4 EXPRESIÓN CARTOGRÁFICA ANALÍTICA Y SINTÉTICA.....</b>	<b>69</b>

### CAPITULO III

#### ESTUDIO DE CASO: SUBSIDENCIA EN LA CIUDAD DE CELAYA, GTO.

<u>Área de estudio</u>	
Caracterización físico-geográfica.....	73
Caracterización socioeconómica.....	75
<u>Antecedentes sobre el estudio de caso</u> .....	78

## APLICACIÓN DEL ENSAYO METODOLÓGICO

1 UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RIESGO EN TIPOLOGÍAS PREESTABLECIDAS.....80

## 2 METODOLOGÍAS PARCIALES DE EVALUACIÓN POR SUBSISTEMAS

### GEOSISTEMA PERTURBADOR

ESTRUCTURACIÓN ESPACIAL DE LA PELIGROSIDAD.....80

#### Fenomenología

##### A) Características y funcionamiento del fenómeno

Génesis y comportamiento.....81

Magnitud física.....90

Intensidad.....91

Análisis temporal.....91

##### B) Medio de desplazamiento y estado físico y movimiento de los materiales.....92

Geosistemas(características funcionales).....92

Estructura geosistémica.....93

Expresión de peligrosidad.....93

#### Vulnerabilidad ambiental (susceptibilidad del territorio)

Vulnerabilidad parcial- componentes abióticos.....93

Vulnerabilidad parcial- componente de interfase.....96

Vulnerabilidad parcial- componente biótico.....96

Vulnerabilidad total -Rugosidad del territorio.....96

Impacto.....97

EVALUACIÓN FINAL DE PELIGROSIDAD.....97

### SOCIOSISTEMA AFECTABLE

VALOR POR TIPO DE SOCIOSISTEMA AFECTABLE.....98

VULNERABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA.....109

EVALUACIÓN FINAL DE VALOR.....109

3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN GENERAL DE RIESGO.....110

4 EXPRESIÓN CARTOGRÁFICA ANALÍTICA Y SINTÉTICA.....111

CONCLUSIONES.....112

BIBLIOGRAFÍA.....114

## INDICE DE FIGURAS

Fig No.	Página
1. Nivel perceptivo.	...7
2. Nivel aplicado.	...10
3. Estructuración general del ensayo.	...16
4. Flujograma del ensayo metodológico geosistémico	...20
5. Relación tipología-monitoreo.	...21
6. Tipología del geosistema perturbador.	...24
7. Tipología del sociosistema afectable.	...25
8. Tipos de medio ambiente transformado.	...27
9. Clases de variables.	...29
10. Estructuración espacial de la peligrosidad.	...32
11. Génesis y comportamiento del fenómeno.	...34
12. Clases de magnitud.	...35
13. Etapas de respuesta ante la presencia de un fenómeno perturbador	...38
14. Relación geosistemas-peligrosidad en un cono aluvial.	...43
15. Componentes de la vulnerabilidad ambiental.	...47
16. Etapas en la determinación del valor final.	...56
17. Estructura de variables para la determinación del valor y la vulnerabilidad.	...57
18. Acercamiento del flujograma de la estructura general del ensayo.	...66
19. Sobreposición del los mapas parciales por subsistema.	...68
20. Mapa de riesgo.	...69
21. Mapa de localización del área de estudio.	...73
22. Sucesión evolutiva de los eventos naturales que originaron el Bajío.	...74
23. Planteamiento del conflicto naturaleza-sociedad y subsidencia en Celaya.	...78
24. Estratigrafía superficial de los depósitos en la ciudad de Celaya.	...82
25. Perfil subsuperficial de sedimentos y representación esquemática de la subsidencia en Celaya.	...83
26. Gráfico que muestra el descenso acelerado del nivel freático en Celaya.	...85
27. Evolución hipotética de la subsidencia y las fallas en Celaya.	...87
28. Puntos de inflexión sobre los materiales plásticos superficiales en Celaya.	...89
29. Adaptaciones en la construcción para mitigar los efectos destructivos de las fallas en Celaya.	...90



30. Perfil transversal del río La Laja.	...94
31. Gráfica ombrotérmica de la estación Celaya.	...95
32. Zona habitacional popular afectada por la falla Oriente.	..102
33. Afectación de la falla Poniente en el uso habitacional medio.	..103
34. Máximo desnivel general observado en la zona habitacional residencial sobre la falla Oriente.	..104
35. Daños ocasionados por la falla Oriente en el uso del suelo industrial.	..105
36. Daños ocasionados por la falla Poniente en la zona comercial del centro de Celaya.	..106
37. Efectos destructivos y de la falla Poniente sobre el templo de San Francisco y adaptaciones en la construcción para recuperarlo.	..107
38. Mantenimiento constante sobre la vía del ferrocarril afectada por la falla Oriente.	..108

## INDICE DE TABLAS

Tabla No.	Página.
1. Tipologías en riesgos.	....22
2. Evaluación de vulnerabilidad.	....54
3. Evaluación final de peligrosidad.	....55
4. Umbrales cualitativos y semicuantitativos de peligrosidad.	....55
5. Valor del Medio Ambiente Natural.	....59
6. Valor del Medio Ambiente Transformado.	....61
7. Valor del Medio Ambiente Antrópico.	....63
8. Valoración proporcional de la vulnerabilidad.	....65
9. Valor final.	....66
10. Matriz de evaluación general de riesgo.	....67
11. Valores de riesgo.	....68
12. Evaluación final de peligrosidad en Celaya.	....98
13. Uso del suelo y valor asociado al área de afectación del fenómeno en Celaya.	...101
14. Matriz de evaluación general de riesgo para Celaya.	...110

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la situación ambiental actual, sus tendencias y el papel del hombre como parte del entorno natural y como su principal agente modificador, son cuestionamientos cada vez más preocupantes debido a la creciente degradación del ambiente y sus consecuencias sobre la calidad de vida de la población. Dentro de esta problemática surge la inquietud por profundizar en el conocimiento de las perturbaciones de origen natural, en las que cada vez es más notoria la participación humana, las cuales se analizan bajo dos variantes: como parte del funcionamiento de los paisajes naturales y como agentes modificadores del orden establecido por los grupos humanos. Es a partir de esta última que se concibe la expresión "riesgo natural", cuyo contenido involucra la dinámica de los fenómenos naturales, su potencial destructivo y las posibilidades de afectación a la vida y bienes materiales de la sociedad.

El estudio de los riesgos naturales es tan amplio como amplias son las interacciones entre los fenómenos naturales peligrosos o perturbaciones de origen natural y la dinámica de las sociedades humanas. En este marco general y precisando los límites y alcances de la perspectiva geográfica del problema, se parte del concepto de "peligrosidad del lugar", utilizado a partir de la década de los 50 (Calvo, 1984) para explicar, cómo las amenazas naturales, concebidas como peligros latentes y/o potenciales asociados con fenómenos físicos de origen natural, tienen una manifestación en un espacio específico y en un tiempo determinado.

En lugares donde se presentan con frecuencia situaciones de riesgo, el estudio de los eventos o fenómenos naturales peligrosos es de suma importancia en términos de prevención, mitigación y ordenamiento del territorio. La evaluación de riesgos y de impacto ambiental son elementos de gran similitud para la planeación, que se relacionan entre sí y cuyo interés está dirigido a determinar las consecuencias del cambio ambiental (Clark, 1989). Para llegar a esta evaluación la geografía considera en un análisis multidimensional (geosistémico, socioeconómico, ecodinámico, etc.), la configuración espacial de la peligrosidad del fenómeno, con el fin de prever y mitigar sus efectos destructivos para el hombre, tanto en el corto como en el largo plazo.

Nuestro país ha estado y está expuesto a la ocurrencia de fenómenos naturales que perturban las condiciones normales de vida de las poblaciones. Muchas de éstas que habitan en ciudades medias y grandes (medias entre 100,000 hab. y 1,000,000 hab. y grandes mayores a 1,000,000 hab.), presentan un crecimiento desordenado debido a factores de inercia histórico-económica en los que el entorno natural no ha sido evaluado según la amenaza que represente para la vida humana y la infraestructura asociada. Por lo anterior, y ante la escasez de trabajos de ordenamiento territorial que consideren en forma conjunta y consistente los aspectos mencionados, se hace necesaria la implementación de instrumentos metodológicos que aborden el problema en forma integral sin dejar de considerar ningún elemento natural o socioeconómico involucrado. Este problema de investigación adquiere una importancia adicional si consideramos además, que en países de pocos recursos económicos y/o técnicos, como el nuestro, la capacidad de respuesta y restablecimiento ante una perturbación de origen natural es lenta o incluso inexistente, por lo que la aplicación de medidas preventivas reduce la afectación y agiliza las etapas de respuesta y restablecimiento.

Este trabajo aporta un seguimiento metodológico que estudia los fenómenos en su medio ambiente físico (geosistema perturbador) y proyecta su posible afectación al medio ambiente socioeconómico (socosistema afectable), plasmando la integración de ambos aspectos en un documento cartográfico de utilidad práctica que logre diferenciar, mediante un evaluación semicuantitativa, zonas y sectores jerarquizados según los grados de riesgo a los que estén expuestas.

Para la concepción de esta expresión territorial se analizó la información documental y cartográfica disponible sobre el tema, seleccionando y ordenando, según los lineamientos generales de la teoría de sistemas y la geografía de los paisajes, las variables a considerar en el análisis funcional y espacial de los fenómenos naturales peligrosos y el sistema de uso del territorio establecido por el hombre. Una vez organizadas se aplicaron al estudio de caso de la subsidencia en la ciudad de Celaya, Gto. con el fin de comprobar su factibilidad. Se seleccionó Celaya debido, entre otras razones, a que es una de las ciudades medias más representativas en cuanto a crecimiento socioeconómico anárquico. Su creciente importancia como centro económico agroindustrial e industrial, la convierte en un polo de atracción para la población urbana y rural regional e incluso nacional, con las subsecuentes demandas no satisfechas, en empleo, servicios y vivienda; además, presenta perturbaciones de origen natural y antroponatural bien identificadas, que provocan desajustes en la estructura del espacio urbano y que al mismo tiempo son el resultado de una inercia histórico-económica no planificada.

El ensayo metodológico está compuesto por tres capítulos. En el primero se analiza el concepto de riesgo a nivel perceptivo y aplicado para después concretar en el concepto global que resultará la base para estructurar el ensayo. Se continúa con un respaldo teórico sustancial en donde se exponen los principales lineamientos sistémicos para ordenar y estructurar la propuesta metodológica, concluyendo con algunos principios generales en donde se enuncian los comportamientos repetibles tanto en fenómenos naturales como en respuestas sociales.

El segundo capítulo es propiamente el desarrollo del ensayo y consta de cuatro partes ligadas sucesivamente: tipología de riesgos, metodologías parciales de evaluación por subsistemas, metodología de evaluación general de riesgo y expresión cartográfica analítica y sintética. La tipología muestra, de manera general, la forma de inventariar tanto los fenómenos naturales que ocasionan perturbaciones como los usos que el hombre le da a su entorno ambiental. Por otra parte las metodologías parciales se desprenden de la identificación de los tipos representativos y comprenden la organización de módulos con variables afines que permiten evaluar cualitativa y semicuantitativamente la peligrosidad, en el geosistema perturbador; y el valor en población e infraestructura asociada, en el sociosistema afectable. Las evaluaciones por grupos de variables, conducen a la evaluación final del riesgo a través de una matriz que le asigna un valor a cada sector resultante de la sobreposición de las regionalizaciones obtenidas por separado en dichas metodologías parcializadas. Y finalmente se puntualiza en los diferentes tipos de mapas que se pueden obtener según los objetivos en los estudios de riesgo. Todos los procedimientos de análisis y evaluación son una propuesta original del autor de este trabajo.

El tercer y último capítulo es el resultado de aplicar la propuesta metodológica al estudio de caso de la subsidencia en la ciudad de Celaya, Gto. En este capítulo primero se caracteriza geográficamente el área de estudio y posteriormente se aplica la metodología bajo las modificaciones que impone la realidad concreta de los fallamientos en esta ciudad. Los resultados finales se plasman en dos matrices y cuatro mapas que evalúan el riesgo obtenido para los distintos sectores que resultaron del análisis de la información disponible y el trabajo de campo.

Por tanto el presente trabajo introduce y analiza algunos de los múltiples elementos que concurren en una problemática tan compleja como es el estudio de los riesgos naturales. Todo esto sin dejar de considerar que el fin último del estudio tiene fundamentalmente, un significado social.

Las ideas de Wijkman y Timberlake (1985,p.31) resumen la trascendencia y significado socioeconómico del estudio de los riesgos naturales :

No cabe duda que las fuerzas naturales desempeñan un papel importante en la iniciación de multitud de desastres, pero ya no deben seguir considerándose como causa principal de los mismos. Tres parecen ser las causas fundamentales que dominan los procesos de desastre en el mundo en desarrollo, que es precisamente , donde su incidencia es mayor:

La vulnerabilidad humana resultante de la pobreza y la desigualdad;

La degradación ambiental resultante del abuso de las tierras; y

El rápido crecimiento demográfico, especialmente entre los pobres.

## CAPITULO I

### ANALISIS TEORICO-CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE LOS RIESGOS NATURALES

#### Análisis conceptual

Los conceptos deben ser descripciones que precisen ideas elementales o complejas para establecer convencionalmente formas amplias de comunicación en un lenguaje formalizado. Éstos son concebidos y matizados desde la perspectiva de los distintos estudiosos y disciplinas, y reflejan, además, las formas de apropiación y percepción del entorno por las distintas culturas en sus propios tiempos históricos. Es por esto que antes de iniciar el ensayo metodológico es indispensable hacer una introducción conceptual que estructure y defina los alcances, en este caso, del concepto de riesgo natural.

Existen dos enfoques de uso frecuente en riesgos naturales: el llamado "enfoque dominante" (Hewitt,1983) le da mayor énfasis a los procesos geofísicos que a los desastres naturales. Este enfoque asume que la tecnología puede resolver la mayoría de los problemas de peligro-desastre, y que por lo tanto el estudio del fenómeno siempre es prioritario.

El otro enfoque le da mayor peso a la relación hombre-ambiente en los desastres naturales. Se basa en la idea de que el riesgo natural sólo puede existir en la presencia de una comunidad humana vulnerable y que un desastre natural es una característica, más que una característica distintivo de las sociedades y los lugares (Still,1992). Cuando Still refiere el desastre natural como una característica, la describe como la concepción humana de daño ante la ocurrencia de un fenómeno natural destructivo.

La mayoría de los conceptos que existen sobre riesgos naturales muestran una clara tendencia a definir por separado el fenómeno o la respuesta humana ante una situación de riesgo, según los enfoques antes planteados. A diferencia de éstos, la perspectiva geográfica que sustenta el presente estudio conceptualiza a partir de la integración de ambos aspectos en su expresión espacial. Para explicar como es que la relación antes mencionada conduce a la elaboración del concepto, se consideran dos niveles de análisis: el perceptivo y el aplicado; ambos indisolubles en la comprensión integral de una problemática eminentemente geográfica que considera factores

naturales susceptibles de ser estudiados objetivamente y factores humanos conformados a partir de la apreciación subjetiva de la o las comunidades afectadas.

Dentro del nivel perceptivo y, a su vez, en los dos niveles, se explica el aparente antagonismo que por naturaleza existe entre factores objetivos y subjetivos para ubicar el concepto en un contexto real. La conceptualización global, resultado de la conjunción analítica de ambos tipos de factores, permite establecer la base para entender los nexos entre el conocimiento científico de los fenómenos y la capacidad real de la respuesta humana.

### *Conceptualización a nivel perceptivo*

En el estudio de la percepción de los riesgos, dentro del campo de las ciencias sociales, dominan varias corrientes de pensamiento que condicionan las formas de abordar el problema. Algunas de las más importantes son : el enfoque antropológico que estudia el papel de los desastres en la evolución socioeconómica de las poblaciones, su dispersión o su posible desaparición; el enfoque sociológico que considera la vulnerabilidad y los impactos teniendo en cuenta los patrones de comportamiento humano y los efectos de los desastres en la organización y funciones de la comunidad; los estudios de desarrollo, que destacan la importancia de los desastres en los países subdesarrollados debido a su alta vulnerabilidad global, por deficiencias en el orden económico; la medicina del desastre y epidemiología que dirige su atención hacia el manejo masivo de la salud de las poblaciones afectadas por desastres; y finalmente el enfoque geográfico que considera la distribución espacio-temporal del riesgo, impactos y vulnerabilidad ( Palm, 1990).

El concepto a nivel perceptivo según el enfoque geográfico se basa en los principios generales que la geografía de la percepción genera desde el inicio de los 60. Urbanistas como Lynch (1960) y geógrafos como Lowenthal (1961), White (1961), Kates (1962), y Burton (1964), (citados por Capel, 1973), dedujeron que "los individuos y los grupos sociales poseen una percepción sesgada de la realidad, en función de sus valores culturales, sus experiencias y sus aspiraciones" y que "el hombre decide su comportamiento espacial no en función del medio geográfico real, sino de la percepción que posee del mismo"<sup>1</sup>. A partir de estas ideas se establece la existencia de distintas formas de apreciación del medio natural y del riesgo conocidas como imágenes mentales, mismas que condicionan el tipo de respuestas concretas ante una situación de crisis.

La percepción del riesgo considera los siguientes aspectos : el evento o fenómeno perturbador, las superficies de percepción o espacios afectables y generadores del peligro, y la respuesta de los

---

<sup>1</sup> Capel Horacio y Urteaga Luis. 1991. Las nuevas geografías. Salvat editores. Barcelona, España. p. 62 y 63.



grupos humanos ante la ocurrencia del fenómeno destructivo. La relación entre los tres aspectos se muestra en el siguiente esquema (Fig.1) reorganizado y reinterpretado de los modelos de Brookfield y Downs citados por Horacio Capel (1973):

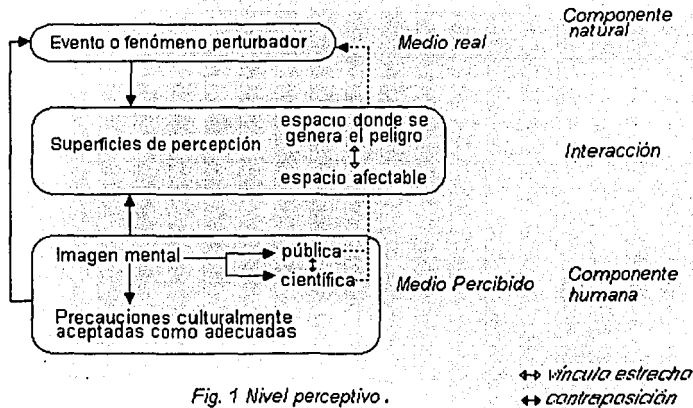


Fig. 1 Nivel perceptivo.

Explicando el significado del esquema, el evento o fenómeno perturbador es aquel que altera o rompe el funcionamiento normal de los sistemas naturales y/o socioeconómicos. Puede ser de carácter extraordinario, es decir, de ocurrencia poco frecuente, de comportamiento violento y generador de cambios drásticos en el orden establecido de los sistemas naturales y antrópicos. Es el componente natural del medio geográfico real que, a nivel perceptivo, genera las imágenes mentales o concepciones definidas por la valoración relativa que cada persona o comunidad tenga de su entorno. Algunos de los efectos destructivos de estos fenómenos son absorbidos o amortiguados por las precauciones culturalmente aceptadas como adecuadas, sin embargo, existen otros que rebasan la capacidad de cualquier forma de control.

Los dos tipos de imágenes mentales que se incluyen en el esquema forman parte del medio percibido. La imagen mental pública surge de la convivencia o adaptación de la población al agente o fenómeno perturbador y la imagen mental científica de la abstracción que los expertos hacen para estudiar el fenómeno en forma aislada y especializada.

Con frecuencia la imagen mental pública se contrapone a la imagen mental científica generando enfoques contrapuestos al tratar de aportar soluciones prácticas. Se ha comprobado que las áreas consideradas peligrosas por los científicos, son habitadas por distintas culturas sin ningún temor durante largos periodos de tiempo y que son preferentemente causas de índole socioeconómica

las que originan el desplazamiento definitivo de los asentamientos y/o las actividades humanas. Esto se explica debido a que la imagen mental pública es resultado de la apreciación subjetiva que los humanos tienen de su entorno y la imagen mental científica hace abstracción del evento o fenómeno y lo estudia para determinar su potencial de afectación, sin considerar el arraigo de la población o la inercia geográfica (condiciones naturales y/o económicas benéficas) de la ocupación del espacio. La contraposición entre ambas imágenes es también resultado del balance entre los beneficios, desventajas y costos de localización que ofrece un lugar determinado

La imagen mental pública objeta que los acontecimientos naturales extraordinarios son poco frecuentes y lo suficientemente localizados como para determinar la no ocupación o la reubicación de asentamientos y/o actividades humanas. Por otra parte la imagen científica considera que las crisis esporádicas no deben minimizarse porque pueden llegar a originar auténticas dificultades para el desarrollo de las poblaciones.

De la confrontación de los dos puntos de vista, con frecuencia se impone la idea de que las regularidades o condiciones predominantes en un lugar representan siempre -cuando ya se han establecido poblaciones- más ventajas de tipo económico que los inconvenientes temporales que ocasiona un evento natural de carácter extraordinario. Sin embargo esto resulta parcialmente cierto, ya que cuando ocurre un fenómeno destructivo pueden darse desde cambios fisiológicos hasta funcionales, afectando la dinámica de los paisajes y por tanto su oferta originaria de recursos naturales .

La pérdida y/o daño a los recursos disponibles puede tener consecuencias irreversibles, evitables si se busca compensar las necesidades humanas con la capacidad previsoras del conocimiento científico. Dicho de otra manera, la mejor forma de abordar una situación de peligro es conciliando en la práctica la percepción de los pobladores afectados con la percepción científica del agente o fenómeno perturbador.

### *Conceptualización a nivel aplicado*

El nivel aplicado es la respuesta teórica y/o práctica a las distintas formas de percepción del medio geográfico y el riesgo. Por esto es que existen tantos estudios aplicados como imágenes mentales. En los distintos trabajos aplicados, que sobre riesgos se realizan, se manejan indistintamente los términos: riesgo, peligrosidad, desastre, calamidad, catástrofe, siniestro, y otros; esto motivado por perspectivas de índole científica, política, económica, psicológica, sociológica, etc., creando

confusiones al tratar de hablar del mismo problema de estudio. A continuación se exponen algunos de uso actual para después referir el utilizado en este estudio.

Riesgo natural (Burton y Kates, 1964). Aquel elemento del medio físico y biológico nocivo para el hombre y causado por fuerzas ajenas a él.

Imagen común de riesgo (Calvo, 1984). Cuando ciertos acontecimientos extremos del medio exceden la capacidad de los procedimientos humanos para absorberlos o amortiguarlos.

Siniestro (Gelman y Macías, 1983). Factor generador de daños.

Calamidad (Gelman y Macías, 1983). Es el acontecimiento que puede impactar al sistema afectable y transformar su estado normal o deficiente en uno de desastre.

Peligro (Gelman, 1983). Característica inherente a un fenómeno.

Desastre natural (Maskrey, 1993). Es la correlación entre fenómenos naturales peligrosos y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables.

Desastre (UNDRO, 1979). Es cualquier rompimiento en la ecología humana resultado de exceder la capacidad de la comunidad para funcionar normalmente.

Riesgo (Turner, 1976). Un evento concentrado en tiempo y espacio, el cual amenaza una sociedad con consecuencias mayores no deseadas como resultado del colapso de las precauciones culturalmente aceptadas como adecuadas.

Peligro ambiental (Panizza, 1991). Probabilidad de que cierto fenómeno (natural o más o menos inducido por el hombre) pueda ocurrir en cierto territorio en un periodo de tiempo dado.

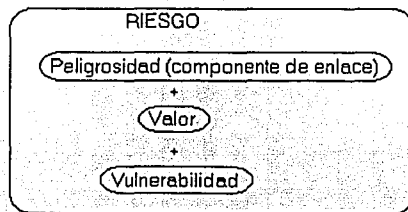
Área vulnerable (Panizza, 1991). Es definida como la complejidad entera de la población, construcciones, estructuras, actividad económica, organización social y cualquier programa de expansión y desarrollo.

Riesgo ambiental (Panizza, 1991). Es la probabilidad de que las consecuencias económicas y sociales de un fenómeno peligroso pueda exceder determinado umbral. Por tanto el riesgo ambiental es igual al producto del peligro ambiental multiplicado por la vulnerabilidad de un área.

Riesgo desde el punto de vista geográfico ( Calvo, 1984). Es la situación concreta en el tiempo de un determinado grupo humano frente a las condiciones de su medio, en cuanto este grupo es capaz de aprovecharlas para su supervivencia o incapaz de dominarlas a partir de determinados umbrales de variación en estas condiciones.

Amenaza o peligro (UNDR0,1979). Definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado.

Con el fin de evitar inconsistencias y confusiones, en 1972 por iniciativa de la UNESCO hubo una reunión de expertos sobre el estudio estadístico de los riesgos naturales (Fournier, 1979). En ésta se elaboró una ecuación conceptual bien estructurada y de amplia cobertura, que resultó, después de revisar distintos conceptos en casos aplicados, la conceptualización más completa por abarcar en forma sintética y objetiva los elementos básicos en un estudio aplicado. Incluye componentes naturales como la peligrosidad del fenómeno, y componentes humanas y combinadas como el valor (componente humana, porque la apreciación de valor se la da el hombre) y la vulnerabilidad (componente combinada, porque interactúan aspectos humanos y naturales). Dentro de los tres elementos de la ecuación (Fig.2) se retoma el evento o fenómeno perturbador como componente de enlace entre el nivel perceptivo y el aplicado, pero ahora se define en función de la peligrosidad o amenaza potencial que representa.



*Fig.2 Nivel aplicado.*

El significado elemental de la ecuación puede ser matizado según la aplicación que se le de, sin embargo, la interpretación más generalizada considera las siguientes ideas. La peligrosidad estudia la agresividad del fenómeno en términos absolutos, es decir, su magnitud física, su ocurrencia y su cobertura espacial, sin considerar aún su afectación al entorno cultural.

El valor estima cuantitativamente la susceptibilidad al daño y/o pérdida de vidas humanas, infraestructura y capacidad productiva por los efectos destructivos del fenómeno, dándole al estudio de la peligrosidad un carácter aplicado.

Finalmente la vulnerabilidad considera las posibilidades técnicas y económicas de prever o mitigar los varios efectos destructivos del fenómeno y la capacidad de la propia naturaleza para absorber el avance del mismo. La vulnerabilidad permite entonces evaluar los grados de exposición de las zonas ocupadas por grupos humanos susceptibles de ser afectados por el fenómeno.

La unión de los dos niveles (perceptivo y aplicado) se da más allá de los componentes de enlace. Es el resultado de sensibilizar las apreciaciones científicas ; de convertir algo abstracto en algo tangible. Es una integración que define los límites y alcances de los estudios geográficos sobre riesgos naturales porque los ubica en un contexto real.

#### *Conceptualización global*

De los dos niveles mencionados y de los distintos puntos de vista que manejan Derrick (1976), Fournier (1979), Burton et al. (1978), Booth (1979), Calvo (1984), Gelman (1982), INFRAPLAN(1988) y Doorkamp (1989) se desprende el siguiente concepto global con enfoque sistémico:

Riesgo natural es la apreciación cualitativa y/o cuantitativa del daño potencial a los grupos humanos generado por un evento o fenómeno de origen natural . Es resultado de la integración funcional y científica del geosistema perturbador (peligrosidad del agente o fenómeno natural) y el sociosistema afectable (valor y vulnerabilidad de la población). Muestra distintos grados de alerta según la expresión geográfica de la peligrosidad del fenómeno y puede ser desde muy bajo o nulo hasta muy alto dependiendo de la valoración relativa de cada componente. La percepción del riesgo y su conceptualización es cambiante porque está inserta en la situación histórico-económica y cultural de las diferentes sociedades, sus formas de apreciación del fenómeno y el espacio susceptible de ser afectado.

Este concepto es una conclusión resumida de lo expuesto anteriormente y permite encausar el análisis teórico-metodológico .

## **Fundamentos teóricos esenciales para el estudio de los riesgos naturales**

Las teorías y métodos utilizados para abordar estudios científicos sobre riesgos naturales, surgen en el marco de una concepción reduccionista que analiza las partes en forma abstracta y aislada. La consecuencia es un conocimiento que gana en profundidad pero pierde la amplitud contextual propia de los problemas reales. Para evitar lo anterior se ha determinado que la teoría de sistemas provee un respaldo teórico acorde con el sentido totalizador del enfoque geográfico y que, por tanto, es la herramienta adecuada para analizar una problemática compleja y multivariable.

Los primeros enunciados sobre la teoría de sistemas surgen ante la necesidad de cubrir vacíos teóricos en la investigación (a finales del siglo pasado) sobre la naturaleza y su funcionamiento global. Se necesitaba un nuevo enfoque que hiciera hincapié en la consideración de la naturaleza como un todo o sistema y no como una sumatoria de partes aisladas. La versatilidad de la teoría ha tenido gran aceptación dentro de los diferentes campos del conocimiento, alcanzando un desarrollo importante a partir de la década de los cuarentas.

La geografía no es la excepción, ya que el enfoque geosistémico de uso frecuente en ecogeografía, surge precisamente de la integración de esta teoría al aparato conceptual y metodológico de la primera. Es en las décadas de los 50 y 60 cuando de hecho se dan los primeros nexos al requerirse métodos para optimizar el uso del paisaje y la protección al medio ambiente. Con este antecedente, geógrafos como Troll, Sochava, Isachenko, Bucek, Drdos y Guerasimov (citados por Bolós, 1992) entre otros, logran darle una dimensión territorial al enfoque sistémico.

### *Lineamientos generales ( base teórico-metodológica)*

Los lineamientos generales de la teoría de sistemas a utilizar en el análisis geográfico de los riesgos naturales, son principios de orden que respaldan teóricamente la organización de los subsistemas, componentes y elementos que integran el ensayo metodológico. Se utilizan porque finalmente todos son aplicables al geosistema como modelo teórico del paisaje, ya que en él encontramos todas y cada una de las características que se definen como propias de todo sistema. Algunos de los más importantes basados en Bertalanffy (1986) , Bolós (1992) y Mateo (1984) son:

-El sistema es un modelo consistente en un conjunto de elementos interactuantes.

-El sistema se conduce en la globalidad, y los cambios en cada elemento dependen de todos los demás.

-Los sistemas pueden ser de tres clases: abiertos, cerrados y aislados. Abiertos, en los que se produce una entrada de estímulos del exterior (materia y energía) que los mantiene a un determinado nivel de funcionamiento. Cerrados, si no existe ninguna aportación exterior de materia y el sistema se desarrolla exclusivamente gracias al intercambio de energía. Aislados, si no existe ningún intercambio de materia y energía con el exterior.

-Tan necesario es conocer los elementos que componen un sistema como las relaciones que existen entre ellos.

-Las principales relaciones dentro de un sistema son: directas o indirectas. Las directas se manifiestan como la influencia unilateral de un elemento sobre otro; éstas a su vez se subdividen en positivas cuando la modificación de un elemento causa la modificación de otro, y negativas cuando el incremento de un elemento implica la disminución del otro, o al revés, cuando la disminución de uno provoca el aumento de otro. Las relaciones indirectas o inversas con acción de retorno son aquellas acciones de un elemento sobre otro que implican, a su vez, que este último actúe sobre el primero.

-Las características del sistema en su conjunto pueden ser sumativas o constitutivas. Las sumativas se pueden dar lo mismo dentro que fuera del sistema; se obtienen por la suma de características y comportamiento de elementos tal y como son conocidos de manera aislada. Las constitutivas dependen de las relaciones específicas que se dan dentro del sistema; para entender tales características se tienen que conocer no sólo las partes sino también las relaciones.

-Las características constitutivas no son explicables a partir de características aisladas.

-El todo es más que la suma de las partes. Se pretende conocer las partes a través del conocimiento del todo.

-Las leyes que gobiernan el comportamiento de las partes sólo pueden ser enunciadas considerando el lugar de las partes en el todo.

-No se puede sumar el comportamiento de las partes aisladas y obtener el del todo; hay que tener en cuenta las relaciones entre los sistemas subordinados y los de orden superior, a fin de comprender el comportamiento de las partes.

-En el estado de totalidad, una perturbación del sistema conduce a la introducción de un nuevo estado de equilibrio. Cabe aclarar que aunque todos los sistemas naturales se autorregulan, existen ciertos límites que son rebasados por la inserción del factor humano, retardando los tiempos de restablecimiento o incluso interrumpiéndolos definitivamente.

-La autorregulación implica una reorganización interna del sistema; que se realiza en un periodo de recuperación (homeostasis).

-El equilibrio o estabilidad puede estar referido a unas zonas y excluir otras dentro del mismo sistema .

-Si el sistema se escinde en cadenas causales independientes, la regulabilidad desaparece .Los procesos parciales seguirán cada uno su camino.

-Mientras más partes se especializan de determinado modo, más irremplazables resultan y su pérdida puede llevar a la desintegración del sistema total .

-La superposición de sistemas se ajusta siempre a un orden jerárquico estructurado por niveles.

-En el análisis sistémico existen 4 niveles de abstracción: a). Sistemas morfológicos. Donde se realiza la correlación estadística entre componentes individuales ;b). Sistemas de cascada. Basados en la transferencia de energía entre componentes individuales; c) Sistemas de proceso-respuesta. Composición híbrida de los dos anteriores; d) Sistemas control de proceso-respuesta. Manipulados por la intervención humana.

-El principio de centralización aplicable a las interrelaciones entre sistemas y subsistemas significa que aunque el funcionamiento se da mediante la interacción de las partes, en la mayoría de los sistemas, el sistema central influye decisivamente en el control de la dinámica general.

-Las partes están altamente integradas tanto en su funcionamiento interno como en su relación mutua debido a que cada una está compuesta por elementos de reacción similar, garantizando una operatividad continua.

-La expresión territorial de la organización sistémica de las partes son llamadas, en este estudio : geosistema y sociosistema.

### *Principios generales en el estudio de los riesgos naturales*

Considerando los extremos en el comportamiento de los fenómenos naturales y la vulnerabilidad de la organización del espacio humano ante la ocurrencia de éstos, se han detectado algunas generalidades repetibles que marcan reacciones y comportamientos observados en el medio natural y la población cuando han ocurrido fenómenos destructivos. Esto no significa que sean repetibles en forma exacta sino que a partir de la frecuencia con que se han presentado en el pasado se puede inferir la ocurrencia de ciertas regularidades en eventos futuros. El conocimiento de estos principios, basados principalmente en las observaciones de Lechat (1990), y Alexander (1991) , permite ajustar el ensayo metodológico a realidades conocidas para inferir realidades probables o potenciales bajo lineamientos conocidos. Estos principios son:

-Los eventos geofísicos de gran magnitud tienden a ocurrir con baja frecuencia y los de poca magnitud son más numerosos en el tiempo.



-La gente tiende a sobreestimar los desastres sensacionales y subestimar los desastres penetrantes ( frecuentes).

-Las amenazas más crónicas, mejor conocidas y más integradas a la cultura local provocarán una reacción normal y las menos ocurrentes serán objeto de especial interés.

-El incremento de la distancia física o emocional hacia el desastre provoca la disminución del impacto psicológico a no ser que la muerte, la destrucción o las pérdidas se incrementen proporcionalmente. Esta es la ley de la magnitud inversa.

-Más que estimular una migración masiva o desplazamiento de poblaciones, la mayoría de los desastres aumentan en una "reacción de convergencia" la llegada de muchos grupos y organizaciones.

-Ningún fenómeno natural de carácter destructivo, se repite con las mismas características , por lo que la predictibilidad basada sólo en esta premisa no es del todo confiable. Sin embargo, es necesario aclarar que la ocurrencia futura, para algunos fenómenos, sólo se puede definir en función de la forma en que se han presentado en el pasado.

-Los riesgos naturales resultan de la interacción de peligros creados por eventos geofísicos y la vulnerabilidad es resultado de la exposición del uso de la tierra por el hombre.

-Lo que determina un desastre no es tanto el tamaño del evento físico sino la incapacidad de la comunidad afectada para absorberlo dentro de sus propiedades ya sean construcciones o valores.

-Como resultado de la convivencia entre el entorno natural, ocasionalmente agresivo, y la organización territorial de los grupos humanos, se genera una percepción específica de riesgo determinada por las diversas situaciones de peligro experimentadas en el pasado. Dependiendo de la percepción de las situaciones de peligro existen tres formas de adaptación al riesgo:

1).- Ocupación persistente del área de riesgo

a).-Con medidas de protección ( diques contra inundaciones, códigos para la construcción en zonas sísmica, etc.)

b).-Con planes de alerta y evacuación.

c).-Sin ninguna medida de protección (estado de máxima vulnerabilidad)

2).- Cohabitando con el daño causado por desastres naturales del pasado( estado de máxima inercia geográfica ).

3).- Abandonando asentamientos y estructuras dañadas o destruidas pero reubicándose dentro de la zona de riesgo (estado de inercia geográfica secundaria ).

-Las formas de adaptación al peligro real y potencial muestran que mientras exista alguna forma de apropiación del espacio por el hombre , la percepción del riesgo variará en función directa de la carga de subjetividad involucrada. Partiendo de este hecho, las superficies de percepción o zonas

peligrosas en general y el fenómeno mismo deden ser considerados equilibrando a nivel perceptivo las imágenes mentales para asi encontrar en la práctica alternativas que permitan la adecuada ocupación del espacio.

### Estructuración general del ensayo

El ensayo metodológico se estructura según los lineamientos generales antes mencionados y los aportes teórico-prácticos de Gelman Y Macias (1983), Faugères (1991), Laforge y Thouret (1991) y Bolós (1992) reestructurados y adaptados para el enfoque geográfico de este estudio. A continuación se muestra en forma esquemática (Fig.3) el arreglo entre los niveles, componentes y variables del estudio :

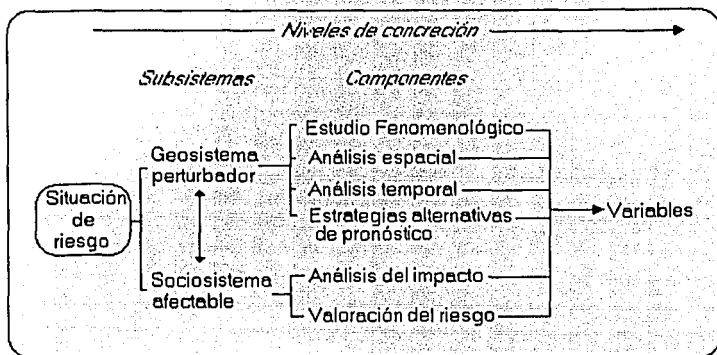


Fig. 3 Estructuración general del ensayo.

La interrelación de subsistemas, componentes y variables tiene distintos niveles de concreción, direccionalidad múltiple y estructura tanto en forma vertical como en forma horizontal dependiendo de la situación específica de riesgo. Refiriendo el esquema anterior, para los niveles de concreción se parte de la organización territorial más amplia, diferenciada en dos subsistemas denominados: geosistema perturbador y sociosistema afectable, derivados de la situación de riesgo y se va particularizando según la organización de los componentes y variables. La libre direccionalidad de los mismos permite reinsertar información de niveles específicos de concreción hacia niveles de concreción más generales.

La diferencia en el uso de los términos geosistema perturbador y sociosistema afectable radica básicamente en el tipo de componentes y variables que asocian y la dinámica interna que los caracteriza, ya que los principios de interrelación son los mismos. El término geosistema fue

propuesto por Sochava en 1963 (citado por Bolós,1992) como un sistema integrado por subsistemas naturales y la expresión territorial de sus interrelaciones. Se le denomina perturbador porque funciona como un sistema capaz de alterar en distintos grados de importancia, el orden establecido en otros.

Por otra parte el sociosistema incluye componentes humanos y su organización territorial. Es afectable porque como sistema es susceptible de ser impactado debido a que su ubicación esta supeditada al medio natural que lo sustenta. La razón que justifica la asociación de variables, según su tipo, es el conocer mejor el funcionamiento interno de los subsistemas partiendo del hecho de que las variables son constitutivas y que su dinámica está determinada por mecanismos específicos.

La estructuración de los sistemas involucrados detecta los componentes perturbadores y los susceptibles de ser dañados. La estructuración vertical integra variables por componentes reflejando el comportamiento sistémico del fenómeno perturbador y la población a nivel puntual. El conocimiento de la estructuración vertical permite definir la estructuración horizontal o conformación territorial de los componentes en geosistemas y sociosistemas a partir de la extrapolación de datos puntuales, ante una situación de riesgo.

Los componentes agrupados según el subsistema abarcan los siguientes aspectos:

Geosistema perturbador. Dentro de éste, el estudio fenomenológico considera los procesos generadores del fenómeno , su comportamiento y los desajustes funcionales que ocasiona al medio ambiente.

El análisis espacial retoma el estudio del fenómeno para delimitar cartográficamente sus distintas expresiones de peligrosidad y así poder correlacionarlas espacialmente con los sistemas socioeconómicos susceptibles de ser dañados.

El análisis temporal se basa en la obtención de datos directos ( bibliografía, encuestas, observación directa, etc.) e indirectos ( métodos geológicos, geomorfológicos, geofísicos, etc. ) para conocer la ocurrencia del fenómeno y determinar que tan frecuente o disperso ha sido en el tiempo .Para cubrir este componente se retoma la información ya seleccionada y se procesa estadísticamente o se inserta en algún modelo predictivo.

Las estrategias alternativas de pronóstico implican la codificación (matemática, analógica, estadística, etc. ) de toda la información disponible sobre el fenómeno para predecir su comportamiento en términos espaciales y temporales. Si se pretende reproducir la realidad lo más fielmente posible es necesario realizar pruebas teóricas y experimentales sobre datos confiables.

**Sociosistema afectable.** Dentro de éste, el análisis del impacto evalúa la posible afectación a las condiciones físicas y funcionales, social y económicamente hablando para delimitar espacialmente distintas zonas de impacto. Es de hecho el resultado de la interacción entre el geosistema perturbador y el sociosistema afectable.

La valoración del riesgo es finalmente la apreciación de la peligrosidad del fenómeno en términos de afectación a los grupos humanos y debe ser el resultado de la suma de la valoración científica y práctica de todos los componentes ya mencionados.

Como resultado del análisis de los componentes se obtienen una serie de variables que una vez organizadas dan lugar al ensayo metodológico. Todas están sistemáticamente relacionadas y tienen una expresión catográfica individual y en conjunto.

## CAPITULO II

### ENSAYO METODOLÓGICO GEOSISTÉMICO

El ensayo es un escrito de exposición y crítica, una prueba teórica alrededor de un tema que puede después concretarse en un estudio de caso. Para el estudio de los riesgos el ensayo tiene un carácter predictivo y práctico, por lo que sus objetivos son resolver cuestionamientos ante una situación de riesgo como el ¿Dónde?, ¿Qué va a pasar?, ¿Cuándo? y ¿Cómo?. Estos serán solucionados con distintos grados de precisión y confiabilidad dependiendo del fenómeno natural en cuestión y de la profundidad de su estudio o análisis. Se le dará mayor énfasis a la zonificación del riesgo y por tanto a la solución del ¿Dónde? son mayores o menores las expresiones de peligrosidad y afectación.

Como se precisó al final del primer capítulo, este ensayo se basará en la conceptualización a nivel aplicado. Esto debido a que el desarrollo del nivel perceptivo requiere de un estudio profundo, primero, de la respuesta psicosocial generalizada y segundo de las respuestas de las distintas poblaciones según cosmovisión, definición cultural, capacidad de adaptación al medio, formas de convivencia con un entorno natural peligroso, factores de inercia histórico-económica y sobre todo de la dinámica y condición socioeconómica vigente. Todo lo anterior para poder elaborar mapas mentales acordes con la percepción real que las poblaciones tienen ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores.

Salvo en los casos en que se haga la aclaración pertinente, todos los conceptos y procedimientos incluidos en este ensayo son una propuesta original del autor de este trabajo. Se utilizan algunos aportes teóricos de otros autores sólo como antecedentes o referencias básicas.

Para evaluar el peligro y analizar el riesgo real se requiere de un seguimiento de pasos ordenados que permita conocer las posibles situaciones de crisis en su contexto espacio-temporal. El ensayo metodológico geosistémico está compuesto de 4 etapas que se ajustan tanto al concepto de riesgo a nivel aplicado, como a la estructura básica planteada en el primer capítulo, y son: ubicación del o los componentes del riesgo en tipologías preestablecidas, metodologías parciales de evaluación por subsistemas, metodología de evaluación general del riesgo y expresión cartográfica analítica y

sinéctica. En la siguiente figura (Fig.4) se muestran esquemáticamente las etapas y sus principales componentes.

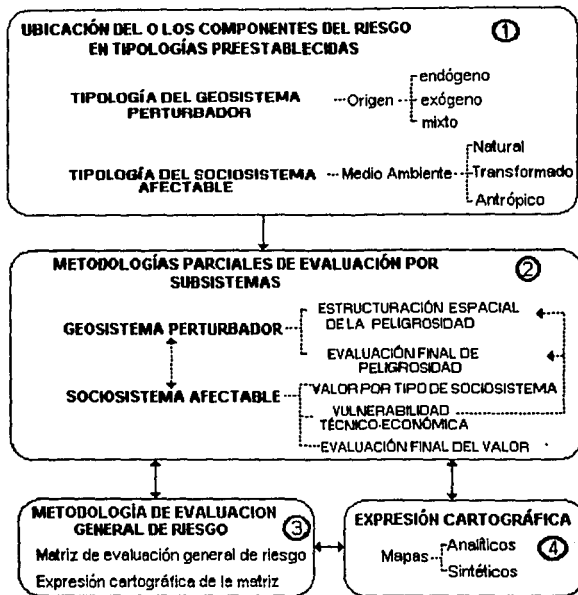


Fig.4 Flujograma del ensayo metodológico geosistémico.

La relación entre todas las etapas es sucesiva y multidireccional. Como ya se ha mencionado las variables están íntimamente relacionadas y por lo tanto no es posible desligarlas ni en su estructura vertical ni horizontal.

Debido a que este ensayo tiene una orientación geográfica, la zonificación a través de la expresión cartográfica integral, es fundamental en el ordenamiento del espacio expuesto a las distintas amenazas naturales, por tanto, cada parte de la metodología está compuesta por un conjunto de mapas que son parte y resultado del análisis teórico.

## ① UBICACIÓN DEL O LOS COMPONENTES DEL RIESGO EN TIPOLOGÍAS PREESTABLECIDAS (Tipos de geosistemas perturbadores y sociosistemas afectables)

Las tipologías en riesgos son esquemas establecidos bajo distintos criterios, para ordenar sistemáticamente la ocurrencia de fenómenos o agentes perturbadores y/o elementos afectables. Simplifican los estudios comparativos y estructuran las semejanzas o diferencias entre los objetos de estudio. Resultan ser de utilidad en:

- a). La identificación de los agentes o fenómenos perturbadores que puedan provocar situaciones de riesgo.
- b). En el diseño de bases de datos para inventarios sobre riesgos naturales y,
- c). En el proceso de evaluación final al permitir dar valores a priori sobre las zonas expuestas

La identificación de los agentes perturbadores es de suma importancia en el monitoreo de las amenazas naturales. Su aplicación es mayor cuando existe un registro asociado de comportamientos diagnóstico indicadores de peligro (eventos premonitorios, conocimiento de los procesos generadores, etc.) para cada fenómeno (Fig.5).

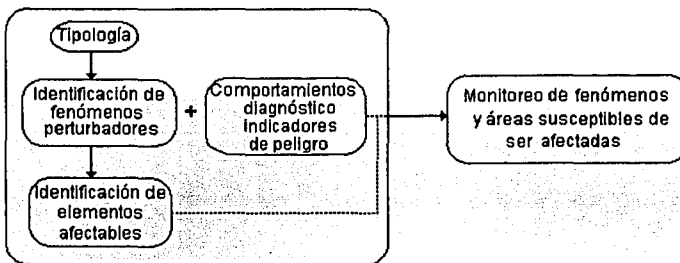


Fig. 5 Relación tipología-monitoreo.

Las tipologías son una buena base para estructurar inventarios sobre fenómenos naturales que hayan o puedan ocasionar daños a poblaciones. A partir de éstas es posible diseñar modelos entidad-relación (base de datos), sobre los cuales se puedan definir atributos espaciales y no espaciales, como buen antecedente en términos de planeación.

Otra utilidad de las tipologías es la facilidad de disponer de un esquema a priori que pueda servir como guía en el proceso de evaluación. Cuando se decide la importancia relativa de las zonas sujetas a riesgo, se ponderan la susceptibilidad y la vulnerabilidad al peligro según sus componentes, por lo que disponer en una primera aproximación de los elementos perturbadores y afectables, permite definir desde el principio, pesos relativos.

Debido a la amplitud del concepto riesgo y a los objetivos de las tipologías, no se establecen esquemas generales que integren todos los componentes, sino más bien esquemas o inventarios parciales que agrupan por separado la peligrosidad de los fenómenos, su génesis y sus efectos.

La identificación de los fenómenos perturbadores se lleva a cabo mediante dos tipos de métodos: directos e indirectos. Los directos incluyen la observación sistemática del fenómeno y su comportamiento, la recopilación y análisis de información documental (bibliográfica, hemerográfica, fotográfica, cartográfica), las entrevistas semiestructuradas y las encuestas. El diseño de éstas se construye sobre la base de un sondeo global y según las necesidades y disponibilidad de información.

Por otra parte los métodos indirectos permiten detectar mediante vestigios o indicadores indirectos la ocurrencia pasada y/o probable de eventos o fenómenos perturbadores. Algunos de los más usados son los geológicos, geofísicos, geomorfológicos y ecológicos.

Para dar una idea general de la tipologías generales, a continuación se resume, esquemáticamente, la forma de distinguirlas según su origen o naturaleza, sus efectos, su frecuencia o tipo de ocurrencia y el tiempo de advertencia (Tabla 1).

*Tabla 1. Tipologías en riesgos*



Criterios de tipificación	Autores	Tipología
Origen o naturaleza	Burton y Kates (1964)	Origen { geofísico { climáticos-meteorológicos geológicos-geomorfológicos biológico { florales faúnicos
	Faugères (1991)	Sistemas { natural - geodinámica { interna externa ecodinámica socioeconómico actividades { primarias industriales servicios transporte otras
	Secretaría de Gobernación Atlas Nacional de Riesgos (1991)	Agentes perturbadores { geológicos hidrometeorológicos químicos sanitarios socio-organizativos
Criterios de tipificación	Autores	Tipología
Efectos y/o consecuencias	Alexander (1991)	Efectos { Muy alto Alto Medio Bajo Muy bajo Consecuencias { Directas Encadenadas
Frecuencia o tipo de ocurrencia	Alexander (1991)	Intensivos Perniciosos Azarosos Ocasionales Progresivos Complejos Estacionales Poissonianos Diurnos Irregulares
Tiempo de advertencia	Lechat (1990)	Fases: Anticipativa De alarma Rescate Ayuda Rehabilitación

Para los detalles de las clasificaciones anteriores, remitirse a las fuentes originales.

Con el objeto de precisar por separado la existencia o no de los fenómenos perturbadores y las zonas susceptibles de ser afectadas, se han definido dos tipologías: la del geosistema perturbador y la del sociosistema afectable.

## TIPOLOGÍA DEL GEOSISTEMA PERTURBADOR

La tipología del geosistema perturbador utilizada para este estudio se basa en las propuestas de Verstappen y Faugères (1991) modificadas. Los tipos de geosistemas se establecen según su expresión espacial sobre la superficie y el sistema natural y/o antropocéntrico que les dio origen (Fig. 6). Así se definen 3 grandes grupos: los de origen endógeno, exógeno y mixto. Estos a su vez se subdividen en 6 subgrupos en los cuales se ubican los fenómenos perturbadores que a continuación se listan.

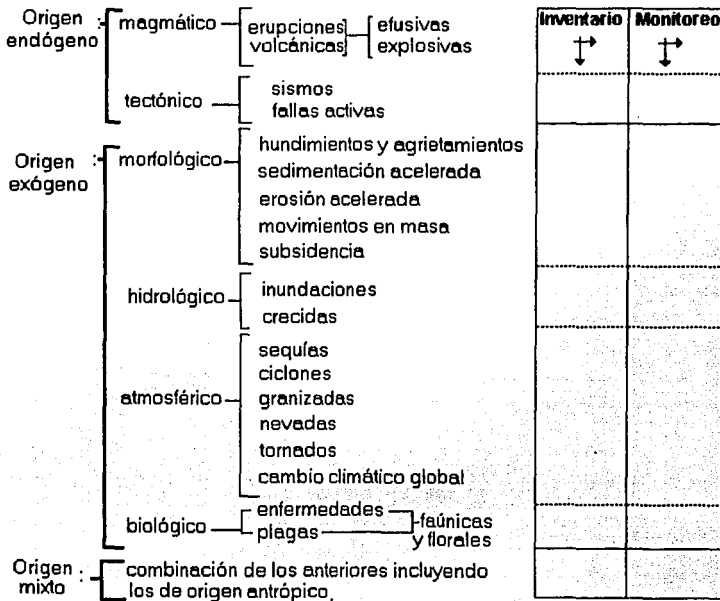


Fig 6. Tipología del geosistema perturbador.

Los grupos de génesis de fenómenos perturbadores se establecieron con fines de identificación y monitoreo, por lo que su condición de funcionamiento en relaciones multigenéticas y multifuncionales requiere de un análisis particular.

## TIPOLOGÍA DEL SOCIOSISTEMA AFECTABLE

Para el sociosistema afectable no existen tipologías orientadas hacia la valoración humana del riesgo por lo que se elaboró una según algunos lineamientos de la ciencia del paisaje y la forma en que el hombre usa y adapta el entorno natural. El objetivo principal de esta tipología es identificar en la generalidad todos los componentes mayores de la estructura espacial del medio ambiente involucrado en una posible situación de riesgo.

Se establecen tres grupos: medio ambiente natural, medio ambiente transformado y medio ambiente artificial, según el grado de naturalidad, funcionalidad y orientación económica (bases conceptuales modificadas de Gómez Pompa, 1978 y Bolós, 1992). De los criterios utilizados el más importante para la identificación objetiva de los sociosistemas es el de la función que cumplen para el hombre en su proceso de apropiación de la naturaleza. La estructura general de la tipología es la siguiente :

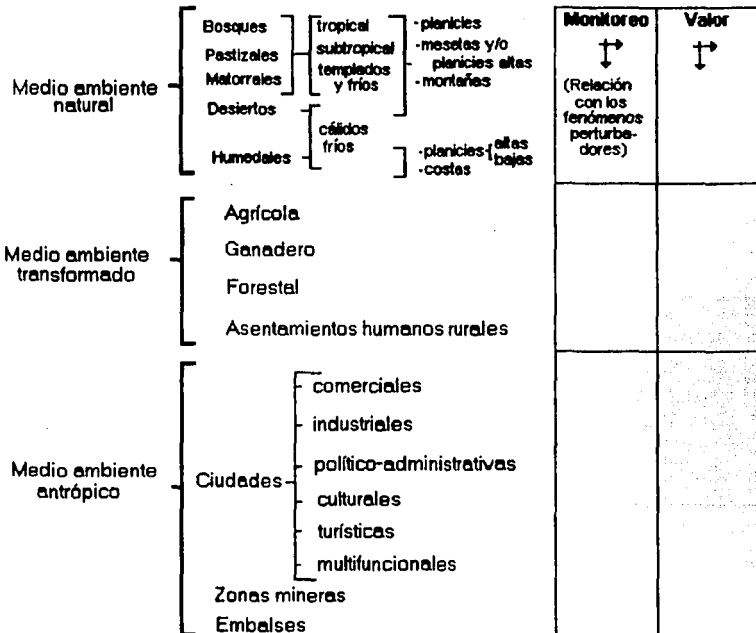


Fig.7 Tipología del sociosistema afectable.

*Medio Ambiente Natural (paisaje natural).* Mantiene un grado de naturalidad cercano al original debido a que la actividad humana no ha alterado significativamente las relaciones funcionales del paisaje. Dominan los elementos bióticos y abióticos sobre los antrópicos. La energía natural se encarga de mantener el funcionamiento del sistema. El paisaje natural se considera como ecosistema debido a que prácticamente no existe espacio de la superficie terrestre que no muestre formas de apropiación o uso humano. Cualquier paisaje por aislado que se encuentre, ha sido destinado a satisfacer alguna necesidad o interés para el hombre.

Debido a que son los espacios en superficie los habitados por el hombre y por tanto los susceptibles de ser afectados por fenómenos destructivos, en la clasificación se consideran sólo los paisajes terrestres, insulares y de transición. Los marinos no son parte del objetivo del trabajo.

Los paisajes generales se ordenaron con base en tres características: el elemento indicador vegetación, la caracterización ambiental en cuanto a régimen predominante de humedad y temperatura y según las unidades geomorfológicas mayores. Las comunidades vegetales y/o ambientes naturales son: bosques, pastizales, matorrales, desiertos y humedales, mismos que se caracterizan según regímenes típicos de humedad y temperatura como: tropical, subtropical, templados y fríos. Por otra parte, las unidades geomorfológicas (caracterización morfológica) representativas son: montañas, mesetas, planicies bajas y altas, y como unidad de interfase las franjas costeras.

La caracterización completa del medio ambiente natural debe integrar: la unidad geomorfológica, la comunidad vegetal y su régimen de temperatura y humedad.

Dentro de estos tipos de medio ambiente natural existen subsistemas naturales asociados con características ambientales bien diferenciables como: los lagos y lagunas. En éstos, la dinámica hídrica caracteriza su fisonomía y determina su funcionamiento, sin embargo, con el objetivo de evitar establecer subunidades fragmentadas, se les integra a la jerarquía taxonómica mayor ya mencionada.

*Medio Ambiente Transformado (paisaje rural).* Es un medio natural transformado por la introducción de elementos bióticos domesticados, razón por la cual conserva cierto grado de naturalidad (zonas agrícolas, ganaderas y forestales). Su funcionamiento se debe parte a la energía natural (básicamente solar) y parte a la energía humana. El elemento antrópico es un factor fundamental pero los elementos bióticos y abióticos tienen una importancia considerable.

Dentro de este medio se ubican asentamientos humanos relacionados con las distintas actividades económicas primarias. En la actualidad estos asentamientos, originalmente rurales, tienden a relacionarse cada vez más estrechamente con las ciudades, por lo que resulta difícil establecer un límite estricto entre lo rural y lo urbano. Sin embargo, con fines prácticos, se han determinado umbrales por número de habitantes. El límite superior en México, según Unikel, (citado por Ma. Elena Ducci ,1989) se establece en menos de 15,000 habitantes. Al mismo tiempo, dentro de este rango, se pueden diferenciar poblaciones mixtas que integran elementos rurales y urbanos y tienen entre 5 000 y 15 000 habitantes, y poblaciones propiamente rurales con menos de 5 000 habitantes. Estos límites son el resultado de integrar una serie de índices y variables socioeconómicos.

Dado que en este tipo de medio ambiente se conjugan elementos naturales y antrópicos en forma equiparable, los criterios de subdivisión se basan en el concepto de orientación económica que es el resultado de la integración entre las características físicas del terreno y su aptitud productiva, las técnicas aplicadas, el régimen de propiedad y la propia orientación económica.

Según su orientación económica ( Bolós, 1992, modificada) el medio ambiente transformado puede ser (Fig. 8) :

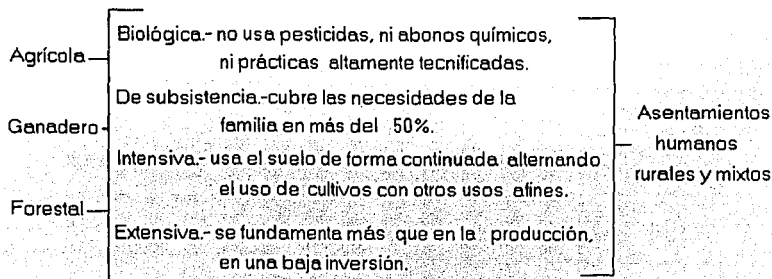


Fig.8 Tipos de medio ambiente transformado

**Medio Ambiente Antrópico.** El medio ambiente original ha sido totalmente modificado o adaptado a las necesidades de los asentamientos humanos modernos y su red de interrelaciones y actividades. Predominan los elementos antrópicos sobre los bióticos y abióticos. La energía que mantiene su funcionamiento es básicamente antrópica.

Los paisajes antrópicos se pueden diferenciar en : ciudades, zonas mineras y embalses. Según su función, las áreas urbanas o ciudades se pueden clasificar , según los criterios modificados de

Ducci,1989 y Bolós, 1992, en: comerciales, industriales, político-administrativas, de función cultural, turísticas y multifuncionales .

*Ciudades comerciales.* La mayoría de la población se dedica al comercio, actividad que sirve de base para el surgimiento y desarrollo de ciudades periféricas. Se consideran centros de conexión con el medio rural.

*Ciudades industriales.* La actividad predominante es la producción y elaboración de materias primas o la elaboración de productos acabados.

*Ciudades político-administrativas.* Residencia del gobierno y centros administrativos en donde se toman decisiones importantes a nivel regional y/o nacional.

*Ciudad cultural.* Ciudades universitarias o de instituciones educativas con tradición y prestigio donde la mayoría de la población se dedica a labores académicas y las restantes actividades son de servicios asociados a ésta. Dentro de este tipo de ciudades se pueden incluir aquellas que también funcionan como centros de reunión religiosa.

*Ciudad turística.* Son ciudades que ofrecen servicios turísticos y se caracterizan por poseer un alto volumen de población flotante. Pueden tener también funciones terapéuticas de salud.

*Ciudad multifuncional.* Son grandes ciudades que abarcan en el mismo espacio físico, dos o más de las funciones antes mencionadas. Normalmente alrededor de éstas se organizan sistemas de ciudades.

*Zonas mineras.* La explotación de minerales metálicos y no metálicos tanto a cielo abierto como bajo la superficie, ocasiona cambios tanto fisonómicos como funcionales en el paisaje. Moviliza grandes cantidades de material, mismo que es simiprocesado o procesado in situ mediante tratamientos físicos y químicos. Demanda infraestructura como maquinaria pesada, transportes y vías de comunicación.

*Embalses.* Al acumular grandes volúmenes de agua, se generan barreras y cambios ambientales drásticos. Contribuyen a la economía (pesca), transporte y agua potable locales. Reportan beneficios a nivel regional en el abasto de agua potable, riego y energía eléctrica.

## ② METODOLOGÍAS PARCIALES DE EVALUACIÓN POR SUBSISTEMAS.

Los subsistemas a considerar bajo una situación de riesgo son, como ya se ha mencionado, el geosistema perturbador y el sociosistema afectable. Para llegar a la evaluación por subsistemas se agrupan variables afines en origen y funcionalidad para darle una operatividad continua al proceso de evaluación. Estas variables se agrupan en 6 clases que a su vez se subdividen cada una, en dos. En la siguiente figura (Fig.9) se muestran las variables básicas:

Variables	Típicas	Dominancia de elementos naturales en el medio	Bióticas
			Abióticas
	Atípicas	Régimen de actividad y movilidad	Estéticas
			Dinámicas
	Relación funcional	Dependientes	
		Independientes	
Expresión espacial	Espaciales		
	No espaciales (atributos)		
Proceso de evaluación	Análíticas		
	De evaluación		
Dinámica antroponatural	Naturales		
	Artrópicas		

Fig. 9 Clases de variables

Explicando brevemente las clases de variables, pueden ser, en lo general, típicas o atípicas. Las típicas son aquellas repetibles en el esquema general para todos los estudios de caso y las atípicas son las aplicadas a situaciones concretas irrepetibles. La metodología planteada en este trabajo se estructura en función de las variables tipificables, lo que no descarta la posibilidad de incorporar nuevas variables.

En lo particular, considerando la dominancia de elementos naturales en el medio, las variables son: bióticas y abióticas. Las primeras consideran los elementos vivos del medio ambiente y las segundas los elementos inanimados. Ambas variables son esenciales en la estructuración y dinámica del medio ambiente, por lo que son importantes en la delimitación de los sistemas de orden natural en donde se generan los fenómenos perturbadores.

En cuanto al régimen de actividad y movilidad se distinguen dos tipos: las estáticas y las dinámicas. Las variables estáticas participan en la generación de los fenómenos al propiciar distintos grados de susceptibilidad en el territorio, tienen poca o nula movilidad espacial. Por otra parte las variables dinámicas son las que le dan movilidad de los fenómenos, o bien disparan la actividad de los mismos.

Existen también variables según su relación funcional: las variables dependientes y las independientes. Las primeras son aquellas que por sus características intrínsecas no pueden existir desligadas del sistema, y las independientes se pueden sustraer del mismo y seguir existiendo.

La expresión espacial de las variables es importante en el proceso de zonificación. Así, existen variables que reflejan espacialmente comportamientos y distribución de los fenómenos, y variables que aunque se presentan en la misma ocasión, no son perceptibles y por tanto no tienen expresión espacial. Éstas últimas son las variables no espaciales o atributos, que indirectamente se manifiestan como parte fundamental en la dinámica y caracterización del fenómeno.

Cuando se plantea el procedimiento de evaluación, existen variables que por sus características se pueden evaluar en términos cuantitativos o semicuantitativos y otras que no. Éstas últimas se denominan variables analíticas y son componentes básicas para conocer el funcionamiento del fenómeno así como las posibilidades de evaluar sus distintas manifestaciones de peligrosidad.

La relación hombre-naturaleza es cada vez más intrincada y compleja, por lo que diferenciar grados de influencia o predominancia es siempre difícil. Sin embargo, para determinar causalidad y por tanto procesos generadores, siempre es conveniente identificarlas y analizarlas tanto individualmente como en conjunto. Lo anterior permite detectar las formas de interacción entre las dinámicas propiamente naturales y las inducidas por el hombre.

La descripción general de las clases de variables resulta necesaria porque las metodologías que a continuación se desarrollan se basan en la identificación, organización y evaluación de éstas.

La descripción de las clases de variables se aplica a toda la metodología. Algunas se señalan explícitamente y otras en forma implícita.



## **GEOSISTEMA PERTURBADOR**

El medio natural está expuesto a perturbaciones naturales y antrópicas. Las perturbaciones naturales o autogénicas son parte de la dinámica que tiende a renovar la fisonomía y funcionamiento del paisaje en forma temporal o definitiva; por tanto no representan ninguna amenaza para los ambientes naturales.

El peligro existe como la probabilidad de afectación al hombre, y es en estos términos, que la perturbación generada por un fenómeno natural puede ser considerada o no, una amenaza que afecte o altere el orden establecido en el ecosistema afectable. Por otra parte las perturbaciones antrópicas o alógenas son en algunas ocasiones condicionantes de comportamientos anómalos debido a que al alterar el estado medio de funcionamiento en los ambientes naturales, pueden contribuir considerablemente en la amplificación de los efectos destructivos de un fenómeno natural.

## **ESTRUCTURACIÓN ESPACIAL DE LA PELIGROSIDAD**

El funcionamiento y expresión espacial del fenómeno perturbador es el resultado del arreglo sistémico de sus variables. Conociendo este arreglo se puede determinar la estructura espacial de la peligrosidad y por tanto su probable impacto sobre el ecosistema afectable.

En el siguiente esquema se muestran en forma organizada las variables básicas a considerar (fig. 10) en la evaluación de la peligrosidad del geosistema perturbador. Están ordenadas secuencial y sistemáticamente conforme a los principios de orden establecidos por la teoría de sistemas y solucionan la estructuración espacial del impacto a partir del conocimiento de la dinámica del fenómeno natural.

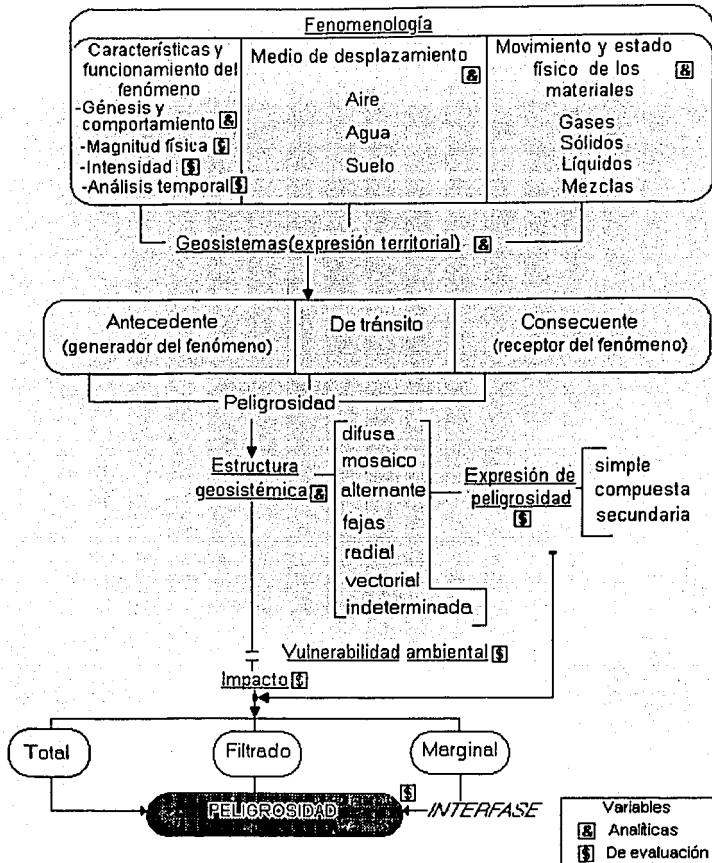


Fig. 10 Estructuración espacial de la peligrosidad.

Usando como referencia el esquema anterior, a continuación se explica en que consiste cada módulo, sus formas de análisis y los criterios de evaluación. Precizando la manera en que se consideran las variables, según el recuadro del ángulo inferior derecho, se puede decir, que con fines de evaluación existen dos clases de variables: las analíticas y las susceptibles de ser evaluadas. La variables analíticas conducen sistemáticamente a las de evaluación, la diferencia es que la primeras no tienen necesariamente un valor numérico asignado y las segundas sí.

## Fenomenología

Para el estudio fenomenológico se parte del principio de que los fenómenos se comportarán en el presente o en el futuro de forma similar a como lo han hecho en el pasado (dentro de ciertos rangos de variación). La única referencia que se tiene para inferir el posible comportamiento futuro es el reconocer las condicionantes y procesos que se han dado en el pasado para considerar entonces la posibilidad de que éstos se repitan.

La aplicación de modelos en los que se intenta, mediante la abstracción, reproducir la realidad a escala, maneja inicialmente las mismas variables naturales que generan el fenómeno en la naturaleza, por lo que la base del análisis es siempre el conocimiento previo de su comportamiento.

La fenomenología comprende, dentro de la estructuración espacial de la peligrosidad, tres etapas de conocimiento:

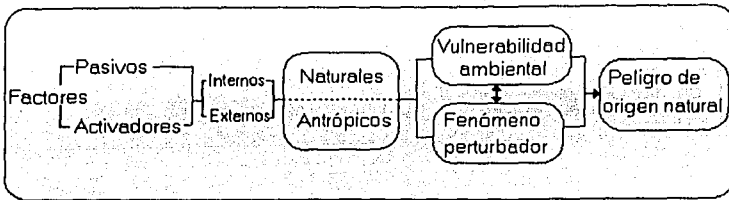
- A) Características y funcionamiento del fenómeno
- B) Medio de desplazamiento y estado y movimiento de los materiales

### A) Características y funcionamiento del fenómeno

#### *Génesis y comportamiento*

El conocimiento de los procesos, mecanismos y factores generadores de un fenómeno permite definir las condiciones bajo las cuales se puede originar y/o repetir, ubicando así, las zonas en las que el fenómeno tiene su primera expresión espacial. Los procesos explican mediante una serie de fases la forma en que funcionan y se relacionan los mecanismos que originan el fenómeno. Los mecanismos son a su vez resultado de una interacción de factores por lo que el reconocerlos como componentes de una dinámica compleja es la base del análisis.

Los factores a considerar se muestran esquemáticamente en la siguiente figura (Fig.11):



*Fig. 11 Génesis y comportamiento del fenómeno.*

La primera diferencia se establece entre los factores pasivos y activadores. Los pasivos no tienen movimiento pero facilitan o inducen las condiciones para la movilidad del fenómeno (por ejemplo, un sustrato geológico poco compacto y una pendiente muy inclinada favorecen la remoción en masa) y los activadores son propiamente los iniciadores del movimiento (por ejemplo, aportes extraordinarios de agua, pérdida del soporte de las laderas, etc.). A su vez el conjunto de factores pueden ser, internos cuando presionan la dinámica del fenómeno desde el interior hacia la superficie, o externos cuando la presionan desde fuera. Por otra parte pueden ser de origen natural o antrópico, esto debido a que cada vez es más frecuente la participación del hombre como factor condicionador y/o activador en la dinámica de un fenómeno originalmente natural. Cuando el conjunto de factores generadores interactúan para facilitar u obstaculizar el desarrollo y evolución del fenómeno, se dice que existe o no susceptibilidad ambiental. Esta última guarda una relación estrecha con el fenómeno perturbador y determina finalmente su peligrosidad.

Aunque todos los fenómenos manifiestan su impacto sobre la superficie, sus comportamientos pueden variar dependiendo de la ubicación vertical de su lugar de origen. Esta se refiere a si el fenómeno se genera en (Still, 1992):

- a) el interior de la tierra (sismos y volcanes),
- b) la superficie de la tierra (deslizamientos, derrumbes, etc.)
- c) sobre la superficie (ciclones, sequías, etc.) o
- d) de dos orígenes (peligros de interfase).

De esta ubicación depende si la expresión territorial del origen del fenómeno es localizada o de amplia cobertura areal. Así por ejemplo se tiene que los ciclones, que se generan en espacios atmosféricos muy amplios, son condicionados por la existencia de extensos cuerpos de aguas cálidas que son las que le proporcionan la energía cinética necesaria para su desarrollo; y es a partir de estas condicionantes que su cobertura areal de origen es amplísima. Por el contrario en fenómenos como los deslizamientos las condicionantes son tan específicas, que su área de origen es muy localizada.

Después de conocer los procesos y mecanismos que le dieron origen al fenómeno, se le da un seguimiento a su proceso de desarrollo y avance. Para entenderlo es necesario considerar simultáneamente la dinámica del fenómeno y la forma en que el territorio lo asimila ( modifica, acelera, desacelera, amplifica, inhibe, etc.). Los fenómenos tienen en su comportamiento un seguimiento evolutivo particular desde que se inician hasta que se disipan. Algunos incrementan su magnitud conforme se desarrollan y otros ocurren en forma súbita y van disminuyendo su energía a medida que avanzan sobre el territorio. Su seguimiento evolutivo sobre el territorio se puede considerar dentro del concepto complementario de estabilidad inherente a los geosistemas. Así se tienen geosistemas inestables en los que dominan comportamientos extremos en sus componentes ambientales y geosistemas estables en donde dominan comportamientos medios con perturbaciones ocasionales poco importantes. Esta diferenciación ayuda a definir en que momento los fenómenos perturbadores pueden:

amplificar -----retroalimentación positiva o

disminuir -----retroalimentación negativa

Cada vez es más frecuente la influencia humana como factor generador de inestabilidad por lo que es importante diferenciar en donde se mantienen las tendencias naturales y en donde han sido alteradas por la acción antrópica.

#### *Magnitud física*

Se refiere al tamaño del evento o fenómeno manifestado a través de su cobertura areal. El tamaño es a su vez expresión de la carga energética y su capacidad para dispersar los materiales en transporte. Según estos criterios, los fenómenos son de dos tipos : magnitud amplia o magnitud reducida (Fig.12) , mismas que a su vez puede ser de ocurrencia ordinaria o extraordinaria.



*Fig. 12. Clases de magnitud.*

Ambos tamaños se determinan por indicadores o vestigios obtenidos de la observación directa o mediante la aplicación de métodos indirectos. El concepto de magnitud es consecuencia de una serie de relaciones complejas y puede ser modificado según las características de cada fenómeno en particular.

Los fenómenos de magnitud amplia cubren grandes extensiones territoriales. Para que esto pueda ser posible es necesario que en su proceso de génesis y desarrollo existan grandes cantidades de materia y energía que permitan formas amplias de dispersión. La magnitud, como ya se mencionó, puede ser ordinaria o extraordinaria, calificando al mismo tiempo tamaño y temporalidad. Los ordinarios tienen una periodicidad definida ( estacionales, anuales, etc.) y su comportamiento se basa en indicadores de ocurrencia repetibles, por lo que en general son más o menos predecibles, así por ejemplo, las inundaciones en algunas regiones son estacionales y afectan periódicamente las mismas zonas en mayor o menor grado.

Los fenómenos extraordinarios, por el contrario, son poco frecuentes en el tiempo e involucran con frecuencia el transporte de grandes cantidades de materia (sólidos, líquidos y gases), importantes potenciales energéticos y un alto grado de incertidumbre en su predictibilidad. Suelen ser de ocurrencia súbita, por lo que difícilmente se pueden esperar fases evolutivas de crecimiento en tamaño para tomar medidas preventivas en un lugar y tiempo determinados. Pueden ser, incluso, fenómenos ordinarios que por condicionantes favorables concentradas en tiempo y espacio vean amplificadas en términos extraordinarios su capacidad destructiva.

Por otra parte los fenómenos de magnitud reducida tienen poca cobertura areal, lo que no significa necesariamente que sus efectos destructivos sean pocos. Generalmente son el resultado de largos procesos de acumulación de energía y materia bajo condicionantes muy localizadas (deslizamientos rotacionales, subsidencia, etc.) activadas por algún mecanismo poco repetible o extraño.

Existen formas cualitativas y cuantitativas de apreciar el tamaño, así por ejemplo, para los sismos se ha establecido la escala de Richter y para las erupciones volcánicas el Índice de Explosividad Volcánica. Cabe aclarar que aunque en los casos anteriores no se considera la cobertura areal como principal parámetro de magnitud, éste existe en forma implícita.

Se propone evaluar la magnitud de la siguiente manera:

Magnitud física amplia extraordinaria.....	3
Magnitud física amplia ordinaria.....	2
Magnitud física reducida extraordinaria.....	2
Magnitud física reducida ordinaria.....	1

Para algunos fenómenos en donde existe ya una apreciación numérica de la magnitud como en el caso del índice de explosividad volcánica (I.E.V.), o las escalas de Richter o Mercalli para sismos, se establece una relación de proporción, por ejemplo, para el caso del I.E.V. el límite extremo de mayor magnitud es 8 y su equivalente para la escala manejada en este apartado es 3. En el caso de los sismos, si alcanzan valores mayores de 8 en la escala de Richter (límite superior), se establecerá su equivalente en 3, reduciéndose proporcionalmente hacia el límite inferior extremo.

### *Intensidad*

Es el grado de actividad o potencia de un fenómeno; la expresión espacial de sus distintos grados en fuerza y agresividad. En general existe una relación inversamente proporcional entre la distancia del núcleo u origen y el grado de actividad o potencia del fenómeno, es decir, que conforme se incrementa la distancia de la zona en donde se originó, la intensidad disminuye, aunque puede suceder que por factores externos, asociados o concatenados, el fenómeno incremente su potencia a medida que avanza sobre el territorio (por ejem., las crecidas).

La carga energética es fundamental en la dispersión del fenómeno y por lo tanto en la expresión y estructuración espacial de la intensidad. Es por esto que fenómenos violentos como los ciclones o las erupciones volcánicas explosivas, además de tener amplias coberturas territoriales, manifiestan varios gradientes de intensidad.

La intensidad no está necesariamente relacionada con la movilidad espacial de los fenómenos. Estos pueden ser más o menos intensos y tener alta o baja movilidad, por ejemplo, el desnivel entre los bloques de una falla puede ser muy importante en términos temporales, sin embargo, la falla como tal, puede no experimentar desplazamientos horizontales importantes que expresen una movilidad apreciable.

Los grados de intensidad son referenciados siempre a los comportamientos observados con anterioridad para el fenómeno en cuestión. Es por eso que los parámetros de comparación siempre se basan en los eventos extremos registrados hasta el momento en que se realice el análisis fenomenológico.

Es importante precisar las diferencias entre magnitud e intensidad. Un fenómeno de magnitud definida (amplia o reducida) puede expresarse en el terreno con distintos grados de intensidad, por ejemplo, un sismo de magnitud 6 en la escala de Richter puede tener distintos efectos destructivos si el terreno amplifica (en arcillas lacustres) o transmite (en granito poco intemperizado) las ondas sísmicas haciéndolo más o menos intenso. Esto quiere decir que la

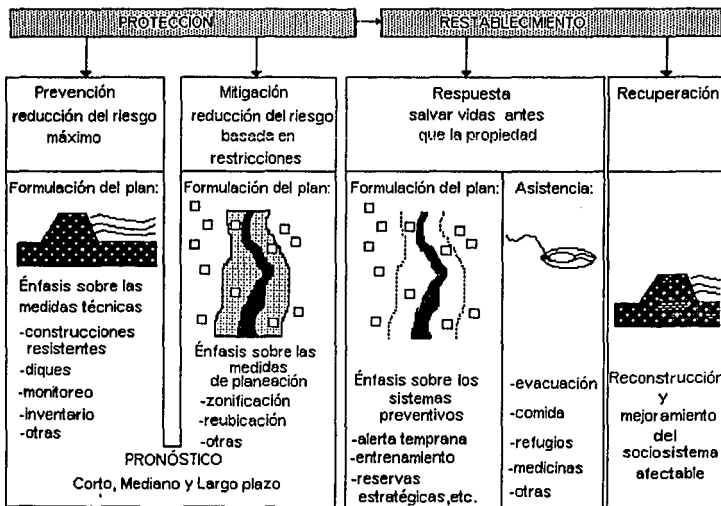
magnitud es un concepto relativo de apreciación general y la intensidad un concepto referido a los grados y formas en que se manifiesta esta magnitud.

La apreciación numérica de la intensidad está íntimamente relacionada con la susceptibilidad del terreno, y se propone evaluar como sigue:

- Intensidad mayor.....3
- Intensidad media.....2
- Intensidad menor.....1

*Análisis temporal*

El análisis del comportamiento temporal del fenómeno se orienta según los tiempos humanos de respuesta y los tipos de intervención ante la ocurrencia del mismo. Normalmente se dan 2 etapas en 4 fases sucesivas, como se muestra en la siguiente figura (Fig. 13), en donde se tomó como ejemplo, el caso de las inundaciones:



Modificada de Verstappen, 1992

Fig. 13 Etapas de respuesta ante la presencia de un fenómeno perturbador.



La presente metodología se ubica dentro de la fase de protección que incluye dos etapas: la preventiva y la de mitigación (Fig.13). El objetivo de la primera, es prever, reducir o eliminar, en la medida de lo posible, los mecanismos y efectos destructivos generados por y dentro del geosistema perturbador mediante la instrumentación de medidas técnicas que impidan la ocurrencia de desastres. Por otra parte, la mitigación se aplica como conjunto de medidas complementarias orientadas hacia la planeación y ordenamiento del territorio con el fin de aminorar los daños probables al ecosistema afectable.

En lo referente a la fase de restablecimiento se tienen dos etapas : la de respuesta que se refiere a rescate de vidas mediante la aplicación de sistemas preventivos planificados, la rehabilitación de servicios de soporte de vida y la asistencia; y la recuperación, que contempla la reconstrucción y mejoramiento en capacidad de respuesta por parte del ecosistema afectable.

La utilidad concreta de la frecuencia en la metodología y dentro de la etapa de protección es la determinación de la ocurrencia de los fenómenos perturbadores, como parte del pronóstico. Los pronósticos son, un instrumento para la planeación porque permiten establecer distintos grados y sistemas de alerta que conducen necesariamente al diseño de estrategias para ordenar los usos del suelo en un territorio determinado. La elaboración de pronósticos se realiza mediante dos procedimientos básicos:

- consultas a expertos especialistas en el estudio del fenómeno en cuestión o
- el diseño de modelos que se acerquen a la reproducción de la realidad basándose en la observación y procesamiento de los comportamientos registrados en el pasado.

A partir del conocimiento de la frecuencia con que se repite el fenómeno se establecen tres tipos de pronóstico:

- a). Corto plazo. Información sobre la ocurrencia próxima (horas, días) del fenómeno. Se basan en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitorios
- b). Mediano plazo. Ocurrencia en semanas o meses. Brindan información probabilística de los parámetros de un fenómeno esperado (Gelman y Macías, 1982)
- c). Largo plazo. Ocurrencia en los siguientes años. Evalúa la probabilidad de ocurrencia de eventos poco repetibles (Gelman y Macías, 1982).

Precisando el análisis temporal, objetivo de este apartado, existen dos formas de abordarlo según:

- a) el tiempo de gestación y duración del fenómeno perturbador o
- b) según su recurrencia en el tiempo.

La diferencia en estos tiempos radica en la manera de observar el fenómeno , por ejemplo, un ciclón se gesta y desarrolla en 2 semanas y su periodo de recurrencia puede ser anual; esto significa que se puede diferenciar la duración del fenómeno en sí, de la frecuencia con que éste se presenta en un periodo de tiempo determinado.

a) El tiempo de gestación y duración del fenómeno tienen tres etapas :

- 1) periodo de incubación,
- 2) de desarrollo y,
- 3) de impacto.

La incubación se refiere al periodo de tiempo en el que se dan todas las condiciones favorables para originar el fenómeno. El desarrollo considera los tiempos de avance y comportamiento del fenómeno sobre el terreno. Y el tiempo de impacto es el intervalo que transcurre desde que el fenómeno se gesta hasta que afecta las áreas naturales y las de apropiación humana; este último también es considerado, desde otro punto de vista, como la duración total del fenómeno desde que se inicia hasta que se disipa. Algunos fenómenos ocurren tan súbitamente que justo en el momento en que se están generando empiezan a manifestar su impacto (erupciones volcánicas explosivas, sismos violentos, etc.).

b) En lo referente a la recurrencia del fenómeno en el tiempo, se establecen periodos muy variables que dependen de los tiempos en que las condiciones de incubación y desarrollo se repitan. Algunos fenómenos se inician y desarrollan en poco tiempo (avalanchas) y algunos son el resultado de largos procesos de acumulación de energía y/o materia (sismos, erupciones explosivas, etc.).

Por su frecuencia o tipo de ocurrencia, existen dos variantes:

- 1) cíclicos y
- 2) diacrónicos.

Los cíclicos tienen periodos regulares de recurrencia que se pueden definir dentro de ciertos rangos de variación, como por ejemplo, los ciclones; y los diacrónicos son totalmente anómalos en sus tiempos de ocurrencia, como por ejemplo los sismos. En función de lo anterior es deducible que los cíclicos representan menor peligrosidad que los diacrónicos, debido a la estabilidad de la recurrencia en los primeros y a la incertidumbre de la frecuencia en los segundos.

La frecuencia en términos de periodos de recurrencia depende de la elasticidad temporal en la repetición de los fenómenos, sin embargo, en la generalidad se propone evaluar como sigue:

Frecuencia alta. Corresponde con los fenómenos cíclicos frecuentes (recurrencia estacional o anual).....3

Frecuencia media. Corresponde con fenómenos diacrónicos más o menos frecuentes (intervalo de recurrencia de la mayoría de los fenómenos perturbadores, entre uno y 100 años, según Alexander, 1991) .....2

Frecuencia baja. Corresponde con fenómenos diacrónicos poco frecuentes (repeticiones en intervalos mayores a 100 años) .....1

**B) Medio de desplazamiento y estado físico y movimiento de los materiales**

Los materiales en transporte y el tipo de superficie sobre la que avanza el fenómeno son básicos para entender su comportamiento y afectación. Se sabe que cada fenómeno está caracterizado, entre otros aspectos, por el estado físico de los materiales que involucra en su transporte. La agresividad de los fenómenos es medible según el volumen, rapidez y fuerza con que se desplazan los materiales, por lo que el saber si los materiales son sólidos (coladas de lava, flujos de lodo, etc.), líquidos (crecidas, inundaciones, etc.) o gaseosos (erupciones explosivas, tornados, etc.) es importante para el conocimiento de su cobertura areal y su afectación. Martín del Pozzo (1989) relaciona, para determinar la peligrosidad de un área expuesta a una erupción volcánica: la distancia del volcán, la frecuencia de ocurrencia en las erupciones, la preparación de la población para éstos fenómenos y sobre todo la temperatura y velocidad de los productos que podrían ser arrojados por el volcán.

Por otra parte, la ubicación de los materiales y su tipo es un importante vestigio e indicador del comportamiento del fenómeno en el pasado y por tanto del comportamiento esperado en el futuro. La identificación de materiales permite inferir los procesos que han caracterizado la dinámica del fenómeno.

Para algunos fenómenos las características del terreno sobre el que se desplazan son determinantes en su dinámica y para otros es un factor secundario o de poca participación, así por ejemplo, para los fenómenos de gran magnitud y agresividad, como las nubes ardientes, no hay obstáculo alguno para devastar un área determinada y sus efectos destructivos terminan sólo cuando el fenómeno se disipa. Para el caso de los ciclones el desplazamiento del fenómeno sobre superficies acuáticas cálidas es fundamental en la retroalimentación energética de los mecanismos generadores, por lo que al entrar a tierra pierden la energía que les da vida.

## Geosistemas (características funcionales)

Los fenómenos naturales tienen en su origen y desarrollo una expresión territorial funcional. Esto significa que dentro de la cobertura areal del fenómeno existen zonas bien definidas por la dinámica del fenómeno, mismo que redundan en una serie de relaciones complejas específicas. Para caracterizar la dinámica espacial del fenómeno se han determinado tres tipos de geosistemas o subsistemas dentro del geosistema perturbador: el geosistema antecedente, el de tránsito y el consecuente. Los tres tienen características generales aplicables o no según el fenómeno en cuestión y tienen distinta expresión de peligrosidad y categorías de impacto.

### *Antecedente*

En este geosistema se genera el fenómeno; su expresión territorial abarca todos los elementos del medio natural que favorecen la incubación del mismo. Normalmente tiene las mayores expresiones en energía (intensidad) y en transporte de volúmenes de materia.

Este geosistema es centro autónomo y dispersor de la energía y los materiales involucrados en la dinámica del fenómeno, por lo que condiciona el arreglo espacial de los geosistemas subsecuentes.

Origina las condiciones de peligrosidad de mayor impacto sobre el ecosistema afectable.

En su conformación geomorfológica dominan las pendientes pronunciadas y por tanto regímenes geomorfológicos muy activos donde la actividad hidrogravitatoria presiona la estabilidad natural del medio ambiente.

### *Tránsito*

En este geosistema la energía y la materia se alojan temporalmente y sus efectos destructivos pueden ser transitorios y de poca cobertura areal. Dentro de la dinámica de la transferencia de materiales, en este geosistema se presentan acumulaciones de carácter transitorio.

Los gradientes en la pendiente son, en general, poco pronunciados ( $< 15^\circ$ ) y el potencial hidrogravitatorio comienza a perder fuerza conforme estos se suavizan.

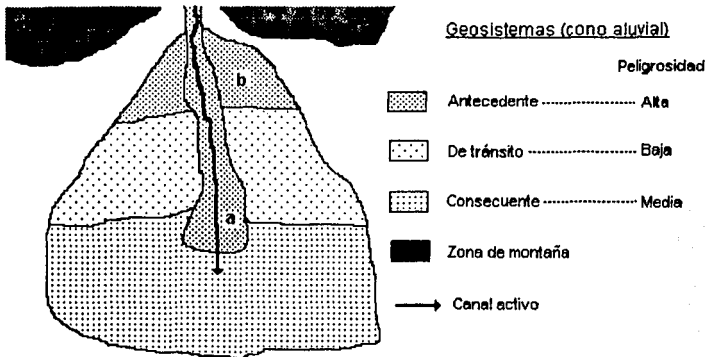
### *Consecuente*

Es el geosistema que recibe la energía y la materia del fenómeno en su fase terminal. Son sistemas subordinados al desarrollo del fenómeno en los geosistemas antecedente y de tránsito. Sus efectos destructivos pueden ser importantes y estar asociados a procesos de sedimentación acelerada o la captación de grandes volúmenes de líquidos acumulados en los geosistemas anteriores. Los procesos geomorfológicos disipan su energía y dispersan la materia en transporte.

Su expresión en geformas coincide en general con planicies. Son geosistemas receptores de actividad hidrogravitatoria.

En la figura 14 se muestra, a manera de ejemplo, la correlación que existe entre la dinámica geomorfológica de un cono aluvial, los geosistemas en su característica funcional y su agresividad o peligrosidad ante la ocurrencia de actividad aluvio-torrencial.

La peligrosidad alta del geosistema antecedente se ha diferenciado en dos expresiones espaciales: **a**, cuando es extrema y el canal activo concentra la energía y los materiales transportados por la corriente fluvial, especialmente durante la época de lluvias; y **b**, cuando la peligrosidad es alta pero con tendencia a dispersar la energía y los materiales provenientes de la zona de montaña. Los materiales recién depositados sobre la estructura del cono se redistribuyen en forma espasmódica y/o explosiva.



Modificado de Doornkamp, 1989

Fig. 14 Relación geosistemas-peligrosidad en un cono aluvial.

Para el caso del geosistema de tránsito (Fig.14), la peligrosidad es baja debido a que la corriente fluvial pierde competencia y los volúmenes de agua y aluvión se redistribuyen sobre canales inactivos o sobre zonas con pendientes moderadas y posibilidades de dispersión extendida.

En la figura 14, el frente de avance del cono aluvial presenta, como geosistema consecuente, una peligrosidad media resultado de la pérdida gradual del potencial hidrogravitatorio. En su avance la corriente fluvial va perdiendo competencia pero al mismo tiempo acumula material en transporte nuevo y removilizado del mismo cono. Es así que aunque ha perdido fuerza de transporte, la sedimentación masiva es aún generadora de peligro.

Las fronteras de los geosistemas son límites restringidos a las zonas que involucran directamente el origen, dinámica y área de desplazamiento del fenómeno. Son establecidos con base en una explicación sistémico-natural que en la mayoría de las ocasiones se apoya en la morfología del relieve por ser la base de muchas interrelaciones en el medio ambiente. Las unidades y subunidades geomorfológicas, al ser resultado de sistemas de transferencia y participar en la génesis y desarrollo de los paisajes naturales, son la mejor base para la delimitación de los geosistemas a nivel funcional.

### Estructura geosistémica

Depende de la génesis y desarrollo del fenómeno y de la zona sobre la cual se desplaza. Generalmente son arreglos internos en los geosistemas mencionados anteriormente. Algunos de los arreglos estructurales más comunes se basan en la organización espacial de las unidades locales del paisaje (analogías establecidas según lo base expuesta por Mateo, 1984, para los paisajes) y son:

***Difusa.*** Cuando es un fenómeno disperso en su expresión territorial debido entre otras causas a su poca magnitud física y a la ausencia de factores que controlen la movilidad del fenómeno. En los campos de arena de las zonas áridas algunos fenómenos tienden a ser dispersos sobre todo si los materiales en transporte son acuosos.

***Mosaico.*** Cuando en el terreno existen condiciones más o menos específicas que definen formas de asimilación y/o respuesta sobre espacios bien delimitados. El arreglo en mosaico se presenta por ejemplo en zonas con diversidad geológica bien definida y por tanto con formas específicas de asimilación ante el avance de los materiales en transporte. Suponiendo el avance de una crecida sobre un relieve homogéneo de planicie en donde existan rocas con distintos grados de permeabilidad, la asimilación en infiltración y ritmos de sedimentación variará según los grados de permeabilidad.

***Indeterminada.*** Cuando no existe un patrón definido o esperado que delimite o condicione la distribución del fenómeno y sus efectos destructivos. Esta estructura se presenta generalmente en fenómenos de carácter extraordinario y ocurrencia súbita donde la expresión territorial es anárquica. Tal es el caso de fenómenos como las nubes ardientes cuya forma de dispersión sobre el territorio, generalmente, no encuentra obstáculos que condicionen o controlen su movilidad.

**Alternante.** Cuando el fenómeno es espasmódico y se expresa en formas alternas de agresividad (mayor o menor) detectables mediante los vestigios específicos de afectación sobre el territorio. Las ráfagas ciclónicas o las oleadas piroclásticas (surges) afectan con mayor o con menor intensidad ciertos sectores sobre los que el fenómeno se desplaza.

**Fajas.** Cuando a partir de la expresión lineal o puntual de un fenómeno se desarrollan en forma perpendicular franjas con distintas expresiones de peligrosidad. Un ejemplo claro es el desplazamiento de lahares o avenidas sobre valles aterrazados donde existen franjas sucesivas de afectación, según el estado de desarrollo del valle. Otro ejemplo son las fallas, cuya expresión lineal también genera afectación perpendicular en fajas.

**Radial.** Cuando a partir del núcleo generador se establecen círculos y semicírculos concéntricos de afectación. Las inundaciones sobre planicies lacustres siguen patrones anulares y algunos tipos de erupciones volcánicas también.

**Vectorial.** Cuando el fenómeno se manifiesta al mismo tiempo con una dirección y fuerza definidos por su propia dinámica o por algunos factores condicionantes del medio. Tal es el caso de las erupciones volcánicas explosivas, en donde los colapsos parciales del edificio volcánico se concentran en las laderas de mayor pendiente proyectando las avalanchas de detritos con una fuerza y dirección específicas; o bien cuando se dan columnas eruptivas en donde las cenizas se incorporan a la circulación local y general de la atmósfera, determinando una distribución de isopacas (líneas que unen puntos con igual espesor en los depósitos) acorde con la fuerza e intensidad de los vientos.

Si la estructura geosistémica de un fenómeno coincide con la estructura de otros fenómenos la peligrosidad puede ser exponencial en el mismo espacio pero no necesariamente en los mismos tiempos, por ejemplo, una planicie fluvio-lacustre expuesta a inundaciones y al mismo tiempo a la subsidencia, está expuesta a dos peligros en el mismo espacio pero no necesariamente en los mismos periodos de tiempo.

La estructura geosistémica se mantiene en cierto rango de escalas, generalmente en escalas medias (1:25,000- 1:50,000). Conforme aumenta la escala las estructuras locales o de sitio se modifican sustancialmente debido a la fragmentación funcional del espacio. Lo anterior quiere decir, por ejemplo, que una inundación mapeada a escalas medias puede tener una estructura en fajas, sin embargo, a escalas mayores la estructura puede ser difusa.

## Expresión de peligrosidad

Dentro de la estructura interna de los geosistemas existen a su vez distintas apreciaciones de peligrosidad que dependen tanto de la complejidad original del fenómeno, de la amenaza que represente y de las condiciones ambientales sobre las que se desarrolle. Así se tienen tres expresiones generales de peligrosidad: simple, compuesta y secundaria.

*Simple.* Cuando el fenómeno en sí es el único que representa amenaza o peligro para los territorios ocupados por el hombre (por ejemplo, un sismo).

*Compuesta.* Se da cuando el fenómeno generador del peligro se manifiesta asociado con otros fenómenos (por ejemplo, un sismo y un tsunami) desencadenados por el original.

*Secundaria.* Es una peligrosidad derivada o posterior a los efectos destructivos simples o compuestos ( por ejemplo un deslizamiento posterior a un sismo).

Estas expresiones de peligrosidad asocian la amenaza del fenómeno, según su complejidad,

con el tipo de impacto que ocasionan y se proponen los siguientes valores :

Simple.....2  
Compuesta.....3  
Secundaria.....1

## Vulnerabilidad Ambiental ( susceptibilidad del territorio )

Este concepto se refiere a la forma en que el ambiente involucrado en la génesis y desarrollo del fenómeno asimila su efectos modificadores sobre el paisaje. Dependiendo del tipo y calidad de los elementos ambientales, entonces, se podrán ubicar zonas con distintos grados de asimilación o distintas formas de amplificar o disminuir los efectos destructivos del fenómeno. Para cada fenómeno será necesario ponderar, por áreas, los componentes ambientales que hagan más o menos vulnerable una zona susceptible de ser afectada.

Para este estudio el término vulnerabilidad ambiental se usa como sinónimo de susceptibilidad del territorio, que es un concepto referido al funcionamiento, fragilidad y capacidad del ambiente físico



ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. Los componentes básicos de análisis a considerar son, entre otros, los que se muestran en el siguiente esquema ( Fig.15 ) :

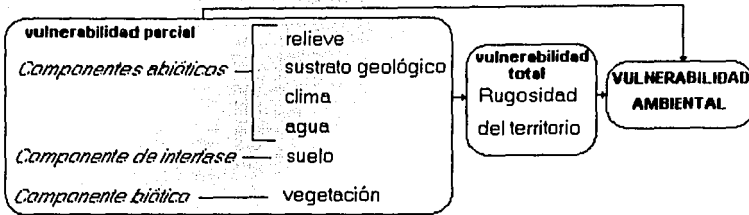


Fig. 15 Componentes de la vulnerabilidad ambiental.

Para el estudio particular de la vulnerabilidad ambiental y su relación con los fenómenos naturales perturbadores, los componentes tienen distintos grados de importancia y distinta participación en la dinámica del fenómeno. Se pueden establecer dos tipos de vulnerabilidad (Fig.15) : una parcial referida sólo a la relación entre alguno de los componentes ambientales y el fenómeno perturbador, y una total en donde se consideren todos los componentes en su relación conjunta con el fenómeno perturbador. La vulnerabilidad total es llamada también rugosidad del territorio.

Las variables incluidas a continuación son pautas generales que ejemplifican las posibles componentes de la vulnerabilidad, lo que no significa que sean las únicas o, que las mencionadas no se puedan modificar según el estudio de caso.

Vulnerabilidad parcial- componentes abióticos

*Relieve-- Predisposición dinámica del relieve*

La distribución de geoformas y sus características tiene un papel importante en el desplazamiento del fenómeno en superficie. En este caso el relieve es considerado una variable estática que condiciona la movilidad del fenómeno. Esto no significa que el relieve no manifieste su propia dinámica y evolución sino que para los fines de este apartado los fenómenos modeladores del relieve son considerados también como fenómenos perturbadores y el relieve como tal, una presión estática sobre su comportamiento . Así las geoformas concentran o dispersan la energía y la materia en transporte , aceleran o desaceleran el movimiento del fenómeno dependiendo de las características morfológicas y morfométricas de las geoformas. Según lo anterior existen: geoformas de predisposición dinámica, estática y barreras topográficas.

*Geoformas de predisposición dinámica.* Estas geoformas aceleran los procesos debido a que concentran o incrementan la energía cinética del fenómeno al existir condiciones que favorecen la inercia gravitacional. Así, algunas geoformas representativas son:

- a) cimas
- b) laderas de pendientes pronunciadas  $> 15^\circ$   
convexas o rectas
- c) barrancos en "v"
- d) desfiladeros y gargantas
- e) cauces
- f) pie de monte superior

*Geoformas de predisposición estática.* Estas geoformas inhiben el avance del fenómeno en superficie. Dispersan la energía y la materia propias del fenómeno. Las geoformas más representativas son:

- a) planicies lacustres  
palustres  
fluviales
- b) laderas con pendientes menores a  $15^\circ$   
cóncavas
- c) pie de monte inferior

*Barreras topográficas.* El relieve representa un obstáculo franco al desplazamiento del fenómeno.

Algunas geoformas que son obstáculo son :

- a) barreras orográficas
- b) diques naturales
- c) colinas y/o alturas bajas

### *Sustrato geológico*

El tipo de sustrato geológico condiciona los ritmos de asimilación en velocidad y materiales en movimiento. Algunas características que destacan son:

#### Permeabilidad

*Alta permeabilidad primaria.* Relacionada con la disposición de una gran cantidad de espacios porosos en el sustrato geológico. Facilitan los procesos de infiltración y por tanto le dan mayor movilidad.

vertical a la circulación de aguas cuando, por ejemplo, en las inundaciones se estacionan grandes volúmenes de la misma.

*Alta permeabilidad estructural.* Relacionada con rocas muy fracturadas que permiten la rápida percolación de materiales líquidos y fluidos. Cuando las rocas se encuentran muy fracturadas rompen con la inercia en la movilidad del fenómeno al funcionar como trampas que colectan la materia en movimiento.

*Baja permeabilidad primaria.* Relacionada con una disposición limitada de espacios porosos en el sustrato geológico. Si los componentes de la roca presentan pocos espacios intergranulares (por ejemplo, arcillas) se saturan rápidamente en la parte externa del sustrato y funcionan como planos lubricados que facilitan la movilidad de la materia en fenómenos como la remoción en masa, las crecidas, etc.. En otros casos, como las inundaciones, la baja permeabilidad es un obstáculo para la circulación de las aguas y por tanto complican las situaciones de riesgo al prolongar los tiempos de infiltración.

*Baja permeabilidad estructural.* Relacionada con rocas poco fracturadas que no presentan oposición a la movilidad del fenómeno. Las rocas que presentan estructuras compactas y uniformes aceleran los procesos de remoción en masa y de crecidas sobre todo en laderas inclinadas y/o largas.

#### Cohesión y estabilidad del sustrato

*Roca firme.* Incorpora poco material cuando el fenómeno está ya en proceso. Generalmente transmiten esfuerzos tectónicos. Cuando ocurren sismos, la presencia de roca firme reduce la susceptibilidad del territorio a la inestabilidad.

*Material no consolidado.* Incorpora cantidades importantes de material cuando el fenómeno está en proceso. Si son materiales blandos con cierta plasticidad pueden amplificar algunos fenómenos como los sismos ; si a estos materiales le agregamos agua las posibilidades de amplificación de las ondas sísmicas también aumentan.

*Rocas solubles.* Son particularmente inestables en ambientes húmedos. Son potencialmente generadoras de hundimientos y colapsos en estructuras sedimentarias.

## *Clima ( variabilidad climática)*

Los comportamientos extremos del clima propician en general ambientes más susceptibles a la inestabilidad. Por eso cuando ocurren fenómenos de origen exógeno en ambientes climáticos extremos sus efectos pueden amplificarse, o por el contrario, si ocurren en ambientes climáticos poco extremos su comportamiento original no se altera apreciablemente. Los elementos del clima más importantes a considerar son: temperatura, precipitación, humedad atmosférica, vientos e insolación.

## *Agua*

El régimen hidrológico o la disposición de agua existente antes o durante la ocurrencia de un fenómeno condiciona su comportamiento y puede inhibir o incrementar sus efectos destructivos. Algunas características sobresalientes son:

*Estado físico y cantidad.* La disposición de líquidos, sólidos ( hielo, nieve) o vapor de agua puede favorecer tanto la incubación como el desarrollo de algunos fenómenos. La cantidad de agua es también un factor fundamental en la amplificación de los efectos destructivos de algunos fenómenos. Por ejemplo, cuando ocurre una erupción volcánica, la existencia de un área nival puede incrementar las posibilidades de que se formen lahares. Las lluvias intensas en regiones regularmente saturadas de humedad activan con mayor facilidad los procesos de remoción en masa. Las erupciones volcánicas que involucran la gasificación del agua en su dinámica originan eventos particularmente violentos (erupciones freatomagmáticas).

*Localización.* La forma en que se dispone de la masa de agua ( cuerpos de agua superficiales, aguas subterráneas) favorece el desarrollo de algunos fenómenos asociados. Por ejemplo, las áreas adyacentes a los cuerpos de agua superficiales están más expuestas a inundaciones ordinarias o extraordinarias que las áreas de inundaciones ocasionales en donde regularmente no hay agua. En lugares donde la circulación subterránea de agua es intensa y además existen, por ejemplo, rocas solubles, la susceptibilidad a la subsidencia es alta. Por otra parte la disposición de agua en íntima relación con sustratos geológicos blandos, aumenta la probabilidad de que las ondas sísmicas se amplifiquen.

Vulnerabilidad parcial- componente de interfase

### *Suelo*

Las condiciones físico-químicas del suelo cuando ocurre un fenómeno destructivo inhibe o favorece su desarrollo. Algunas de las más representativas son:

#### Características físicas

*Textura o composición granulométrica.* La proporción textural en arenas, limos y arcillas permite estimar la capacidad de retención del agua y por tanto las posibilidades de infiltración. En función de esta capacidad algunos fenómenos como las crecidas crecen en velocidad y cantidad de materia en transporte si la superficie de desplazamiento se satura rápidamente de agua, como sucede sobre suelos de textura arcillosa.

#### Características químicas

Los contenidos de materia orgánica, pH, sales, etc., condicionan distintos grados de estabilidad en los suelos, por ejemplo, un suelo con alto contenido de materia orgánica contribuye a consolidar sus partículas en conglomerados más grandes conocidos como terrones, cuya estructura es resistente a la movilidad de las partículas, reduciendo por tanto los efectos de algunos fenómenos como la erosión acelerada o las crecidas.

#### Características bióticas

La microflora y mesofauna convierten al suelo en un cuerpo vivo dándole estructura, oxigenación, movimiento al material dentro del perfil y reciclaje a los nutrientes. Todo esto redundando en una mayor estabilidad y por tanto en una mayor capacidad para asimilar las presiones dinámicas que ejercen los materiales que transportan los fenómenos destructivos.

#### Desarrollo de los suelos

Los suelos con horizontes bien diferenciados asimilan con mayor facilidad las presiones externas de los agentes dinámicos como el agua. Permiten la infiltración y el desarrollo de la vida en el interior del perfil dándole, por tanto, mayor estabilidad a los suelos.

## Vulnerabilidad parcial- componente biótico

### *Cobertura vegetal*

Para algunos casos de desplazamiento de materia sobre la superficie, la existencia, tipo y grado de conservación de la vegetación es importante en la oposición que la superficie de desplazamiento ofrece ante el avance del fenómeno. Tal es el caso de algunos fenómenos como las crecidas, la erosión acelerada, algunos tipos de remoción en masa, etc. Así algunas de las características sobresalientes de la vegetación son:

- Existe o no vegetación. Si existe, de que tipo.
- Los grados de conservación de los estratos vegetales y la cobertura vegetal.
- Densidad de la cobertura vegetal.

Si se parte del hecho de que existe la vegetación original, a mayor conservación y mayor densidad, más oposición y menos vulnerabilidad ante el avance de fluidos que se desplazan en contacto directo con la superficie.

### Vulnerabilidad total

#### *Rugosidad del territorio*

El conjunto de los componentes ambientales en su compleja red de interrelaciones, puede representar o no oposición al desplazamiento de algunos fenómenos por el efecto de fricción e inercia entre los materiales que éstos transportan y el tipo y calidad de los componentes ambientales. En este concepto se integran todos los componentes antes mencionados con el fin de diferenciar áreas con distintos grados de vulnerabilidad ambiental total (Fig.15).

Para determinar las áreas vulnerables se ponderan cartográfica y numéricamente las diferentes zonas, según sea el interés y el fenómeno en cuestión.

Si se ponderan zonas por componente y vulnerabilidad en áreas proporcionales al total del área de cobertura del fenómeno, el siguiente cociente expresa las condiciones generales de vulnerabilidad:

$$\frac{\text{Áreas ponderadas de vulnerabilidad (mayor a menor) relieve+sustrato litológico+clima+suelo+cobertura vegetal +agua}}{\text{área total de cobertura del fenómeno}} = \boxed{\rightarrow 1}$$

La coincidencia territorial de áreas con la misma valoración ponderada, delimita zonas de mayor o menor rugosidad o vulnerabilidad total dependiendo del caso. Para cada fenómeno se requerirá ponderar distintos componentes ambientales.

La vulnerabilidad ambiental total se valora numéricamente según la relación proporcional de áreas. Cuando la sumatoria de áreas ponderadas que coinciden se divide entre el área total de cobertura del fenómeno y el cociente se acerca a la unidad, la ponderación será más representativa. Este número se utiliza al mismo tiempo para obtener el valor final de peligrosidad, que se calcula restandole al valor de peligrosidad, el valor numérico de la vulnerabilidad ambiental. Para este caso específico se considera la ponderación de las áreas menos vulnerables que le restan peligrosidad al fenómeno, y no al contrario (las áreas más vulnerables) porque entonces la peligrosidad se incrementaría en valor y en términos reales.

Si el geosistema está alterado o inestable y los componentes ambientales aumentan y/o aceleran el fenómeno entonces se le suma el valor de vulnerabilidad al valor de peligrosidad. Si se rebasa el número máximo que es 3 , se le agrega peligrosidad y se convierte en muy alta.

### Impacto

Una vez determinados los tipos de geosistemas como la expresión espacial del fenómeno y su estructura como la distribución de la amenaza potencial (peligrosidad), se puede llegar al impacto como parte de la evaluación final de la peligrosidad.

El impacto se refiere concretamente, a la expresión espacial de los efectos destructivos del fenómeno perturbador y es de tres tipos: total, marginal y filtrado. Está asociado con los distintos grados de complejidad de la expresión de peligrosidad. Cada parte de la estructura geosistémica podrá ser valorada según la importancia del impacto.

**Total.** Cuando el fenómeno manifiesta sus efectos destructivos en su máxima expresión y afecta totalmente el orden, funcionamiento y estructura física del sociosistema.

**Marginal.** Es el impacto generado por los efectos recesivos o distales del fenómeno sobre el orden, funcionamiento y estructura física del sociosistema. El área de impacto marginal es adyacente a la zona de impacto total.

*Filtrado.* En el área de impacto filtrado el fenómeno ha sido amortiguado por las áreas anteriores por lo que sólo se manifiestan sus últimos efectos. En esta zona se ubican las primeras formas de auxilio.

Finalmente el impacto se propone valorarlo como sigue:

Impacto total-----3

Impacto marginal-----2

Impacto filtrado-----1

## EVALUACIÓN FINAL DE PELIGROSIDAD

La evaluación de la peligrosidad real es el resultado de integrar la valoración de todos los componentes de la peligrosidad con la vulnerabilidad. Cuando existe un área 100% vulnerable quiere decir que no existe ningún factor natural o humano capaz de contener la dinámica del fenómeno perturbador (génesis, desarrollo y efectos destructivos).

Por otra parte si se planteara la situación hipotética en la que todos los factores tanto humanos como naturales se conjuntaran para reducir la peligrosidad a 0 se podría hablar de una vulnerabilidad del 0%. Generalmente entre más peligroso es un fenómeno menos controlable es y por tanto el área expuesta es siempre más vulnerable, además hasta la fecha ningún fenómeno es nulificable en su totalidad.

Para la valoración global de la vulnerabilidad se parte de la existencia complementaria de los factores naturales que componen la vulnerabilidad ambiental y factores humanos que componen la vulnerabilidad técnico-económica. La evaluación de la vulnerabilidad técnico-económica se desarrolla en el apartado del ecosistema afectable.

Para darle una equivalencia numérica a la vulnerabilidad y a la peligrosidad se parte de los valores extremos posibles, mismos que en la realidad siempre son considerados en su ocurrencia proporcional. Los valores asignados a cada variable de evaluación son (Tablas 2 y 3):

*Tabla 2. Evaluación de vulnerabilidad*

Vulnerabilidad técnico-económica	1.5
Vulnerabilidad ambiental total	1.5
Vulnerabilidad global	3.0



Tabla 3. Evaluación final de peligrosidad

Peligrosidad			
	Alta	Media	Baja
Magnitud	3	2	1
Intensidad	3	2	1
Frecuencia	3	2	1
Impacto	3	2	1
Valor parcial promedio de peligrosidad	3	2	1
Valor máximo total promedio	3		
Vulnerabilidad global	-3		
Valor final de peligrosidad	3 + (-3)		

En la tabla 3 al valor de vulnerabilidad global se le asigna signo negativo porque siempre representa, si existiera, un factor de reducción en la peligrosidad del fenómeno.

Una vez seleccionados los valores se suman y el total se divide entre el número de variables consideradas, tanto para el valor de vulnerabilidad global como para el de peligrosidad. Cuando los resultados den números fraccionarios se redondea al número entero más cercano, por ejemplo, si es 0.5 o sobre 0.5 al número inmediato superior, y si es por debajo de 0.5 al número inmediato inferior. Finalmente los números deben coincidir con tres parámetros básicos (Tabla 4):

Tabla 4. Umbrales cualitativos y semicuantitativos de peligrosidad

Peligrosidad alta	3
Peligrosidad media	2
Peligrosidad baja	1

La peligrosidad es la variable de *interfase* que correlaciona a nivel matricial y cartográfico el geosistema perturbador con el sociosistema afectable. Refleja la valoración del geosistema perturbador y sus posibles efectos destructivos sobre el sociosistema afectable.

## SOCIOSISTEMA AFECTABLE

La interfase de impacto (Fig.10) vincula la peligrosidad del geosistema perturbador con el valor y la vulnerabilidad evaluados en el sociosistema afectable. La delimitación cartográfica de la evaluación final de peligrosidad es la base para sobreponer la información también evaluada cartográficamente en el sociosistema afectable.

Los espacios que el hombre adapta para vivir y llevar a cabo sus actividades tienen distinto valor según sus cualidades intrínsecas, sus características funcionales, tipo y calidad de inversiones en infraestructura, capacidad productiva, valoración estética y sobre todo la vida. Es en función de estas condicionantes generales que se determinan las variables para la valoración de los efectos destructivos del fenómeno sobre el sociosistema afectable. La valoración final para el sociosistema afectable y el riesgo se obtiene del valor compensado entre el valor, la vulnerabilidad técnico-económica ( Fig.16) y la peligrosidad.

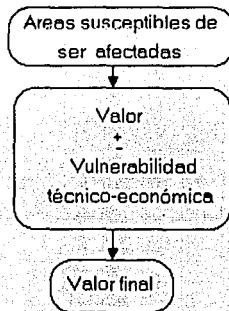


Fig. 16 Etapas en la determinación del valor final.

Al igual que en el geosistema perturbador, el sociosistema afectable tiene una estructura basada en variables generales para el valor y la vulnerabilidad de las cuales se derivan otras según el siguiente esquema general (Fig.17):

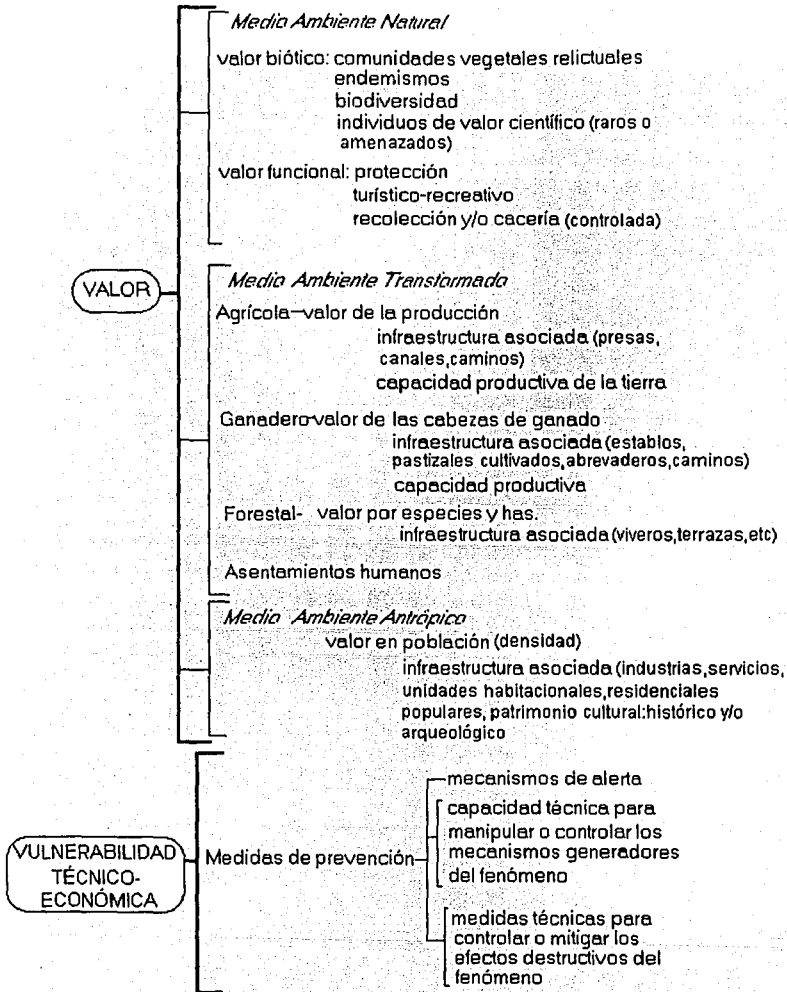


Fig. 17 Estructura de variables para la determinación del valor y la vulnerabilidad.

## VALOR POR TIPO DE SOCIOSISTEMA AFECTABLE

Al final de cada tipo de ecosistema afectable se agrega una tabla con valores que, para este caso, representan los máximos proporcionales esperables. Esto quiere decir que para cada variable se determinarán a su vez los valores proporcionales que correspondan. Cabe señalar que debido a que las apreciaciones son semicuantitativas y/o cualitativas se podrán modificar según la apreciación de los especialistas en las distintas disciplinas.

### *Medio Ambiente Natural*

La valoración del medio ambiente natural se basa en sus cualidades bióticas y funcionales. Algunas de las cualidades bióticas más destacables son : la existencia de comunidades bióticas relictuales, endemismos, biodiversidad, comunidades o individuos de valor científico. Algunas cualidades funcionales importantes son: protección, turístico-recreativa, recolección y cacería (controlada).

#### Bióticas

*Comunidades vegetales y/o animales relictuales.* Son comunidades únicas por ser el resultado de largos periodos evolutivos, por ser testigos vivientes de ambientes naturales en tiempos geológicos o por ser la única muestra de una comunidad biótica antes de mayor extensión.

*Endemismos.* Cuando hay taxones estrictamente localizados en un territorio dado de extensión variable. Dependiendo del nivel taxonómico al que se haga referencia pueden ser especies irrepetibles y por tanto de un alto valor ecológico-científico e incluso comercial.

*Biodiversidad.* Se refiere al número de especies vegetales y/o animales existentes en una comunidad biótica determinada. El valor en biodiversidad para un territorio depende del número de especies contenidas en él y si destaca por su importancia en el contexto regional o global.

*Individuos de valor científico.* Cuando en un medio natural existen pocos individuos de la misma especie y estos se encuentran en peligro de extinción o son raros. El valor científico de los individuos puede ser muy variado (en medicina, en geología, etc.).

## Funcionales

**Protección.** Mediante el establecimiento de medidas legales se preserva una comunidad biótica que reporta algún beneficio para el hombre. Puede ser que funcionen como protectoras y generadoras de agua y mantos acuíferos, como cortinas rompevientos, como fuentes renovadoras de aire, etc., o bien tener otras características importantes que ameriten protección.

**Turístico-recreativo.** Cuando el medio natural tiene las cualidades estéticas y la capacidad de esparcimiento para el desarrollo controlado de las actividades turísticas. Las cualidades estéticas del paisaje se basan en parámetros subjetivos más o menos repetibles para la generalidad de la población como la belleza intrínseca del paisaje, la contrasticidad del paisaje (distintos tipos de ambiente), la amplitud de la visual horizontal y vertical en un punto determinado, diversidad cromática (colores), atractivos geomorfológicos peculiares, etc.

**Recolección y/o cacería (controlada).** Se refiere a la extracción moderada de individuos vegetales o animales en el medio ambiente natural (Tabla 5).

Tabla 5. Valor del Medio Ambiente Natural

<b>Valor del Medio Ambiente Natural</b>		
<b>Biótico</b>	endemismos	1
	biodiversidad	1
	individuos de valor científico	1
	Valor parcial	3
<b>Funcional</b>	protección	1
	turístico-recreativo	1
	recolección y/o cacería	1
	Valor parcial	3
Valor total proporcional		$6\frac{1}{2}$

## *Medio Ambiente Transformado*

### Agrícola

*Valor de la producción.* Cuando se puede diferenciar el valor comercial de los productos agrícolas dependiendo si son cultivos tradicionales (básicos) o comerciales (especializados, plantaciones, de exportación, etc.) en sus distintas modalidades. El valor estará determinado por las condiciones temporales del mercado y la economía.

*Infraestructura asociada.* La construcción de obras para mejorar la productividad, transporte y comercialización de los productos agrícolas le dan a la agricultura un valor agregado. Es por esto que entre mayor sea la inversión en : caminos, obras de riego (canales, presas), bodegas, maquinaria, etc., mayor será el valor de las probables pérdidas.

*Capacidad productiva de la tierra.* Existen terrenos que por sus cualidades naturales (bióticas y abióticas) son más o menos aptos en términos de productividad (ton/ ha.). Esta condición determina distintos valores intrínsecos para los terrenos agrícolas y distintas apreciaciones de qué tan considerable es la pérdida de uno u otro.

### Ganadería

*Valor por número de cabezas.* El concepto de valor por número de cabezas está necesariamente asociado al tipo y calidad del ganado. Para fines de valoración el índice de agostadero puede ser útil.

*Infraestructura asociada.* Cuando para desarrollar la actividad ganadera se aplican inversiones en establos, abrevaderos, pastizales cultivados, etc. el valor de la actividad aumenta.

*Capacidad productiva.* Cuando en un espacio determinado existen condiciones naturales propicias para una alta productividad con una inversión mínima de insumos, la probabilidad de pérdidas por capacidad productiva es más importante si se le compara con terrenos poco productivos.

### Forestal

*Valor por especies y hectáreas.* Cuando se lleva a cabo la actividad forestal el valor de las especies tiene una relación directa con el área ocupada. La disponibilidad de espacio es una condicionante

importante para esta actividad y es medible por hectáreas. Se puede disponer desde maderas preciosas (duras) hasta maderas para industrializar (blandas) en rollo.

Infraestructura asociada. Si para el desarrollo de la actividad se crean obras de infraestructura como viveros, obras de conservación de suelos (terrazas, gabiones, etc.) y otras, las pérdidas son más cuantiosas debido a los costos de inversión para el cultivo del bosque.

Asentamientos humanos rurales

Asociados a la agricultura, la ganadería y la actividad forestal se establecen asentamientos humanos cuya dinámica económica depende, en principio, de estas actividades. No se establecen diferencias en densidad de población debido a que convencionalmente, para México, como ya se mencionó antes, el límite de los 15 000 habitantes es el umbral superior para los asentamientos humanos rurales. Además pueden llegar a ser tan dispersos que en términos reales rebasen la cobertura areal del fenómeno (Tabla 6).

**Tabla 6. Valor del Medio Ambiente Transformado**

<b>Valor del Medio Ambiente Transformado</b>		
Agrícola	valor de la producción	0.6
	infraestructura asociada	0.9
	cap. productiva de la tierra	0.6
	asentamientos humanos	0.9
	Valor parcial	3
Ganadero	valor por número de cabezas	0.6
	infraestructura asociada	0.9
	capacidad productiva	0.6
	asentamientos humanos	0.9
	Valor parcial	3
Forestal	valor por especies y hectáreas	1
	infraestructura asociada	1
	asentamientos humanos	1
	Valor parcial	3
Valor total proporcional		$\frac{9}{3}$

## *Medio Ambiente Antrópico*

*Valor en población.* Dado que los asentamientos humanos en el paisaje urbano son más numerosos y de cobertura areal más amplia, se hace necesario diferenciar áreas con distintas densidades para establecer un orden de prioridades en la valoración. La densidad de población es al mismo tiempo un indicador indirecto de hacinamiento y del tipo de vivienda. Para este caso se pueden diferenciar tres rangos de densidad: alta, media y baja, según los valores extremos de habitantes por km<sup>2</sup>.

*Infraestructura asociada.* Dependiendo del tipo de ciudad es que existen distintas infraestructuras asociadas principalmente a las actividades secundarias y terciarias. Entre más funciones cumpla una ciudad, más compleja será la valoración de su infraestructura y mayor el valor. Una vez determinadas la función o funciones de la o las ciudades, se determinan los requerimientos en equipamiento que teóricamente deberían de tener y se confrontan con el disponible en la realidad. Cuando la infraestructura instalada en la ciudad tenga importancia regional o incluso nacional se le agregará un valor adicional (refinerías, plantas eléctricas, presas, etc.), pudiéndose considerar excepcionalmente con valor muy alto.

Una vez conocidos los requerimientos instalados según la función de la ciudad, se jerarquizan y valoran espacialmente por sectores. La diversificación de sectores dependerá del grado de especialización de la ciudad y de la amplitud de la cobertura espacial del fenómeno perturbador.

Cuando las ciudades no tengan una función bien diferenciada o lo suficientemente extendida por sobre el territorio susceptible de ser afectado, se adecuan los criterios de valoración según el uso del suelo urbano.

El valor final será el resultado de los valores parciales obtenidos a partir de la valoración jerárquica según su importancia local o regional. Los parámetros comparativos estarán siempre referidos al máximo y mínimo valor dentro del área de estudio.

El valor puede ser : alto, medio y bajo, y corresponde con los valores numéricos 3, 2, y 1 respectivamente (Tabla 7).



Tabla 7. Valor del Medio Ambiente Antrópico

Valor del Medio Ambiente Antrópico	
valor en población	1.5
infraestructura asociada	1.5
Valor total proporcional	3

## VULNERABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

Es la forma y grado de exposición real de una población específica ante la ocurrencia de un fenómeno destructivo. Está determinada por el grado de desarrollo tecnológico y económico del o las poblaciones afectables en un momento histórico dado. Cuando se dispone de recursos económicos siempre se reduce sustancialmente la posibilidad de pérdidas debido a que existen más posibilidades de implementar medidas preventivas y de mitigación. Sewell (1976) expone esta idea a partir del concepto de sofisticación de los ajustes y propone 4 categorías para clasificar las formas de enfrentar los fenómenos perturbadores:

- a) Asimilación de las pérdidas,
- b) Modificación de las medidas preventivas,
- c) Modificación de los procesos físicos, y
- d) Modificación de la susceptibilidad al daño (regulación en los usos del

suelo, códigos de construcción, etc.)

Algunas de estas ideas son retomadas para incluirlas como parte de la metodología.

Hasta la fecha es técnicamente imposible controlar o prever todos los fenómenos naturales que ocasionan desastres, por lo que la vulnerabilidad no es aún minimizable al 0%. En el caso de algunos fenómenos naturales de carácter extraordinario (por ejem. nubes ardientes en erupciones explosivas) la vulnerabilidad puede llegar a ser del 100%.

La vulnerabilidad técnico-económica se mide en función de la existencia o no de un conjunto de medidas preventivas que permitan en la práctica reducir los efectos destructivos del fenómeno perturbador. Pueden existir tres medidas básicas: mecanismos de alerta, capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno y medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno.

*Mecanismos de alerta.* Para poder comunicar a la población afectable la ocurrencia de un fenómeno destructivo es necesario contar con un sistema de monitoreo constante sobre eventos

ordinarios y también sobre probables eventos extraordinarios. Al mismo tiempo el conocimiento temprano de los fenómenos debe tener un sistema organizado de difusión orientado sobre todo a informar a las poblaciones de las áreas más expuestas.

*Capacidad técnica para manipular o controlar los mecanismos generadores del fenómeno.* En la actualidad cada vez es más frecuente que se intenten intervenir los mecanismos que generan los fenómenos con el fin de reducir sus efectos destructivos. Sin embargo en la práctica no se han alcanzado resultados satisfactorios. Uno de los casos más notables es el proyecto Stormfury que llevaron a cabo los E.U.A. de 1963 a 1971, en el que su director el doctor Cecil Gentry declaró que mediante la siembra de los ciclones con yoduro de plata "la velocidad de los ciclones tropicales puede ser reducida en un 15% y hasta en un 30%" y que "es posible pronosticar la trayectoria de los huracanes en un 60% aproximadamente" ( Vivó Escoto J., 1979) . Como resultado de este experimento y otros más se ha demostrado que al alterar los mecanismos generadores de los fenómenos se pueden ocasionar comportamientos anómalos de consecuencias aún más impredecibles y destructivas.

*Medidas técnicas para controlar o mitigar los efectos destructivos del fenómeno.* Si se tienen los recursos económicos y técnicos es posible implementarlas en algunos casos. Para las inundaciones, por ejemplo, es frecuente la construcción de diques de almacenamiento o desvío de excesos de agua. En algunas erupciones volcánicas las lavas pueden ser desgasificadas mediante explosiones o solidificadas con aguas frías para frenar o desviar su avance. Para el caso de los sismos el cumplimiento de normas técnicas especiales de construcción hace menos vulnerables las edificaciones u otras construcciones ubicadas en regiones sísmicas. Estos ejemplos muestran que en algunos casos es posible contrarrestar los efectos destructivos de los fenómenos.

Aunque la vulnerabilidad puede ser mayor o menor a niveles locales o regionales, siempre es necesario establecer una apreciación numérica que indique, en el área de cobertura del fenómeno, que tan expuestos están los valores del ecosistema afectable. A continuación se muestra una valoración proporcional de la vulnerabilidad según la existencia o no de medidas preventivas (Tabla 8) :

Tabla 8. Valoración proporcional de la vulnerabilidad

<b>Vulnerabilidad técnico-económica</b>		
Mecanismos de alerta		1
Capacidad técnica	para manipular los mecanismos generadores	1
	para controlar los mecanismos generadores	2
	de obras y/o medidas para controlar los efectos destructivos	2
	para mitigar los efectos destructivos	1
Valor proporcional de la vulnerabilidad		7= 1,5

La importancia de saber si existe capacidad técnica instalada para enfrentar la ocurrencia de un fenómeno perturbador radica en la apreciación real de que tan expuesta se encuentra una población. Si se dieran todas las posibilidades preventivas la vulnerabilidad sería mínima, sin embargo, esto es muy poco probable y siempre será necesario aplicar la parte proporcional. Se le da mayor valor a las etapas de control porque de existir éstas, las posibilidades de afectación serían prácticamente nulas.

En el proceso de evaluación, y para el caso concreto del medio ambiente antrópico, también resulta útil elaborar mapas de vulnerabilidad técnico-económica asociados con los niveles socioeconómicos de la población.

El concepto de vulnerabilidad técnico-económica se determina a partir de la capacidad potencial de los grupos humanos para enfrentar un fenómeno destructivo. Es por esto que forma parte de los elementos que componen el ecosistema, sin embargo, en la práctica todas las medidas preventivas están orientadas a minimizar la amenaza o peligrosidad del fenómeno, razón por la cual se consideró como parte de la evaluación de la peligrosidad. La forma como se integra, se encuentra explicada en la evaluación final de peligrosidad y en el esquema metodológico general (Fig.18).

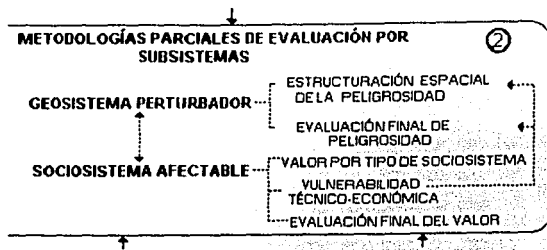


Fig. 18 Acercamiento del flujograma de la estructura general del ensayo

## EVALUACIÓN FINAL DEL VALOR

El valor final es el resultado de integrarle al valor una cualificación adicional de la vulnerabilidad técnico-económica. Esto se refiere a si la infraestructura instalada en cada tipo de medio ambiente está protegida (invulnerable) o está expuesta (vulnerable) a los efectos destructivos de los fenómenos perturbadores.

Si la infraestructura incluye las medidas técnicas para enfrentar la eventual ocurrencia de los fenómenos tendrá mayor valor intrínseco que aquella infraestructura que carece de ellas. Para esto será necesario agregar el concepto de valor adicional, que incluiría una o varias medidas técnicas que harían la infraestructura menos vulnerable o invulnerable. Agregando al valor de la infraestructura el valor adicional de vulnerabilidad, la evaluación final del valor se daría de la siguiente manera: (Tabla 9)

Tabla 9. Valor final

	Valor				
	Alto	Medio	Bajo	Valor adicional	Valor final
Medio Ambiente Natural	3	2	1	3,2, o 1	+ - 3
Medio Ambiente Transformado	3	2	1	3,2, o 1	+ - 3
Medio Ambiente Antrópico	3	2	1	3,2, o 1	+ - 3

### ③ METODOLOGIA DE EVALUACION GENERAL DE RIESGO

La evaluación general de riesgo está compuesta de dos partes: la matriz de evaluación general de riesgo y su representación cartográfica. Ambas son el resultado de la síntesis de los valores finales de peligrosidad y valor final del geosistema perturbador y el sociosistema afectable respectivamente.

La apreciación semicuantitativa de la síntesis se muestra en la siguiente matriz presuponiendo la existencia hipotética de todas las combinaciones posibles (Tabla 10).

Tabla 10. Matriz de evaluación general de riesgo

		SOCIOSISTEMA AFECTABLE									
		M.A. Natural			M.A. Transformado			M.A. Artificial			
		Valor									
		Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
		3	2	1	3	2	1	3	2	1	
PERTURBADOR GEOSISTEMA	Peligrosidad alta	3	6	5	4	6	5	4	6	5	4
	Peligrosidad media	2	5	4	3	5	4	3	5	4	3
	Peligrosidad baja	1	4	3	2	4	3	2	4	3	2
	Valor parcial		15	12	9	15	12	9	15	12	9
Valor final de riesgo			36			36			36		

La matriz de doble entrada integra los valores semicuantitativos obtenidos en el proceso de evaluación por subsistema. El valor de riesgo es finalmente el resultado de las sumas parciales y totales a nivel tabular y cartográfico. Las sumas parciales se realizan en sentido vertical para cada clase de riesgo y las totales (valor final de riesgo) en sentido horizontal para cada tipo de sociosistema afectable. Finalmente, los valores de riesgo: alto (3), medio(2) y bajo (1), son asignados a las zonas o sectores determinados a partir de la sobreposición de los mapas parciales por metodología.

A continuación se muestra a manera de ejemplo y en forma ilustrativa como se pueden expresar cartográficamente (Fig. 19) los valores contenidos en la matriz.

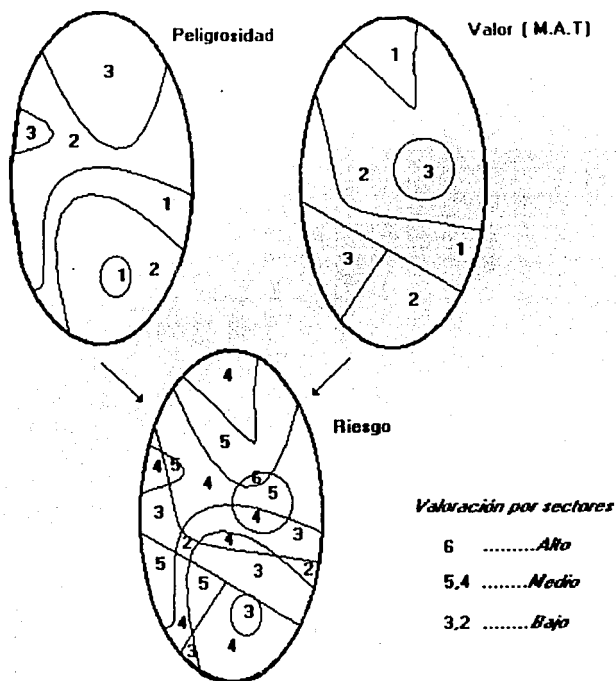


Fig. 19 Sobreposición de los mapas parciales por subsistema.

En el esquema anterior se muestra el ejemplo de un mapa de peligrosidad, aplicado, en este caso, al impacto probable sobre un medio ambiente transformado previamente valorado por sectores. La sobreposición de las regionalizaciones parcializadas origina la primera aproximación del nuevo mapa de riesgos con nuevos valores por sectores más fraccionados. A partir de esta primera aproximación se elabora un nuevo mapa en donde se jerarquizan tres rangos (Tabla 11):

Tabla 11. Valores de riesgo

Riesgo	
	Valores
Alto	6
Medio	5 y 4
Bajo	3 y 2

La segunda aproximación del mapa es (Fig.20):

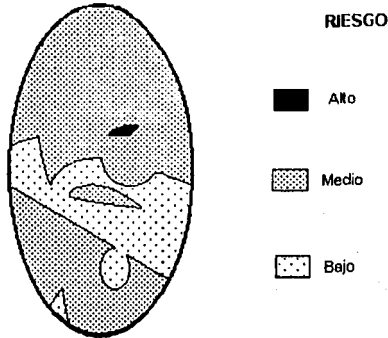


Fig. 20 Mapa de riesgo.

Una vez delimitadas las áreas de riesgo y para dar una idea global de la atención que se le debe dar a los sectores y al área de afectación en general, se puede establecer una relación de proporción. Así se tienen:

$$\begin{array}{l} \text{Áreas de riesgo} \quad \frac{\text{alto}}{\text{área total}} = \frac{x}{x} = \frac{x\%}{100\%} \\ \\ \frac{\text{medio}}{\text{área total}} = \frac{x}{x} = \frac{x\%}{100\%} \\ \\ \frac{\text{bajo}}{\text{área total}} = \frac{x}{x} = \frac{x\%}{100\%} \end{array}$$

Entre más grande sea el porcentaje areal de los mayores niveles de riesgo se requerirán mecanismos de alerta más eficientes y por tanto mayor atención ante posibles situaciones de riesgo. Si las áreas sujetas a riesgo alto se acercan al 100% las medidas preventivas deben aplicarse en su totalidad y en forma constante.

#### ④ EXPRESION CARTOGRAFICA ANALITICA Y SINTETICA

Los mapas en geografía tienen una doble utilidad, son herramienta y a la vez resultado del estudio territorial particular o general de un problema. El análisis cartográfico tiene dos enfoques básicos: el analítico y el sintético. El analítico se refiere, en este caso, al estudio específico de todos los

factores que favorecen, determinan o participan en una situación de riesgo; y el sintético integra información analítica para concebir un mapa que valore en conjunto una situación específica de riesgo. Estos mismos enfoques son aplicables al geosistema perturbador y al sociosistema afectable. Para llegar a los tipos de mapas que se exponen a continuación se han retomado algunas criterios usados por Fournier (1979), Doornkamp (1989) Fanthou(1991) y Laforge(1991).

### *Mapas analíticos*

Los mapas son analíticos porque contienen información específica por componentes y variables, pero al mismo tiempo pueden ser resultado de un proceso de integración de información, lo que le da también características sintéticas. Incluyen desde valoraciones y criterios científicos hasta mercantiles. Para el caso del geosistema perturbador se incluyen en general:

- a). La naturaleza y extensión de los eventos o fenómenos naturales históricos así como la estructura geosistémica de la peligrosidad que han generado.
- b). La naturaleza y extensión de eventos o fenómenos recientes y la determinación, mediante la comparación del mapeo de eventos históricos, de zonas con distintos grados de exposición a un peligro natural. Definir las condiciones presentes para determinar las probabilidades de un evento futuro. Dentro de estos mapas se incluye el mapeo específico de todos los factores pasivos y activadores que participan en la incubación y desarrollo del fenómeno.
- c). Elaboración de mapas de peligros específicos y generales.
- d). Mapas de vulnerabilidad ambiental parcial.

Por otra parte los mapas analíticos para el sociosistema afectable consideran:

- a). La localización de la estructura física del sociosistema.
- b). La valoración y diferenciación territorial de la estructura física del sociosistema.
- c). La valoración en términos de vida ( humana, animal, vegetal) de las áreas susceptibles de ser afectadas por el fenómeno natural en cuestión.
- d). Mapas de vulnerabilidad ambiental total (rugosidad del territorio).



## Mapas sintéticos

Para elaborar los mapas sintéticos se observan los lineamientos básicos de la teoría general de sistemas de regionalización como son: existencia objetiva de los individuos geográficos, comunidad territorial, integridad y diferenciación, homogeneidad relativa, génesis y complejidad (Mateo, 1984). La existencia objetiva se refiere a la ubicación de límites definidos por su expresión territorial y no por los objetivos de la investigación. La comunidad territorial parte del hecho de que una misma unidad no puede ser el resultado de la fragmentación y/o aislamiento de partes del territorio. La integridad y la diferenciación se basa en el presupuesto de que un mismo factor puede actuar simultáneamente como diferenciador y como integrador, por lo que al mismo tiempo se establecen diferencias interiores y se agrupan similitudes. El principio de homogeneidad relativa permite delimitar las partes del territorio que tienen una determinada igualdad en las condiciones naturales. El principio genético implica el uso de las causas iniciales de formación para establecer los límites de las unidades. El principio de complejidad se establece partiendo del análisis de todo el conjunto de componentes naturales evitando darle a algún factor más peso que a otro.

Siguiendo los principios anteriores, la expresión cartográfica sintética puede ser el resultado de la sobreposición valorada de las regionalizaciones parcializadas resultantes de cada componente, o bien el resultado de organizar la información en torno a un factor principal dependiendo del objetivo del mapa. Los mapas sintéticos pueden ser, entre otros:

*-Mapa de riesgos generales.* En estos se limitan jerárquicamente las áreas de riesgo, indicando o no el tipo o tipos de fenómenos perturbadores. Así se pueden tener mapas de riesgo para una zona específica o bien mapas según la cobertura general del fenómeno perturbador sin establecer una diferenciación concreta de los efectos destructivos, por ejemplo, mapas de riesgo volcánico, riesgo sísmico, etc., o mapas de riesgos en algún asentamiento humano o región.

*-Mapa de riesgos específicos.* Se ubican áreas de riesgo según la particularidad de afectación de alguna variante de peligrosidad. Generalmente se elaboran a partir de los mapas de riesgos generales, por ejemplo, un mapa de riesgos lahárquicos que es una expresión particular del riesgo volcánico, deslizamientos rotacionales como un tipo de remoción en masa, etc.

*-Mapa de riesgos potenciales.* Se elaboran en territorios en donde se sabe de la posible ocurrencia de uno o varios fenómenos destructivos y se pretende también darle en el futuro un uso humano

específico. Estos mapas entran dentro de los pronósticos a largo plazo y pueden ser usados como instrumento para el ordenamiento territorial.

Las especificaciones cartográficas de los mapas dependen del fenómeno perturbador en cuestión, su cobertura espacial, el propósito y el nivel de detalle requerido. Así mismo las técnicas y herramientas de mapeo dependerán de las condiciones mencionadas. En el siguiente cuadro, Doornkamp (1989) incluye en su clasificación de mapas, el tipo de mapa, la escala y las fuentes de datos según el detalle requerido (Tabla 11).

Tabla 11. Especificaciones cartográficas de los mapas de riesgos naturales

Tipo de mapa	Escala	Nivel de detalle	Fuentes usuales de datos
Sinóptico	1:100 000 y más pequeñas	Límites del área que abarca el fenómeno	Imágenes de satélite Fotomosaicos
Escala media	1:25 000 -- 1:50 000	Áreas de peligro	Imágenes de satélite Fotomosaicos
Escala grande	1: 25 000 1:5 000	Detalle de grandes áreas de peligro	Fotografías aéreas Mapeo de campo
Detallado	1:2 000 -- 1: 5 000	Detalle dentro de las áreas de peligro	Fotografías aéreas Reconocimiento de campo Mapeo de campo Fotogrametría Monitoreo de procesos
Sitio	1:2 000 y más grandes	Peligros específicos por tipo, materiales y características	Fotografías aéreas Reconocimiento de campo Mapeo de campo Fotogrametría Geofísica somera Monitoreo de procesos Investigaciones subsuperficiales

Las especificaciones anteriores son una guía general, que en la realidad de los estudios de caso y dependiendo de la información disponible puede ser modificada.

### CAPITULO III

#### ESTUDIO DE CASO: SUBSIDIENCIA EN LA CIUDAD DE CELAYA , GTO.

##### Área de estudio

El área de estudio se limita a la parte urbanizada de la ciudad de Celaya, misma que se localiza en la porción central de México y forma parte del sistema de ciudades que estructuran la economía del Bajío guanajuatense. Se ubica sobre los 20° 21' de latitud norte, los 100° 49' de longitud oeste y los 1750 m.s.n.m.(Fig. 21).

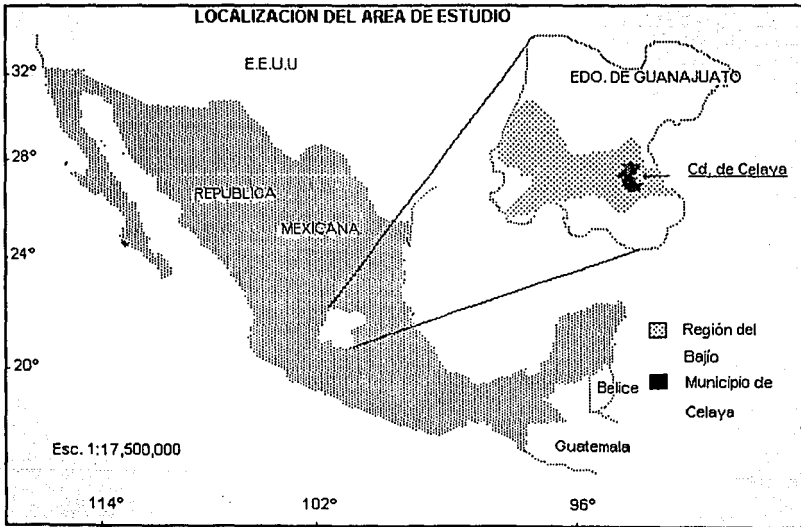


Fig. 21. Mapa de localización del área de estudio.

##### *Caracterización físico-geográfica*

El entorno paisajístico de la ciudad de Celaya, Gto. se ubica sobre planicies altas fluvio-lacustres que alternan con lomeríos; de régimen hidrotérmico entre semicálido y subhúmedo (temperaturas

medias entre 18°C y 22°C, lluvias en verano, con 600mm. anuales, influencia mínima de nortes, poca oscilación térmica 7°C), de suelos desarrollados, con propiedades vérticas, vegetación de matorral xerófilo e hidrófila de carrizal y freatofitas en los ambientes acuáticos. Como comunidades fragmentadas existen mezquiales y huizachales.

Las características y evolución geológico-geomorfológicas generales de la región son determinantes en la conformación del paisaje natural original. Es resultado de las acumulaciones de ignimbritas y coladas de lava producto del vulcanismo antiguo de la Sierra Madre Occidental, los últimos arreglos estructurales que generó la orogenia Larámide, el vulcanismo plio-cuaternario del Sistema Volcánico Transversal y los ambientes deposicionales que se desarrollaron simultáneamente. A continuación se muestra gráficamente (Fig.22) como ocurrió la sucesión evolutiva que dio lugar a las planicies del Bajío.

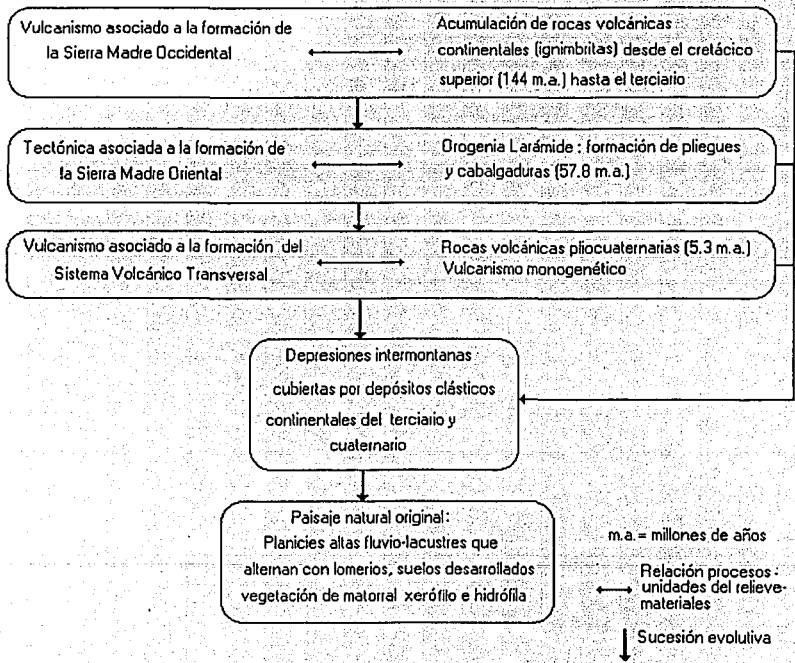


Fig. 22 . Sucesión evolutiva de los eventos naturales que originaron el Bajío.

La sucesión evolutiva de estos eventos geológicos define los límites de las depresiones y planicies intermontanas que caracterizan el Bajío y sobre las cuales se han desarrollado ambientes deposicionales activos. Tanto los procesos tectónicos como de acumulación de materiales volcánicos fueron creando bloques topográficos que condicionaron la circulación superficial de las aguas y los ritmos de sedimentación. Empezaron a alternar ambientes fluviales con lacustres, reabajándose los materiales depositados originalmente al pie de las elevaciones circundantes.

El continuo aporte de sedimentos sobre los ambientes semiacuáticos y acuáticos permitió la formación de capas medianamente estratificadas de gravas, arenas y arcillas que favorecieron el desarrollo de suelos más o menos profundos con propiedades vérticas (expansión y contracción de arcillas). El sucesivo desarrollo y evolución de los suelos va encontrando en el relieve distintas expresiones ambientales que condicionan la posterior colonización de las comunidades vegetales. Así, sobre los declives transicionales del pie de monte hacia las planicies, se forman suelos semihidromórficos que captan y mantienen temporalmente la humedad. En esta situación de amplia variación en los regímenes hídricos del suelo se establecen comunidades de encinos y asociaciones dispersas de matorral xerófilo (mezquite, huizache, garambullo).

Por otra parte sobre las planicies se forman suelos hidromórficos como resultado de la presencia semipermanente y permanente de cuerpos de agua o fuentes subsuperficiales de humedad. Bajo estas condiciones se diferenciaron paisajes semiacuáticos en las llanuras de inundación fluvial y sobre las márgenes de las zonas lacustres, y paisajes acuáticos en las ciénegas; en los primeros crecen freatofitas de tallas importantes como los mezquites y en los segundos carrizales y tulares.

El paisaje natural actual es resultado de una modificación sustancial debido al crecimiento urbano no planificado y al desarrollo intensivo de la agricultura, sin embargo, existen aún vestigios geomorfológicos y relictos de vegetación que permiten inferir las condiciones ambientales originales antes descritas. El estado actual de los paisajes muestra una clara tendencia a la desertificación debido a la paulatina degradación de sus componentes.

#### *Caracterización socioeconómica*

La ciudad de Celaya tiene 214,856 habitantes según el censo de 1990 (INEGI, 1992) y su actividad económica se organiza actualmente en torno a la agricultura, la ganadería intensiva, la industria y el comercio.

La agricultura se basa en los cultivos anuales de ciclo corto en áreas de riego. Es una agricultura comercial de exportación que ha originado una microeconomía de enclave alrededor de compañías transnacionales como la Campbell's, Del Monte Foods, Gigante Verde y Bird Eye, entre otras. Destacan la producción de granos básicos y legumbres de exportación.

La fragmentación espacial de los ejidos, que frecuentemente no alcanzan las 10 has., impide, en algunos casos, la amortización de la introducción de tecnologías modernas que aumenten la producción (Avila, 1983). Esta situación propicia la renta de tierras a empresarios privados con la subsecuente reorientación económica de las áreas agrícolas, que ahora se dedican a satisfacer las necesidades de los consumidores y comerciantes finales de los E.U.A.. Los productos agrícolas naturales y elaborados de mayor demanda en este país son: ajo, brócoli, espárrago, tomates de alta calidad y fresa. Por otra parte destacan también por hectáreas ocupadas y por su importancia como cultivos industrializables y/o básicos para la ganadería o el consumo humano: cebada, garbanzo, maíz, sorgo en grano, trigo, avena, chile, cebolla y papa. El 76% de los terrenos del municipio que circundan la ciudad de Celaya (Domínguez, 1988) están ocupados por agricultura de riego y temporal.

Relacionadas directamente con la actividad agrícola se desarrollan la ganadería lechera, la porcicultura y la avicultura. La industrialización de productos lácteos es de importancia a nivel local y regional. En la cuenca lechera conformada por los municipios de Celaya, Apaseo el Grande, Apaseo el Alto, Cortazar, Villagrán, Jaral, Salamanca y Salvatierra se producen dulces y quesos. Destacan los derivados del ganado caprino.

Por otra parte la explotación intensiva del ganado porcino establece nexos productivos con las empresas empacadoras de carnes frías, y nexos comerciales con la Cd. de México. Demanda grandes volúmenes de sorgo y maíz, razón por la cual guarda una relación estrecha con la agricultura y las compañías productoras de alimentos balanceados como las transnacionales Ralston Purina y Anderson Clayton, y la nacional Albamex (Aguilar, 1993).

En lo referente a la avicultura, la producción se destina al mercado local y al mercado foráneo de la Cd. de México. La empresa Bachoco, produce y comercializa huevo y pollo en forma integral, es decir, controla todo el proceso productivo, desde la alimentación hasta el producto final. Esta actividad también se encuentra estrechamente relacionada con las empresas productoras de alimentos balanceados.

La disponibilidad de servicios en Celaya se impulsa como resultado de la diversificación de la economía asociada al proceso de industrialización generado en los años 50's, destacando las industrias productoras de alimentos para consumo humano y animal. El sistema urbano del Bajío conformado por Celaya, León, Irapuato, Guanajuato y Salamanca cuenta con el equipamiento estatal necesario para darle estructura y dinamismo a las actividades económicas.

Celaya dispone de centros educativos de nivel básico, medio, superior y técnico como el Instituto Tecnológico Regional (oficial). Cuenta con dos hospitales generales (IMSS, SSA) que suman 165 camas, 3 centros de salud, una clínica especializada (ISSSTE) y 9 unidades de salud privadas ( Domínguez e Izaguirre, 1988) que cubren las necesidades de la ciudad y los poblados cercanos. Centros comerciales y tiendas de autoservicio. Telecomunicaciones como telégrafos, teléfono, radiotelégrafo, telex, radiofonía, televisión y correos que enlazan las poblaciones del norte con el centro del país. Transporte de carga (15 líneas) y pasajeros (central camionera). Aeropista. Carreteras federales (Panamericana) y de cuota (Querétaro-Irapuato) que comunican la región con los Altos de Jalisco y Guadalajara al poniente, con San Luis Potosí hacia el norte y con Querétaro y la Cd. de México hacia el centro. Ferrocarriles (México-Guadalajara y Cd. Juárez-México) de pasajeros y de carga; estos últimos habilitados para desembarcar y embarcar carros de productos agrícolas, minerales, fertilizantes y azufre.

En la actividad comercial Celaya cumple funciones a nivel local y regional. En el mercado local distribuye productos agrícolas y pecuarios, y a nivel de difusión regional enlaza comercialmente el norte del estado de Guanajuato y el Bajío con la ciudad de México y el centro del país. Los productos que circulan en este nivel son: calzado, pieles para vestir y de uso industrial, alimentos empacados, enlatados y frigoríficos, maquinaria, refacciones y accesorios, bienes inmuebles y otros ( Avila, 1983).

La caracterización físico-geográfica y socioeconómica de la zona permite entender las causas del problema de subsidencia en la ciudad de Celaya, Gto. En éste se combina la susceptibilidad natural del territorio a hundimientos debido al origen, desarrollo y evolución del paisaje natural, y la presión antrópica que actualmente ha rebasado la capacidad de carga del paisaje. Es así que la situación de riesgo se plantea como resultado del conflicto en donde la inercia del crecimiento socioeconómico no planificado, demanda recursos naturales en franco proceso de deterioro y agotamiento. El siguiente esquema (Fig. 23) resume la situación.

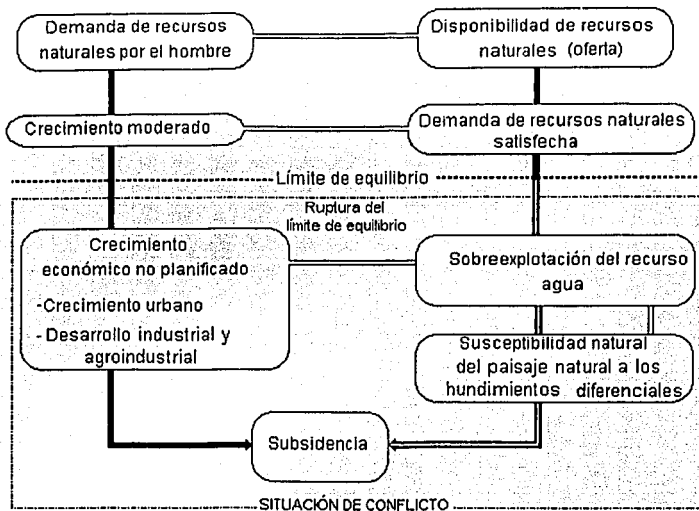


Fig. 23. Planteamiento del conflicto naturaleza-sociedad y subsidencia en Celaya.

Es así que mientras el crecimiento socioeconómico sea moderado y la demanda de recursos sea satisfecha el límite de equilibrio se mantiene, pero en el momento en que el primero rebasa los umbrales de equilibrio, las alteraciones sobre el paisaje natural y su funcionamiento se hacen evidentes a través de fenómenos como la subsidencia.

Antecedentes sobre el estudio de caso

La subsidencia como fenómeno estrictamente natural ha sido poco estudiado debido, entre otras razones, a que las condiciones para su gestación y desarrollo son muy específicas, poco repetibles y en algunas ocasiones de efectos poco apreciables sobre la fisonomía del paisaje en tiempos históricos. Sin embargo, cuando el hombre interviene en su proceso de desarrollo adquiere mayor dinamismo y sus consecuencias se hacen más notorias. Tal es el caso de las ciudades que se ubican en cuencas acumulativas en donde los sedimentos susceptibles a la subsidencia son sometidos a estrés hídrico al sobreexplotar sus contenidos de agua.

La ciudad de Celaya es un ejemplo de esta situación y así como ésta existen otras ciudades que bajo las mismas condiciones naturales y antrópicas confirman la tendencia. Como algunos ejemplos citados por Krynine D. y Judd W.(1972) se tienen: la ciudad de México en donde en 30 años se tuvo una subsidencia de 8m con promedios de hundimiento de hasta 0.30m por año; la



ciudad de Ravenna (Italia), en donde se tuvo un hundimiento promedio de 0.10m. por año y las ciudades del valle de San Joaquín (California), en donde se alcanzaron subsidencias de hasta 0.55m por año. En los casos antes mencionados las causas son las mismas, sin embargo, sus patrones espaciales de expresión en superficie y su afectación no.

Para el caso específico de la ciudad de Celaya, los principales estudios que existen sobre los hundimientos diferenciales y las fallas que la afectan, han sido elaborados por el Ing. Jorge Antonio Trujillo Candelaria (jefe del departamento de prospección geohidrológica de la S.A.R.H.). En 1985 se edita dentro de la memoria de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, el trabajo: Fallamiento de terrenos en Celaya. Posteriormente en 1991, en el XXIII Congreso Internacional de Sobreexplotación de Acuíferos se publica la ponencia: Fallamiento de terrenos por sobreexplotación de acuíferos en Celaya. Este último resultado de la suma de todas las observaciones sobre el fenómeno. En ambos trabajos se señala que el problema del fallamiento se ha observado desde fines de la década de los cincuentas, acelerándose de 1982 a la fecha debido, entre otras causas, a la intensificación en la sobreexplotación de los acuíferos de la región.

Por otra parte la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos también ha publicado diferentes estudios sobre Celaya. En 1978, publica en la memoria de su IX Reunión Nacional, el estudio titulado "El subsuelo de la ciudad de Celaya, Gto.," en donde se localiza y relaciona el tipo de material con los fallamientos. Posteriormente, en 1985, se edita el documento: "Fallamiento de terrenos en Celaya", en donde se incluyen estudios específicos sobre este problema como: "Origen del fallamiento" por Trujillo Candelaria J.A., "Evolución del acuífero del valle de Celaya" por Gutiérrez Malacara, J.L., y "Efectos del fallamiento en edificios y servicios públicos en la ciudad de Celaya", entre otros. Todos los estudios coinciden en señalar como causas principales de la subsidencia, la sobreexplotación del acuífero y la susceptibilidad del material a la compactación por su tipo y espesor.

El objetivo del estudio de caso es precisar las causas, dinámica y afectación del fenómeno partiendo de la información existente y la generada en el trabajo de campo. Se aplican los criterios definidos en el ensayo metodológico con el fin de confrontar la concepción teórica con su utilidad práctica.

## **APLICACIÓN DEL ENSAYO METODOLÓGICO**

El planteamiento de la metodología en el capítulo anterior considera todas las variables que podrían concurrir en la definición de una situación hipotética general. Para el estudio de caso sólo se retoman y readaptan las variables que participan en la realidad específica de la subsidencia en Celaya.

### **①**

## **UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RIESGO EN TIPOLOGÍAS PREESTABLECIDAS**

### **TIPOLOGÍA DEL GEOSISTEMA PERTURBADOR**

Según la tipología planteada en el capítulo II, la subsidencia es un fenómeno de origen exógeno, morfológico, probablemente condicionado por la dinámica tectónica regional y asociado, en este caso, a causas de origen antrópico. La importancia de la participación humana en su dinámica, le da al origen, características mixtas.

Fue detectado mediante: observación directa, entrevistas semiestructuradas e información bibliográfica.

### **TIPOLOGÍA DEL SOCIOSISTEMA AFECTABLE**

Relacionando la tipología para el sociosistema afectable del segundo capítulo con el estudio de caso, se identificó como expuesto a daños el Medio Ambiente Antrópico. Celaya es una ciudad comercial-industrial que estructura económicamente las actividades agropecuarias en los municipios de Salvatierra, Villagrán y Cortazar, y los enlaza con el sistema urbano del Bajío Guanajuatense. Como ciudad media en desarrollo muestra aún algunas características de las poblaciones rurales.

### **②**

## **METODOLOGÍAS PARCIALES DE EVALUACIÓN POR SUBSISTEMAS**

### **GEOSISTEMA PERTURBADOR**

### **ESTRUCTURACIÓN ESPACIAL DE LA PELIGROSIDAD**

#### **Fenomenología**

## A) Características y funcionamiento del fenómeno

### *Génesis y comportamiento del fenómeno*

La subsidencia es el hundimiento progresivo y diferencial del fondo de una cuenca de acumulación paralelo al proceso de depositación de sedimentos. Es un fenómeno poco violento pero de importantes consecuencias económicas en las áreas urbanas. Tiene poca o nula movilidad horizontal, importante movilidad vertical y no implica desplazamiento rápido de materiales sino más bien un reacomodo in situ de los mismos.

La génesis y comportamiento del fenómeno se debe en este caso a una mezcla compleja de factores pasivos y activadores tanto de origen natural como antrópico.

Los factores **pasivos** que condicionan el comportamiento del fenómeno son:

a). La preexistencia de una depresión o fosa sepultada (factor pasivo interno de origen natural) y

b). El tipo y espesor de sedimentos (factor pasivo interno de origen natural)

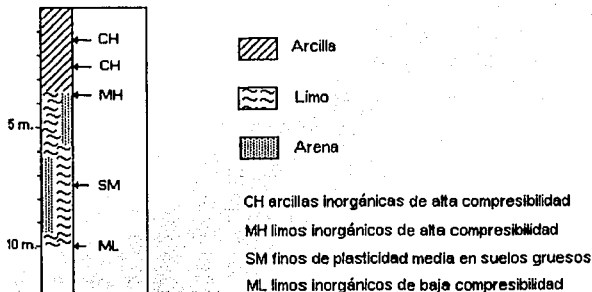
a). La preexistencia de una depresión o fosa sepultada con orientación este-oeste de origen probablemente tectónico, ha permitido la acumulación de grandes espesores de materiales volcánicos y sedimentos fluvio-lacustres. Las coladas de lavas riolíticas y basálticas son el basamento de la cuenca acumulativa y al mismo tiempo funcionan como el plano predispuesto sobre el cual se desliza el paquete de sedimentos. De no haber existido este receptáculo la acumulación de sedimentos fluvio-lacustres (probablemente desde principios del terciario) no hubiera sido posible.

b). Los sedimentos alojados en la fosa son una serie de rellenos fluviales y lacustres medianamente estratificados compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas de permeabilidad variable. Dentro de estos materiales los limos y las arcillas son materiales que experimentan expansión y contracción en su estructura física cuando son sometidos a condiciones de estrés hídrico.

La estratigrafía superficial general de los depósitos en Celaya está formada, en los primeros 5 m., por arcillas de alta y baja compresibilidad con contenidos variables de arenas y materia orgánica. El estrato que subyace a las arcillas está constituido por tobas con cementación variable y con

predominancia de materiales limo-arenosos y arcillosos de baja y alta compresibilidad y arenas limosas (Terán et al. 1978) . En la figura 24 se muestra gráficamente un perfil representativo del suelo de la ciudad de Celaya, Gto., con sus principales características.

PERFIL REPRESENTATIVO DE LOS DEPÓSITOS EN LA CD. DE CELAYA



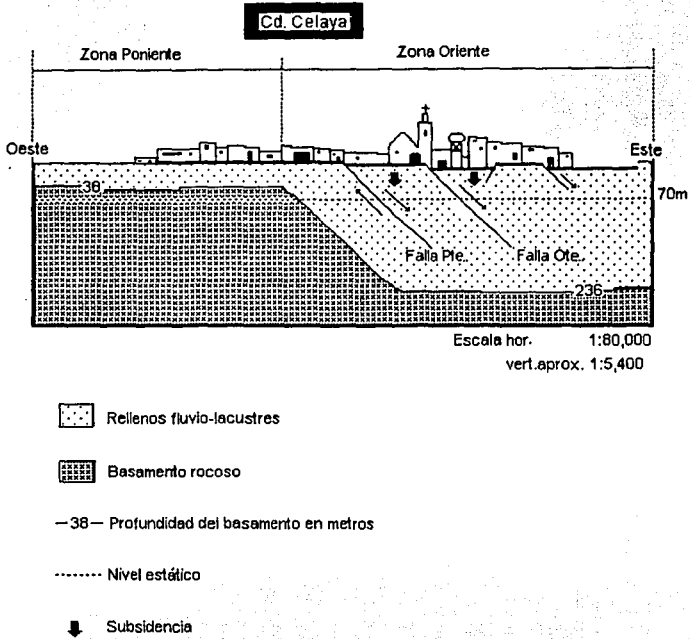
Terán P. 1978

Fig. 24 Estratigrafía superficial de los depósitos en la ciudad de Celaya.

En el perfil de suelo (Fig. 24) se observa que dentro de los primeros 10m. de profundidad, predominan las arcillas y los limos sobre las arenas. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, propuesto desde 1942 en E.U.A. (Juárez y Rodríguez, 1972), los suelos de Celaya se encuentran principalmente dentro de la fracción de suelos finos (partículas que pasan la malla No.200, 0.074 mm.), a excepción del grupo SM (finos de plasticidad media) que pertenece a la fracción de los suelos gruesos. Los grupos representativos de los suelos finos son: CH, MH, y ML. La letra C se refiere a las arcillas inorgánicas, la letra M a los limos inorgánicos y las letras H y L se refieren a la alta y baja compresibilidad respectivamente. Esta última característica está íntimamente ligada con las características de plasticidad, específicamente con el valor del límite líquido. Para los suelos de compresibilidad baja o media, el límite líquido es menor a 50% y para los de alta compresibilidad es mayor de 50% (límites empíricos convencionales). Por otra parte, dentro de la fracción de suelos gruesos, en el grupo SM, la letra S significa suelos arenosos y la letra M, material con cantidad apreciable de finos no plásticos.

El espesor de los sedimentos alcanza en las partes más profundas los 300m. La ubicación de los diferentes espesores hacen más o menos susceptible el territorio a los hundimientos diferenciales. Es así que en la ciudad de Celaya se pueden delimitar dos zonas con distintos grados de susceptibilidad a la inestabilidad: la oriente y la poniente. La zona oriente tiene un espesor

promedio de 238m. (Fig.25) y en ella se encuentran las fallas activas que evidencian la subsidencia. Por otra parte la zona poniente tiene un espesor promedio de los sedimentos es de 38m. (Fig. 25) y aún no muestra evidencias de inestabilidad en el terreno.



Modificado de Trujillo, 1991

*Fig.25 Perfil subsuperficial de sedimentos y representación esquemática de la subsidencia en Celaya.*

Por otra parte en cuanto a los factores activadores del fenómeno se tienen:

- a). Compactación natural e inducida (factor activador interno antro-po-natural)
- b). Extracción de agua (factor activador interno antrópico)
- c). Sobre peso impuesto por la concentración de construcciones (factor activador externo antrópico)

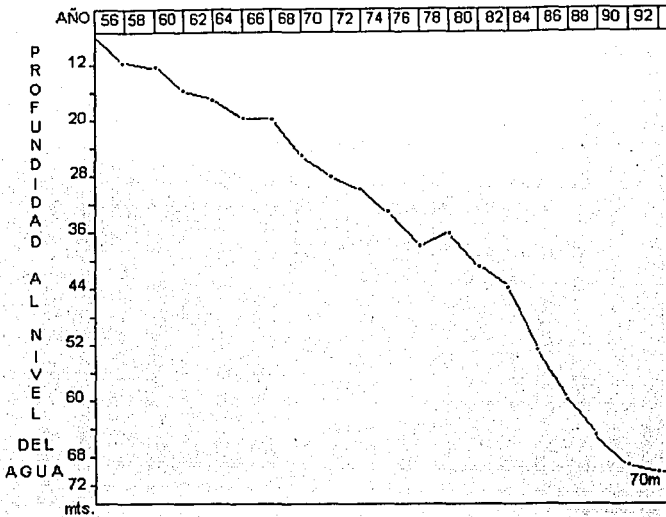
a). Los continuos aportes de sedimentos sobre la cuenca de acumulación generan un peso que ocasiona el reacomodo de los mismos mediante ajustes isostáticos. Al observar los depósitos de material muy suave situados en el fondo de una masa de agua, por ejemplo, un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas por sedimentación sucesiva ( Juárez y Rodríguez., 1972 ).

El equilibrio isostático se alcanza, para el caso de Celaya, mediante la compensación de fuerzas entre la compactación natural de los sedimentos compresibles y la presión hidrostática que ejerce el agua bajo el nivel freático de la región saturada del subsuelo. La tendencia natural a la compactación es acelerada por factores de origen antrópico como la extracción de agua y la sobrecarga que imponen al terreno las construcciones en el área urbana.

b). Extracción de agua (factor activador interno de origen antrópico). La sobreexplotación del acuífero en la fosa es el factor que acelera los ritmos de compactación y por tanto su expresión en superficie a través de hundimientos diferenciales y fallas. Provoca la contracción del material compresible en la parte no saturada del suelo y la pérdida de presión hidrostática en la parte saturada del mismo.

En la planicie de Celaya existen 2000 pozos que extraen un volumen de 550 Mm<sup>3</sup>/año deduciéndose una sobreexplotación de 110 Mm<sup>3</sup>/año al existir sólo un recarga de 440 Mm<sup>3</sup>/año. Esta situación ocasiona en la actualidad un descenso de 2.5 m/año en el nivel del agua. A continuación se muestran gráficamente los ritmos del descenso anual en profundidad de 1956 a la fecha.

**DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL AREA  
URBANA DE CELAYA, GTO.**



Fuente: Comisión Nacional del Agua

*Fig. 26 Gráfico que muestra el descenso acelerado del nivel freático en Celaya.*

Si se observa la gráfica (Fig. 26) se puede apreciar que de 1956 a la fecha el descenso en el nivel freático ha sido persistente, con excepción de un ligero repunte en 1978. A principios de los 80 la curva de abatimiento se hace más pronunciada debido a la intensificación en los ritmos de extracción de agua y a la coincidencia, según Trujillo, con una temporada de precipitaciones menores al promedio anual. De 1956 a la fecha la diferencia es de 70m., determinando un promedio en el descenso del nivel freático de 2.0m. por año. Este descenso provoca la ruptura del equilibrio isostático entre las partes insaturadas y las partes saturadas del subsuelo.

Las deformaciones son tanto mayores cuanto mayor es el caudal de bombeo, menor la profundidad del acuífero y mayor el espesor del mismo. Es por esto que el conocer la distribución y densidad de los pozos y sus respectivos gastos (información no disponible), permite diferenciar zonas de alta y baja susceptibilidad a la subsidencia.

c). Sobre peso impuesto por la concentración de construcciones (factor activador externo de origen antrópico). Si a los ritmos normales de compactación debidos al reacomodo de sedimentos por presión y peso se le agrega una carga adicional, la velocidad en la compactación se acelera y se concentra. Si eventualmente el anterior material depositado llega a subyacer en el lugar donde se construya una estructura y se observa el comportamiento ulterior del suelo, podrá notarse que los estratos se comprimen aún más, bajo las nuevas cargas que se les comunica ( Juárez y Rodríguez, 1972).

La interrelación de los factores antes mencionados determinan un comportamiento complejo. La expresión en superficie del fenómeno, que es de hecho la amenaza sobre la estructura urbana, es el resultado de la dinámica combinada de la compactación de la parte no saturada, con la pérdida gradual de la presión hidrostática de la zona saturada.

En el área urbanizada de la ciudad se han detectado 4 fallas cuya expresión topográfica es más o menos notoria dependiendo del sector. Tienen una orientación preferencial noroeste, una longitud promedio de 5km. ( Trujillo, 1991), y un salto acumulado de 1.90m. hasta 1994. La velocidad en el desplazamiento vertical es, según Trujillo, de 15cm. al año en las zonas más críticas. Han ocasionado daños en los servicios municipales y a todas las edificaciones que se encuentran a su paso, en la parte oriente de la ciudad.

En la zona poniente de la ciudad, en donde el nivel del agua (70m) está ya por debajo del espesor de sedimentos (38m), se alcanzó cierta estabilidad sin experimentar, hasta el momento, descompensaciones isostáticas apreciables. Sin embargo, la parte oriente en donde el nivel freático no está todavía por debajo del espesor de sedimentos, tiene en la actualidad tendencias a los ajustes volumétricos debido, entre otras razones, a la pérdida gradual de la flotación que imponen las zonas saturadas sobre las no saturadas. Los hundimientos diferenciales no dejarán de darse hasta el momento en que se equilibren la fuerza que ejerce el peso de los sedimentos rígidos ya sin agua, con la presión hidrostática que ejercen los sedimentos saturados.

La compactación diferencial se expresa en distintos hundimientos y desniveles controlados por un escarpe tectónico, aparentemente inactivo sepultado por coladas basálticas y riolíticas (basamento del acuífero) y depósitos fluvio-lacustres. El escarpe tiene un desnivel de 210m (Fig.25) y cumple dos funciones en la dinámica del fenómeno. Primero establece un límite bien definido entre la zona susceptible a los hundimientos (oriente) y la de menor susceptibilidad (poniente), y después funciona como un plano predispuesto sobre el cual se desliza el paquete grueso de sedimentos. El control que ejerce el escarpe se define a través de los patrones espaciales de distribución del



fenómeno. Es así que los fallamientos se alinean y concentran justo en donde el escarpe provoca rupturas entre los materiales que se extienden al desplazarse por sobre la superficie del mismo y los que se comprimen dentro del paquete de sedimentos.

Esta condicionante determina el reacomodo de los rellenos fluvio-lacustres en bloques con distintos movimientos de rotación generados por la misma presión y peso de los sedimentos y la sobrecarga de las construcciones.

Los distintos arreglos, disposición y geometría de las fallas (desniveles) se explican a través de la mecánica combinada de la subsidencia y los deslizamientos retrogresivos (Krynine y Judd, 1972), en donde cada deslizamiento simple afecta la estabilidad del terreno detrás de él y de esta forma da lugar a otro deslizamiento.

### EVOLUCION HIPOTÉTICA DE LA SUBSIDENCIA Y LAS FALLAS EN CELAYA GTO.

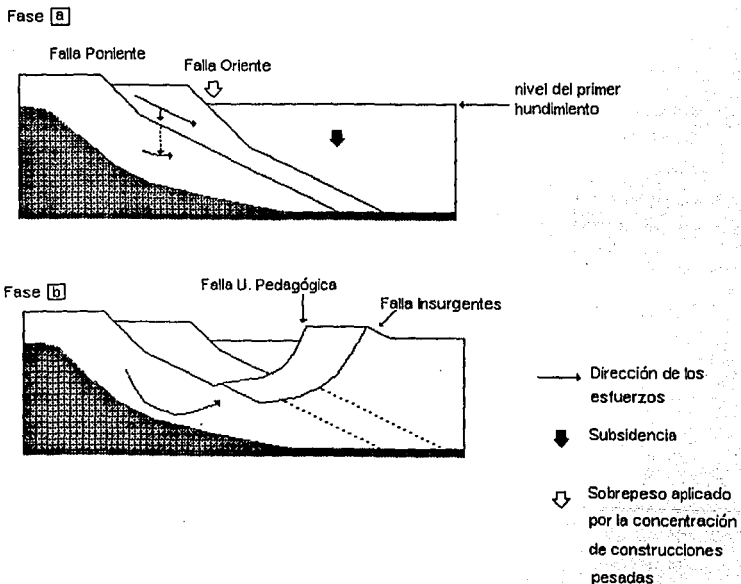


Fig.27 Evolución hipotética de la subsidencia y las fallas en Celaya.

En la figura 27 se muestran dos fases evolutivas hipotéticas que podrían explicar lo anterior. En la Fase "a" se da el primer hundimiento diferencial, que corresponde con la base del desnivel más importante de 1.90m en la falla Oriente. Se presupone que éste sea el primer asentamiento debido a lo pronunciado del desnivel en el terreno. Origina dos hundimientos que dan lugar a dos fallas: la Oriente y la Poniente (Mapa 1). Estas son las de mayor desarrollo horizontal y vertical y guardan una orientación paralela hacia el NW con bloques hundidos hacia el oriente.

Dada la naturaleza del material en superficie y lo extenso de su cobertura sedimentaria hacia el oriente, los hundimientos podrían tener un arreglo anárquico, sin embargo, responden justo a controles impuestos por las características del subsuelo. El basamento, como ya se ha mencionado, es de naturaleza pétreo bien consolidada y sobre éste se alojan sedimentos más o menos plásticos. Este material se ajusta a las condiciones de rigidez y gravedad que impone el material consolidado, es entonces cuando el primero se desliza por sobre la pendiente del escarpe de la fosa que tiende a funcionar como un plano de deslizamiento. Los materiales rígidos se mantienen sin cambios en su estructura física a menos que exista algún movimiento tectónico, sin embargo, los materiales plásticos en donde predominan las arcillas y los limos, tienden a experimentar diferentes comportamientos tanto en superficie como en profundidad. Estos se explican debido a que la plasticidad, según Atterberg (citado por Juárez y Rodríguez, 1972), no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Esta condición determina 5 estados de consistencia entre el estado líquido con las propiedades y apariencia de una suspensión hasta el estado sólido, ubicándose, en medio, el estado plástico como consistencia de transición. Así, la respuesta de los materiales se encuentra en relación directa con el contenido de agua.

En superficie es frecuente la formación de fracturas conocidas como grietas de desecación; se forman por la pérdida estacional del agua en condiciones naturales o bien por la pérdida de la misma cuando se sobreexplotan los acuíferos. El resultado es la formación de planos de ruptura en donde se pierde plasticidad y sobre los cuales se concentra la susceptibilidad a los desplazamientos verticales del material. A partir de las zonas susceptibles y según los ritmos de explotación del agua, la compactación diferencial presiona en profundidad con un efecto inverso, es decir, del interior hacia la superficie.

Los efectos de la compactación se aceleran e intensifican localmente debido al sobrepeso que aplica la concentración de construcciones pesadas sobre un área específica. La presión vertical del peso compacta el material in situ y al mismo tiempo lo desplaza en forma lateral provocando deformaciones sobre los sedimentos adyacentes. La primera falla probablemente se encuentra

muy relacionada con el punto de inflexión que se forma entre la zona que se comprime y la zona que se extiende. En el siguiente esquema (Fig.28) se muestra esta idea:

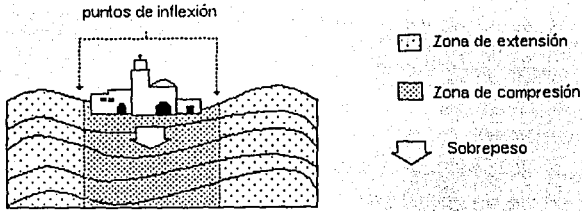


Fig.28 Puntos de inflexión sobre los materiales plásticos superficiales en Celaya.

Fase "b" .- una vez iniciado el movimiento en el material plástico, debido a los factores activadores, se dan una serie de reajustes sucesivos que tienden a compensar los volúmenes de material desplazado por peso y presión en la fase anterior. Así, los primeros deslizamientos generan una serie de esfuerzos verticales y curvos horizontales que presionan los materiales adyacentes originando nuevos desplazamientos de material con nuevas expresiones en superficie, como son las fallas que Trujillo llama de la Universidad Pedagógica e Insurgentes (Mapa 1). Los esfuerzos que se generan en los rellenos sedimentarios cambian de una componente vertical a una componente horizontal debido a que se encuentran con una discontinuidad geológica de mayor consistencia y rigidez.

La falla de la Universidad Pedagógica tiene el bloque hundido hacia el poniente, justo en disposición opuesta a las fallas Oriente y Poniente, lo que explica distintos comportamientos en el reajuste de los sedimentos. Las nuevas fallas son resultado de la compactación profunda del primer hundimiento y la expresión en superficie de los reajustes curvos que presionan desde el interior. El resultado final es la formación de un bloque discontinuo ligeramente levantado cuya expresión es la falla de la U. Pedagógica con el bloque hundido hacia el poniente y la falla Insurgentes con el bloque hundido hacia el oriente.

Confirmando parcialmente el planteamiento anterior, en la colonia Alfredo Vázquez Bonfil ubicada al norte de la ciudad, se encontraron evidencias de una importante grieta de desecación que coincide con la falla de la U. Pedagógica. Sobre su trazo cada época de lluvias la grieta se ensancha hasta en 0.80m y funciona como colectora de las aguas acumuladas en los terrenos

baldíos adyacentes. Los pobladores locales nunca han podido observar su profundidad pero si han detectado que su capacidad para captar agua es prácticamente inagotable.

La evolución hipotética de los hundimientos a manera de deslizamientos rotacionales, es una propuesta teórica que necesita ser corroborada con sondeos geofísicos a detalle que comprueben la profundidad en las fallas, la rotación en los paquetes de sedimentos y los cambios en el nivel original del terreno, entre otras.

### *Magnitud Física*

El tamaño del evento es de magnitud reducida dado que su cobertura de afectación areal es mínima y lineal. Con el paso del tiempo se ha convertido en un fenómeno ordinario para el cual se han establecido medidas de adaptación.

En la siguiente foto (Fig.29) se observa cómo la reja metálica de la casa fue anclada sobre el bloque levantado (derecha), de manera que las deformaciones originadas por la falla no la afecten. Los daños sobre la acera y la barda de concreto se solucionan agregando escalones y rellenando los huecos cada vez que es necesario.



*Fig. 29 Adaptaciones en la construcción para mitigar los efectos destructivos de las fallas en Celaya.*

Según lo expuesto en el segundo capítulo la valoración considerada para esta clase de magnitud es de: ----- 1.

### *Intensidad*

La intensidad de la subsidencia se mide, para este caso, según la importancia de los desniveles en las fallas. Así, el fenómeno es más intenso donde el desnivel máximo alcanza 1.90m. en la esquina de las calles Nuevo León y Arroyo Ch., y menos intenso en donde el desnivel tiene 0.30m. en la esquina de las calles Aguilar y Maya con Cozumel (Mapa 1). Los desniveles son necesariamente el reflejo de la interacción entre los procesos naturales y humanos específicos que concurren en la cd. de Celaya, y no es posible encuadrarlos en patrones de intensidad aplicables a otros casos de subsidencia conocidos. Es por eso que a partir de los extremos conocidos para este estudio de caso se han determinado tres rangos:

	Valor
alta ---cuando los valores superan ----- 1.20 m.....	3
media ---cuando los valores se encuentran entre ----- 0.60m y 1.20m y.....	2
baja----- cuando los valores se encuentran por debajo de ----- 0.60m.....	1

Los rangos fueron cartografiados en el mapa 1 a partir de mediciones obtenidas en campo y mediante interpolaciones calculadas. Los umbrales se establecieron a partir de los desniveles máximo y mínimo observados hasta el momento.

### *Análisis temporal*

Sus tiempos de gestación y desarrollo varían según la percepción de los pobladores afectados y según los registros elaborados por las dependencias de gobierno. Aparentemente el fenómeno se incubó en un periodo no mayor de 30 años, sin que esto signifique ausencia de afectación durante este tiempo. El desarrollo del fenómeno, es el que propiamente ha tenido consecuencias sobre la estructura urbana, se ha manifestado de 1982 a la fecha sin que esto implique que el fenómeno se haya detenido. Por lo anterior el tiempo de impacto es aún indeterminado y depende de que tanto se incentive o inhiba el fenómeno, sabiendo que los factores activadores de mayor peso son de origen antrópico.

Dadas las características del fenómeno es importante destacar que en términos reales no existe un periodo de recurrencia debido a que no se espera su repetición sino más bien su extinción

gradual en cuanto se recupere el equilibrio isostático. Por lo anterior, y para este caso en particular, resulta poco operativa la aplicación del concepto de frecuencia.

Si se mantuviera el ritmo de sobreexplotación actual en el acuífero de Celaya, se puede pronosticar a largo plazo un incremento máximo anual de 15 cm. en el desnivel de las fallas. Esto planteando un escenario en donde las condiciones actuales no se modifiquen sustancialmente.

El monitoreo detallado del avance y comportamiento temporal de las fallas permitiría crear mapas de tendencias y escenarios, sin embargo la información disponible hasta el momento resulta insuficiente.

#### **B) Medio de desplazamiento y estado físico y movimiento de los materiales.**

Debido a que el fenómeno en estudio está confinado dentro de una cuenca de acumulación, no existe en sentido estricto un medio de desplazamiento. Tampoco hay una movilidad horizontal apreciable de los materiales sólidos y líquidos involucrados en la dinámica del fenómeno, por lo que no es posible apreciar ni cartográfica ni cuantitativamente su dinámica.

El movimiento de los materiales está asociado directamente con los efectos destructivos que éstos imponen, de manera que si no ejercen agresividad sobre el medio no existe forma de evaluarlos.

#### **Geosistemas (características funcionales)**

##### *Antecedente*

La dinámica del fenómeno se expresa predominantemente en forma vertical y no en forma horizontal. Desde este punto de vista las características funcionales se transfieren y suceden bajo la misma área de origen. En sentido estricto el geosistema antecedente sería propiamente el paquete masivo de sedimentos de origen fluvio-lacustre ubicados desde el fondo hasta la superficie de la cuenca acumulativa.

##### *Tránsito*

La energía que involucra el fenómeno se libera paulatinamente, sin embargo, si se considera un área de tránsito funcional, ésta se ubica entre la zona saturada y la no saturada del subsuelo, provocando en esta interfase el reacomodo de los sedimentos.

### *Consecuente*

La expresión en superficie de la subsidencia es la función consecuente del geosistema. La manifestación más evidente del fenómeno son los fallamientos resultado de la liberación de energía y presión hidrostática y la ruptura de los materiales plásticos sujetos a estrés hídrico. La expresión del geosistema consecuente es lineal, determinando por tanto un arreglo estructural geosistémico bien definido.

### Estructura geosistémica

El arreglo en la estructura geosistémica del fenómeno es en **fajas** (Mapas 1 a 4). La expresión lineal de las fallas genera peligrosidad y afectación también en dirección perpendicular a su trazo. El desnivel sobre las fallas ocasiona las rupturas en el terreno y establece una franja central de afectación mayor a partir de la cual se ubican franjas sucesivas de afectación menor. Aunque se han detectado rasgos morfológicos, como pequeñas depresiones y lomos que denotan afectación en áreas adyacentes a la central, no se han podido establecer patrones repetibles para todas las fallas.

### Expresión de peligrosidad

La expresión de peligrosidad del fenómeno es **simple** porque la subsidencia como tal no desencadena otros procesos de origen natural. Se desarrolla sin incentivar la dinámica de otros procesos y/o fenómenos. El valor asociado a esta expresión de peligrosidad es: -----2.

### Vulnerabilidad ambiental

#### Vulnerabilidad parcial- componentes abióticos

Dentro del grupo de los componentes abióticos destacan por su importancia el relieve, el sustrato geológico, el clima y el agua.

#### *Relieve*

El marco geomorfológico se restringe al área de planicies fluviales y lacustres. Ambas presentan distintos grados de susceptibilidad al fenómeno debido a los procesos y materiales que les dieron

origen. El río la Laja, principal generador de modelado fluvial en la zona, presentaba antes de la construcción de la presa Ignacio Allende, en 1969, una dinámica activa sobre todo en la temporada de lluvias en donde las precipitaciones pueden alcanzar los 406 mm. en un mes (julio) o los 79.6 mm. en 24hrs. (1966). Como resultado de esta dinámica se formaron dos niveles de terrazas erosivas que actualmente controlan el crecimiento lateral del curso fluvial.

El primer nivel se ubica sobre un antiguo nivel lacustre a 2m. del talweg (fig.16). Se puede observar claramente debido a la consolidación bien diferenciada de evaporitas mezcladas con cenizas volcánicas que controlan la incisión vertical del río. El segundo nivel corresponde con el nivel actual de la planicie lacustre y tiene 3m de diferencia con respecto al primer nivel lacustre . En ninguno de los dos niveles, ni en el cauce ni en las márgenes, se observan acumulaciones de carga de fondo, lo que permite deducir, primero, que el río se desarrolló sobre una planicie lacustre ya constituida y segundo que los materiales gruesos transportados por la corriente fluvial han sido captados curso arriba por gravedad y peso, por trampas topográficas, o bien por la construcción de la presa. El no existir depósitos aluviales gruesos dispuestos en estratos o en forma masiva indica que desde tiempos geológicos la acumulación en la zona ha sido predominantemente de facies distales. El límite aproximado de las planicies fluviales ubicado a partir del cauce medio y su morfología, alcanza en amplitud horizontal hasta 80m (Fig. 30).

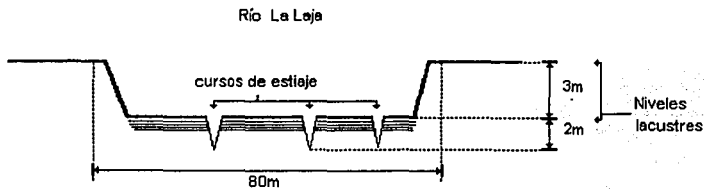


Fig. 30 Perfil transversal del río La Laja.

La acumulación distal de material fino de origen deluvial y fluvial ha sido afectada desde el momento en que se depositó, por condiciones permanentes de humedad que determinaron el reacomodo de arcillas, limos y arenas en estratos horizontales de tipo lacustre. De hecho la distribución del fenómeno se ubica sólo en las planicies lacustres.

Para el caso concreto de la subsidencia no es válido definir la predisposición del relieve a su desplazamiento en superficie, debido a que presenta poca o nula movilidad horizontal. No existe autonomía de movimiento.



## Sustrato geológico

Las características del sustrato geológico ya se han señalado antes como determinantes en la dinámica del fenómeno. La susceptibilidad del sustrato a los hundimientos depende de la abundancia relativa y espesor de sus componentes. Así en los lugares donde predominan las arcillas por sobre las arenas y las gravas las posibilidades de compresibilidad del material son mayores que en donde predominan las gravas y/o las arenas.

## Clima

Debido a lo reducido del área de afectación no existe diversidad de climas. Las características del clima local tienen una participación indirecta pero importante en el balance hídrico del área de estudio. En la gráfica ombrotérmica (Fig.31) se observa que la precipitación se concentra entre los meses de junio y septiembre y que su fluctuación anual es extrema al presentar 4.5mm. en febrero y 130.5mm. en julio. A lo largo de la mayor parte del año hay déficit en precipitación.

Las amplias variaciones en la precipitación originan déficit estacional en la recarga del acuífero, presionando indirectamente la dinámica de la subsidencia al condicionar la cantidad en los aportes naturales de agua. Caracterizando la variabilidad del clima se podría decir que dominan comportamientos extremos en toda el área de estudio.

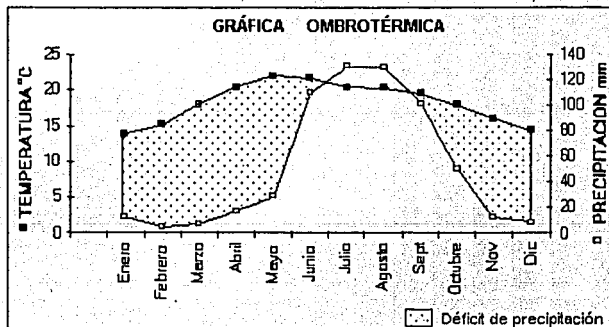


Fig. 31 Gráfica Ombrotérmica de la estación Celaya.

## Agua

La cantidad y localización del agua es una condicionante de vulnerabilidad ambiental para la subsidencia. Como ya se ha explicado antes, el estrés hídrico al que son sometidos los depósitos fluvio-lacustres tanto en forma permanente como estacional, generan la aceleración de los hundimientos. Es por eso que la concentración en la extracción del agua en distintas zonas genera también distintas velocidades en los hundimientos dependiendo de la configuración subsuperficial de los conos de abatimiento. Es así que en función de la densidad de pozos y sus gastos se pueden trazar isolíneas de gastos acumulados (información no disponible) con el fin de ubicar las zonas donde se concentra la explotación para determinar finalmente zonas más susceptibles de mayor extracción y zonas menos susceptibles de menor extracción.

### Vulnerabilidad parcial- componente de interfase

#### Suelo

El suelo, como cuerpo natural tridimensional, no es considerado dentro de la susceptibilidad del territorio a la subsidencia. Sus características físicas son las que de hecho participan en la dinámica del fenómeno, pero éstas ya se consideran en sustrato geológico.

### Vulnerabilidad parcial- componentes bióticos

El componente biótico, vegetación, no juega un papel importante en la dinámica del fenómeno debido a que su movilidad no está asociada a condicionantes de fricción en superficie.

### Vulnerabilidad ambiental total

Debido a lo reducido del área de afectación, algunos componentes ambientales como el relieve, el clima, el agua (por carecer de datos de sitio), el suelo y la vegetación no han sido diferenciados espacialmente, situación que impide determinar la vulnerabilidad ambiental total, por lo que en el conjunto, sólo se ha delimitado la vulnerabilidad ambiental parcial por sustrato geológico (espesores de sedimentos) (Trujillo, 1985).

El valor proporcional calculado en función de la única componente ambiental que se diferenció espacialmente es de:-----+ 0.25 para la zona susceptible o vulnerable, y de:

----- - 0.25 para la zona de baja vulnerabilidad.

En el mapa 2 se ubican tres grados de vulnerabilidad (alta, media, baja), que en realidad son la conjunción de dos variables, el espesor de sedimentos como variable principal, y el descenso del

nivel freático como secundaria. La alta vulnerabilidad corresponde con la zona donde el espesor de sedimentos supera los 80m. Esto se debe a que existe una relación directamente proporcional entre el espesor de sedimentos y la ubicación de las fallas, detectando además que a partir de esta profundidad se da la ruptura de pendiente que caracteriza el límite del escarpe de la fosa. La vulnerabilidad media se encuentra entre los 60 y los 80m., justo en la zona de transición en donde el nivel freático (70m.) está comenzando a liberar la presión hidrostática que recién ejercía sobre la parte saturada, y en donde gradualmente el terreno tiene más posibilidades de encontrar la estabilidad en el mediano plazo. Finalmente la zona menos vulnerable se ubica por debajo de los 60m. y corresponde con la parte de la ciudad en donde hasta la fecha no hay evidencias morfológicas de hundimientos diferenciales en el terreno.

### Impacto

El impacto del fenómeno es **total** sobre la franja que se forma a lo largo del trazo de las fallas. Sobre estos lineamientos se dan las rupturas en el terreno que son la máxima expresión de los efectos destructivos del fenómeno. A partir de éstas se suceden perpendicularmente franjas de impacto **marginal** que son resultado de hundimientos locales asociados, pero sin una distribución espacial definida y/o repetible, por lo que sus límites en el terreno no son precisos. Y finalmente las áreas de impacto filtrado que prácticamente no existen porque los efectos destructivos se desvanecen prácticamente desde las áreas de impacto marginal.

La apreciación numérica asociada al impacto total es:--- 3.0 --- y en el mapa 2 se señala su localización. Para el caso del impacto marginal las áreas señaladas en el mismo mapa, marcan límites aproximados donde las expresiones superficiales del fenómeno son difusas y de efectos destructivos mínimos.

### EVALUACIÓN FINAL DE PELIGROSIDAD

La estructura geosistémica no ha sido suficiente para establecer los límites espaciales de la peligrosidad, por lo que fue necesario recurrir a los componentes del análisis fenomenológico. Concretamente la distribución espacial de la amenaza se logró definir a partir de la intensidad, esto debido a que, dentro del área de afectación considerada, es el único parámetro diferenciado espacialmente. En el siguiente cuadro (Tabla 12) se confrontan los parámetros no diferenciados con la intensidad para finalmente llegar a la evaluación final de la peligrosidad.

Tabla 12. Evaluación final de peligrosidad en Celaya

PELIGROSIDAD									
Parámetro diferenciado	Parámetros no diferenciados							Final	
	Magnitud	Impacto	Exp. de Peligrosidad	Promedio	Vul. ambiental	Vul. técnico-económica	Vul. Global		
Intensidad	3	1	3	2	2.25	+0.25	-0.8	-0.5	1.8
	2	1	3	2	2.0	+0.25	-0.8	-0.5	1.5
	1	1	3	2	1.75	+0.25	-0.8	-0.5	1.3

Dentro de las variables y rangos tipificados en el ensayo metodológico, la peligrosidad para la subsistencia en Celaya es media (1.8) y baja (1.5 y 1.3).

### SOCIOSISTEMA AFECTABLE

#### VALOR POR TIPO DE SOCIOSISTEMA AFECTABLE

Para poder valorar objetivamente la susceptibilidad a las pérdidas en el sociosistema afectable, es necesario basarse en elementos medibles cualitativa y cuantitativamente. Estos elementos se obtienen, para el caso del medio ambiente antrópico, a partir del análisis territorial del proceso de urbanización.

Entendiendo la urbanización como un proceso en el que las áreas rurales se transforman en urbanas y en el que la población evoluciona de un tipo de vida tradicional-rural a otro moderno-urbano, en la ciudad de Celaya se pueden diferenciar dos zonas, una en donde la estructura urbana esta bien definida y otra en donde el proceso de urbanización está aún en vías de consolidación. La primera zona abarca el centro, la zona comercial y sus colonias asociadas, y la segunda las zonas periféricas en donde aún existen vínculos entre las actividades rurales y sus formas de integración a la vida urbana. La afectación del fenómeno se circunscribe entonces a estas zonas urbanas con distintos grados de consolidación. A partir del concepto de consolidación, usado como índice por Ward (1976) y Valverde et al.(1990), se consideran algunas variables para evaluar el valor.

Según lo anterior el marco espacial de referencia más adecuado para establecer valores por sectores, es el uso del suelo urbano. Cada uso tiene un valor asociado en términos de inversión en

infraestructura y población. Los criterios generales para establecer el valor son: calidad de los materiales usados en la construcción, acondicionamiento en servicios públicos y domiciliarios (Ward, 1976 y Valverde et al. 1990), costo individual y/o social de los daños, patrimonio cultural, valor comercial del m<sup>2</sup> (indicador complementario) y población expuesta. A continuación se explican las variables generales con su valor representativo, para después aplicarlas a los sectores con distintos usos del suelo.

Los **materiales usados en la construcción** se pueden diferenciar en: permanentes y semipermanentes o perecederos. Los de permanencia indefinida tienen mayor valor porque representan mayor inversión en materiales de buena calidad (tabique, tabicón, losa, block) que proporcionan seguridad en las construcciones. Estos a su vez pueden ser de buena (valor 3) o mala calidad (valor 2), condicionando entonces variantes en la apreciación de su valor original. En este rubro se incluye la valoración de los acabados y el mantenimiento como calificativo complementario. Por otra parte, los semipermanentes (valor 1) implican menores costos de inversión pero se deterioran rápidamente (techos de láminas de cartón, paredes de agregados de tierra y piedras, etc), por lo que es necesario reemplazarlos en el mediano plazo.

Los **servicios** son un elemento inherente a la estructura física y funcional de las áreas urbanas. Para los fines de este trabajo se han dividido en básicos con mayor valor y complementarios con valores menos considerables. Los básicos son: agua potable, drenaje, energía eléctrica y hospitales, los tres primeros forman parte de los servicios municipales y el cuarto de los servicios medico-sanitarios. Se consideran básicos porque tienen un costo más que individual o local, social, debido a que su afectación directa o indirecta involucra no sólo los daños materiales sino la interrupción de suministros indispensables para un número importante de personas. Las formas de acondicionamiento de estos servicios, ya sean de tipo público o hacia el interior de los domicilios determinan más valor para el caso de los domiciliarios (valor 2) y menos para los públicos (valor 1), pudiendo resultar también una sumatoria cuando se cumplan las dos variables. Esta sumatoria estará definida proporcionalmente según la existencia o no de todos los servicios, esto quiere decir que si existen todos los servicios la sumatoria se mantiene (multiplicando por 1), pero si sólo existen algunos se registrará el valor adicional (multiplicando por el número decimal proporcional). Los servicios complementarios son también importantes pero no indispensables en términos de supervivencia. Los más representativos dentro de la generalidad del equipamiento colectivo de servicios son: en los servicios municipales: pavimentación, policía y bomberos; en los servicios de transporte público: centrales de autobuses, ferrocarriles y aeropuertos; en los servicios de comunicación personal: correos, telégrafos y teléfonos en red interna y externa; en servicios de

comunicación social: cines, periódicos y radiodifusoras; en servicios médico-sanitarios: consultorios y clínicas; en servicios escolares: primarias, secundarias, preparatorias, subprofesional y profesional ; en servicios comercial-financieros : tiendas de menudeo y mayoreo, mercados, rastros, centros comerciales, centrales de abasto y bancos; en servicios recreativo-deportivos: parques, jardines, locales y campos deportivos; y en servicios culturales: bibliotecas, museos, librerías y teatros. En todos los casos se refiere la presencia física del servicio y no sus componentes móviles como autobuses, ambulancias, mercancías, etc.

Los usos del suelo se conciben como las respuestas a intereses y necesidades individuales y/o sociales. Desde esta perspectiva la afectación tiene también un **costo individual o social** y por tanto un valor . Habrá entonces usos como el habitacional (costo individual, valor 1), que de ser dañados afectan el patrimonio de individuos o familias pero no al conjunto de la sociedad, y usos como el comercial, que de ser afectados ocasionan desequilibrios en el orden social establecido. A su vez dentro del costo social existen dos matices: el social limitado (valor 2) y el social extendido (valor 3). El primero se refiere a la afectación importante sobre grupos más o menos reducidos (fuentes de trabajo, como fábricas) y el segundo a una afectación más generalizada.

En lo referente a la población, su valor se define a partir del **tipo de estancia o permanencia** en los diferentes usos del suelo. Así se tienen las zonas de ocupación permanente (valor 3), semipermanente (valor 2) y flotante (valor 1). Las zonas con mayor valor serán las habitacionales, debido a que siempre hay ocupación humana. Le siguen las zonas de población semipermanente, en donde la ocupación humana cubre sólo parte del día en horarios y/o días establecidos. Y finalmente las zonas de población flotante que son ocupadas indistintamente durante el día, en bajas densidades y mucha movilidad.

La apreciación cualitativa antes expuesta es transferida a valoraciones semicuantitativas como se muestra en el siguiente cuadro (Tabla 13).

Tabla 13. Uso del suelo y valor asociado al área de afectación del fenómeno en Celaya.

USO DEL SUELO Y VALOR ASOCIADO AL ÁREA DE AFECTACIÓN DEL FENÓMENO													
USO DEL SUELO	VALOR												
	Inversión en infraestructura							Población			Final		
	Material de construcción			Servicios básicos		Costo		perm	semiper.	flotante			
	perm.		semiper.	púb.	dom.	suma propor.	ind	soc.					
a	b												
1 Habitacional medio		2		1	2	3	1		3			2.2	M
2 Hab. popular	z.a	2		1	2	3	1		3			2.2	M
	z.m		1						3			1.5	B
3 Hab.residencial	3			1	2	3	1		3			2.5	A
4 Administrativo		2		1	2	3		2		2		2.2	M
5 Recreacional		2		1				2			1	1.5	B
6 Serv. Trans.Pub.	c.c	2		1				3		2		1.7	B
	f.	2		1				3			1	1.5	B
7 Comercial		2		1	2	3		3		2		2.5	A
8 Industrial		2		1	2	3		2		2		2.2	M
9 Patrimonio cultural	3			1	2	3		2			1	2.2	M

Según lo planteado anteriormente, los criterios de valor establecen para cada uso del suelo, tres clases de valor : alto, medio y bajo, mismos que son el resultado de promediar la suma horizontal de los valores parciales y su apreciación cualitativa. Se promedia con el fin de normalizar los valores dentro de los rangos manejados en toda la metodología. El máximo valor teórico que se puede obtener es 3, y a partir de éste es que establecen las clases de valor.

Para el uso **habitacional popular** se obtuvieron dos zonas con distinto valor : la *zona antigua* (z.a.) con un valor de 2.2, calificado como medio, y la *zona moderna* (z.m.) con valor de 1.5, calificado como bajo. El acondicionamiento de la vivienda para este uso del suelo es en general inadecuado y/o insuficiente y en algunos casos no cumple con los requerimientos técnicos básicos, además de carecer del mantenimiento mínimo que evite su deterioro, depreciación y riesgo para habitarlas. Las dos subzonas tienen como características comunes el costo individual y la ocupación permanente. Para el caso de la *zona antigua* (zona habitacional centro, de finales del siglo pasado y antes) los materiales son permanentes pero de baja calidad (adobe sin mantenimiento y acabados burdos). Dispone de todos los servicios básicos (públicos y domiciliarios) debido a que se encuentra en la parte antigua de la ciudad, sin embargo, reciben poco mantenimiento lo que implica su creciente deterioro. Como un indicador adicional que

permite comparar, en términos monetarios la conjunción de las características antes planteadas, el terreno vale N\$ 80/m<sup>2</sup> en colonias como la Benito Juárez en donde se cubren todos los servicios básicos y municipales. En la siguiente fotografía (Fig. 32) se muestra una construcción típica de esta zona ubicada sobre la falla Oriente.



*Fig. 32 Zona habitacional popular afectada por la falla Oriente.*

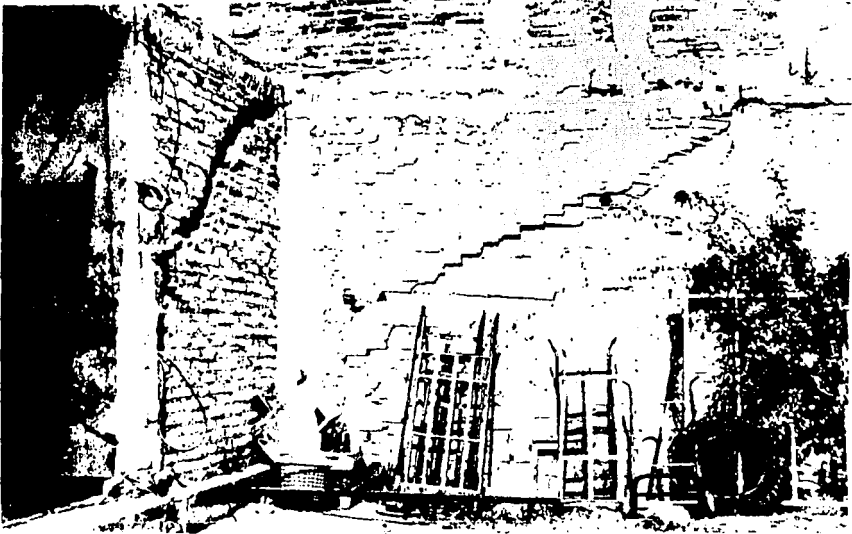
Por otra parte la zona **habitacional popular**, en su **zona moderna**, abarca áreas ejidales de reciente colonización en donde los materiales de construcción son, en general, semipermanentes (láminas de cartón u otros materiales en paredes o techos, agregados de piedra y tierra, etc.) y en donde la dotación de servicios públicos y hacia el interior de las viviendas se retrasa, es incompleta o inexistente. Lo anterior se ve reflejado en el valor comercial del terreno que puede llegar hasta N\$ 18/m<sup>2</sup> para colonias como la Alfredo Vázquez Bonfil (Mapa 1), donde los servicios públicos aún son incompletos.

Para el uso **habitacional medio** se obtuvo un valor de 2.2, calificado como medio. La calidad de la construcción puede ser buena y disponer de todos los servicios domiciliarios y públicos, aunque estos pueden llegar a ser ineficientes o incompletos. El mantenimiento en la construcción es poco frecuente. El costo es individual y la ocupación permanente. El valor comercial del terreno es de



entre N\$ 150 y N\$ 200/m<sup>2</sup> (FOVISSSTE) mostrando ya mayor valor que el uso habitacional popular, en términos monetarios.

En la siguiente foto (Fig 33) se aprecian los efectos de la falla Poniente sobre las construcciones en la zona habitacional media.



*Fig. 33 Afectación de la falla Poniente en el uso habitacional medio.*

La zona **habitacional residencial** obtuvo un valor de 2.5, calificado como alto. En esta zona se dispone de recursos económicos para edificar mejores construcciones e instalarles todos los servicios. Los materiales usados son de alta calidad ( tabique, tabicón, losa, block) y su mantenimiento es constante. Asimismo el nivel económico agiliza la instalación de servicios públicos como agua potable, energía eléctrica, drenaje, pavimentación y servicios de limpia. Es por esto que la valoración de la pérdidas es mayor en la zona habitacional residencial. El costo es individual y la ocupación humana permanente. Un indicador adicional que refleja además ventajas comparativas en cuanto a ubicación, accesibilidad y comunicaciones es el valor comercial del m<sup>2</sup> de terreno, que en promedio es de entre N\$ 350 y N\$ 700 (colonia Alameda).

En la siguiente imagen (Fig. 34) de la colonia Alameda se observa el mayor desnivel (1.90 m.) existente, hasta el momento, en toda la ciudad. Se ubica sobre la falla Oriente.



*Fig. 34 Máximo desnivel general observado en la zona habitacional residencial, sobre la falla Oriente.*

El uso industrial obtuvo un valor de 2.2, calificado como medio. Su afectación implica daños restringidos a la propiedad privada. Sin embargo, en algunos casos las inversiones para recuperar el capital fijo son muy elevadas. Su importancia radica en que el daño a la infraestructura (materiales permanentes de baja calidad) afecta, en el caso de Celaya, a industrias y actividades económicas asociadas a las actividades agropecuarias. El costo social es limitado, debido a que la posible pérdida afecta sólo algunas fuentes trabajo; y la ocupación es semipermanente porque sólo se ocupan las instalaciones en los horarios de trabajo.

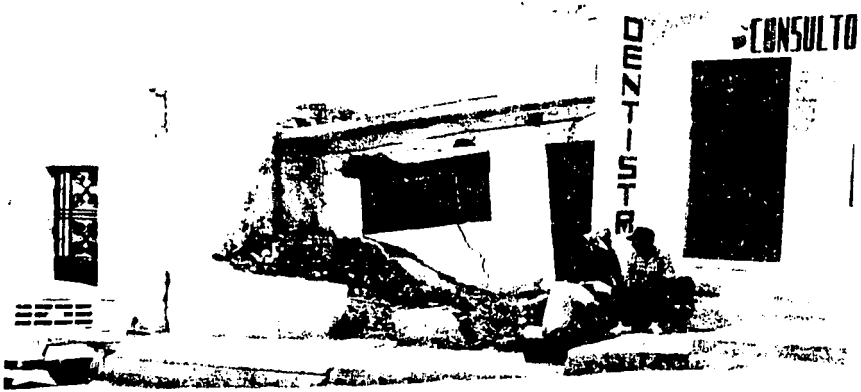
La siguiente fotografía (Fig. 35) muestra los daños sobre una fábrica y bodega ubicada sobre la falla Oriente en el centro de Celaya.



*Fig. 35 Daños ocasionados por la falla Oriente en el uso del suelo industrial.*

La zona **comercial-financiera** tiene un valor de 2.5 calificado como alto. Incluye tiendas al menudeo, tiendas al mayoreo, mercado municipal, central de abastos y bancos; tiene vida durante parte del día (ocupación semipermanente). Su costo social es extendido debido a que es un centro de acopio y consumo de todo tipo de productos a nivel local y regional. Es por tanto área de abasto para toda la población y base económica de ingresos y empleo para un sector importante de la misma. Los materiales empleados en la construcción son permanentes y no es necesaria, salvo en casos concretos, que éstos sean de alta calidad.

En la siguiente imagen (Fig. 36) se muestra la afectación de la falla Poniente sobre la zona comercial del centro de Celaya.



*Fig. 36 Daños ocasionados por la falla Poniente en la zona comercial del centro de Celaya.*

El patrimonio cultural tiene un valor de 2.2 calificado como medio. Está compuesto de monumentos, elementos ornamentales en sitios públicos, escultura religiosa y moderna y edificios históricos. De todos estos elementos los únicos inamovibles y por tanto expuestos a la afectación del fenómeno son los edificios históricos, entre los que destacan, para la ciudad de Celaya y el entorno regional del Bajío Guanajuatense: los templos de El Carmen, San Francisco, La Merced, La Tercera Orden, San Agustín, la capilla de Dolores, la casa del Diezmo, Palacio Municipal. Estos edificios tienen valor arquitectónico al ser muestras sobresalientes de arte neoclásico y ser testigos de la conformación regional del Bajío en las épocas coloniales, de reforma y revolución durante los siglos XVII, XVIII y XIX. Los materiales usados en la construcción son permanentes, de alta calidad y reciben mantenimiento constante. Los servicios son tanto públicos como hacia el interior de las instalaciones. La ocupación es flotante y existe sólo ocupación permanente a nivel de individuos. Su costo social es limitado porque, aunque representa un símbolo de cultura, su trascendencia se limita, dentro del ámbito social, a sólo parte de la riqueza cultural de la sociedad. El templo de San Francisco (Fig.37) ha sido seriamente afectado por el desplazamiento vertical en la falla Poniente. Para evitar se siga dañando, justo en el plano de ruptura de la falla se partió la

estructura del templo en dos unidades de construcción con respuesta autónoma al desplazamiento relativo de los bloques hundido y levantado.



*Fig. 37 Efectos destructivos de la falla Poniente sobre el Templo de San Francisco y adaptaciones en la construcción para recuperarlo.*

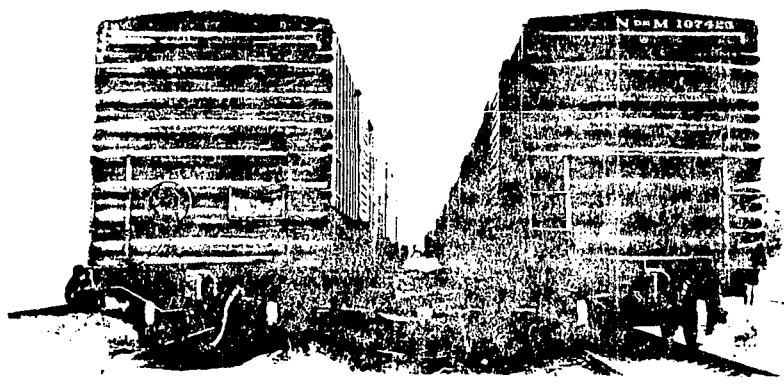
El uso recreacional tiene un valor de 1.5, calificado como bajo. Los materiales usados son permanentes pero no necesariamente de alta calidad. Normalmente la inversión en construcciones es mínima. El costo social es limitado porque los posibles daños afectan a pequeños grupos de usuarios. Los servicios que demanda este uso son públicos, y la población es flotante.

El uso administrativo alcanza un valor de 2.2 y es calificado como medio. Los materiales usados en la construcción son permanentes de baja calidad (oficinas de gobierno). Los servicios tanto públicos como hacia el interior de las edificaciones son completos. La posible afectación de este uso del suelo tiene un costo social que se limita a la fuente de trabajo y la ocupación humana es semipermanente, en horarios de oficina.

Los servicios de transporte público tienen un valor de 1.7 para la central camionera (c.c.) y de 1.5 para los ferrocarriles (f.). Ambas modalidades de transporte requieren materiales de

construcción permanentes de regular calidad; constan de servicios públicos y tienen un costo social extendido. Las diferencias radican en el tipo de ocupación humana. Para el caso de la central camionera, la ocupación es semipermanente y flotante, esto debido a que existe tránsito de pasajeros durante todo el día, y personal encargado de las operaciones de la misma. En los ferrocarriles, y para el caso concreto del área de afectación, el poco personal que supervisa el funcionamiento de este servicio siempre se encuentra en movimiento, por lo que la ocupación se considera flotante.

El ferrocarril que transita por Celaya es de importancia regional por el transporte de carga. Es constantemente afectado por el desplazamiento en la falla Oriente, sin embargo debido a la importancia del servicio el mantenimiento y nivelación de la vía es constante por lo que los daños sólo se aprecian como un desnivel suave (Fig.38).



*Fig. 38 Mantenimiento constante sobre la vía del ferrocarril afectada por la falla Oriente.*

En el análisis general del valor se le da más peso a la infraestructura no porque sea más importante en términos reales, sino porque se encuentra más expuesta que la población debido a las diferencias de movilidad. Se considera además la trascendencia socioeconómica que podrían representar las pérdidas materiales para un mayor o menor número de personas.

El valor adicional que se podría considerar para la población, en el caso de que el fenómeno perturbador fuera altamente peligroso en agresividad y movilidad, sería el de la densidad de población. Para la ciudad de Celaya la densidad promedio determinada para los diferentes usos del suelo, se basa en un sondeo preliminar en el que se observó que la media de habitantes por casa habitación es, para las zona residencial, menor a 5, para la zona habitacional media 5, y para la zona habitacional popular, mayor a 5. De acuerdo con lo anterior se determinó que, de mayor a menor, la densidad en ocupación permanente del territorio corresponde, primero con la zona habitacional popular, siguiéndole la zona habitacional media, la zona habitacional residencial, la zona comercial, la zona industrial y finalmente la zona de patrimonio cultural.

#### VULNERABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

La vulnerabilidad técnico-económica adquiere necesariamente matices sociales relacionados con la condición económica del o los grupos humanos afectados. Para el caso concreto de Celaya, la amenaza que representan las fallas como expresión superficial de la subsidencia, adquiere un valor relativo según el uso del suelo y los directamente afectados. Esto significa que mientras para los habitantes del uso habitacional popular los daños representan un problema prácticamente insuperable por carecer de recursos económicos y técnicos para reparar daños y/o reubicarse, para las personas afectadas en el uso habitacional residencial es sólo un problema temporal para el que existen soluciones. Partiendo pues de lo relativo que resulta la percepción de cada grupo afectado, se hizo la siguiente apreciación objetiva general basada en la metodología propuesta:

-mecanismos de alerta-----	0
-capacidad técnica para manipular los mecanismos generadores-----	1
controlar los mecanismos generadores-----	0
-capacidad técnica para controlar los efectos destructivos-----	2
mitigar los efectos destructivos-----	1
	<hr/>
	4

Si la sumatoria fuera 7 el valor en vulnerabilidad sería 1.5, pero como para este caso la suma es 4, el valor proporcional es 0.8. Este se aplica como resta al valor de peligrosidad.

#### EVALUACIÓN FINAL DE VALOR

Dedido a que no se consideran valores adicionales, el valor final es el obtenido en la tabla 13.

3

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN GENERAL DE RIESGO**

La evaluación general del riesgo es la conjunción semicuantitativa y cartográfica de la evaluación general de peligrosidad y el valor determinado para cada componente del ecosistema afectable. En la siguiente matriz se organizan, en la horizontal, los valores para los usos del suelo identificados por los números que se han manejado tanto en el texto anterior como en mapa 3 , y en la vertical los valores de peligrosidad. Los resultados hacia el interior de la matriz (Tabla 14) son los valores de riesgo resultado de las matrices y la sobreposición de las regionalizaciones parcializadas obtenidas en los mapas 1, 2 y 3.

Tabla 14. Matriz de evaluación general de riesgo para Celaya.

MATRIZ DE EVALUACION GENERAL DE RIESGO		SOCIOSISTEMA AFECTABLE											
		Medio Ambiente Antrópico											
		Valor en el uso del suelo											
		1	2a	2b	3	4	5	6c.c.	6f.	7	8	9	
G E R T U R B A D O R	Peligrosidad (definida por sectores de intensidad)	1.8			4.3					4.3			
		1.5	3.7	3.7	3.0	3.7		3.2	3.0	4.0	3.7		
		1.1	3.3	3.3	2.6	3.6	2.6	2.8	2.6	3.6	3.3	3.3	
	Valor parcial		3.5	3.5	2.8	3.9	3.7	2.6	3.0	2.8	3.9	2.9	3.3
	Valor final de riesgo		3.2										

Uso del suelo		
1. Habitacional medio	4. Administrativo	7. Comercial
2a. Habitacional popular (zona antigua)	5. Recreacional	8. Industrial
2b. Habitacional popular (zona moderna)	6. Servicio de Transporte Público	9. Patrimonio cultural
3. Habitacional residencial	c.c central camionera	
	f. ferrocarril	

De la matriz se obtuvieron dos grados de riesgo: medio, para los valores que oscilan entre 4 y 5, y bajo para los valores entre 2 y 3 . Los umbrales fueron establecidos según los lineamientos de la metodología de evaluación general propuesta en el segundo capítulo de este trabajo.

Se observa que los usos comercial y habitacional residencial promedian los valores más altos y que el valor final de riesgo se ubica dentro del riesgo bajo, apreciación que en términos generales indica que el fenómeno de la subsidencia y las fallas en Celaya no es una amenaza agresiva que presione la movilización inmediata de la población o su reubicación definitiva.



En el mapa 4 se ubican finalmente los sectores valorados según la sobreposición del mapa de intensidad, representativo de la peligrosidad (geosistema perturbador) y el mapa de valor, representativo del ecosistema afectable.

④

## **EXPRESIÓN CARTOGRÁFICA ANALÍTICA Y SINTÉTICA**

La expresión cartográfica analítica y sintética que se incluye en este trabajo se ubica dentro de las zonificaciones a escala grande, en donde se señalan a detalle áreas de peligro y riesgo.

Se elaboraron 4 mapas: 3 analíticos y 1 sintético.

Los mapas analíticos son:

Mapa 1: Intensidad (naturaleza y extensión de eventos o fenómenos recientes)

Mapa 2: Vulnerabilidad ambiental parcial por espesor de sedimentos.

Mapa 3: Valor asociado al uso del suelo en el área de afectación (valoración y diferenciación territorial de la estructura física del ecosistema).

El mapa sintético :

Mapa 4: Riesgo (mapa de riesgo general)

Los mapas permiten diferenciar, a través de la zonificación del riesgo, las formas de expresión en superficie del fenómeno de la subsidencia y sus efectos destructivos sobre el ecosistema afectable. Cumplen la función de señalar los distintos grados de atención que requieren las zonas afectadas, para en la medida de lo posible, reorientar el uso del suelo y de los recursos naturales de la región.

Falla U. Pedagógica

Falla Oto.

FOVIBOTE  
-0.80m.

M.R.O.

E.P.s.

-1.20m.

E.P.R.M.

-0.50m.

-0.50m.

-0.80m.

RENAS

RESERVA

M.R.O.

E.P.s.

-1.20m.

P.P.E.M.

-1.20m.

-1.50m.

Falla Pte.

-0.30m.

-1.50m.

-1.50m.

-1.50m.

-0.80m.

-1.20m.

-0.30m.

-0.30m.

COMERC.

Dir. Adm. L. G. M. S.

-0.80m.

M.R.O.

E.P.s.

PLANTA  
TERMOCENTRAL




Falla Insurgentes

M.R.O.

E.P.s.

GENERAL DE ABASTOS  
-0.80m.

**INTENSIDAD**

-  Alta - desnivel >1.20m.
-  Media - desnivel 0.60-1.20m.
-  Baja - desnivel <0.60m.

M.R.O. Magnitud reducida ordinaria

E.P.s. Expresión de peligrosidad simple

- puntos de control
- desnivel inferido

- Ubicación de las fallas
- - - Trazo inferido de las fallas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

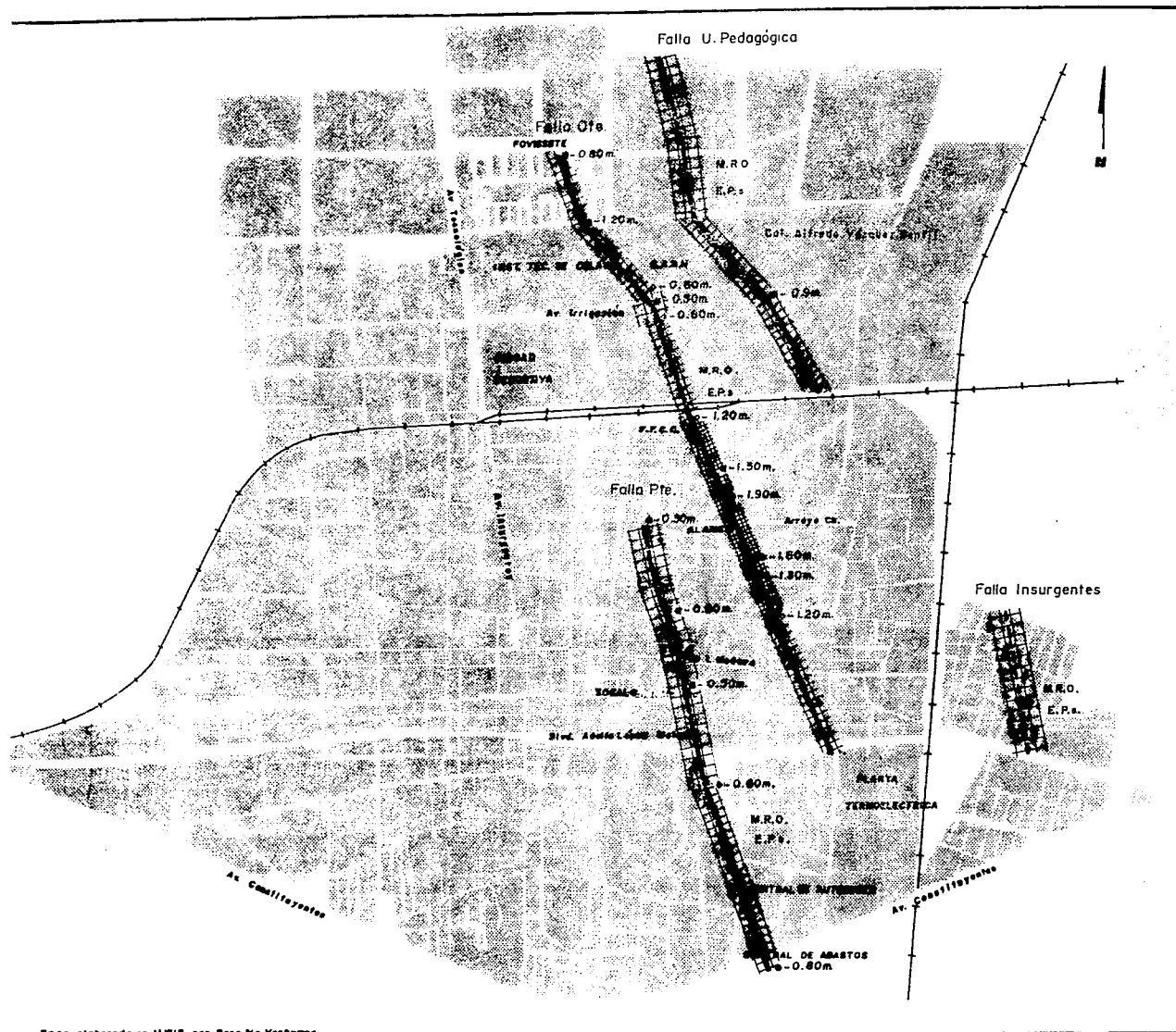
**GEOGRAFIA**

RIESGOS NATURALES EN CELAYA, GTO.

Construyó:  
Alvaro Gerardo Palacio  
Aponte




Escala 1: 17,500  
Mapa No. 1  
Fecha: abril, 1994

FALLA DE ORIENTE



Banco elaborado en ILWIS por Rosa M. Vences

### INTENSIDAD

-  Alta - desnivel >1.20m.
-  Media-desnivel 0.60-1.20m.
-  Baja - desnivel < 0.60m.

M.R.O. Magnitud reducida ordinaria

E.P.s. Expresión de peligrosidad

● - puntos de control

○ - desnivel inferido

— Ubicación de las fallas

- - - Trazo inferido de las fallas

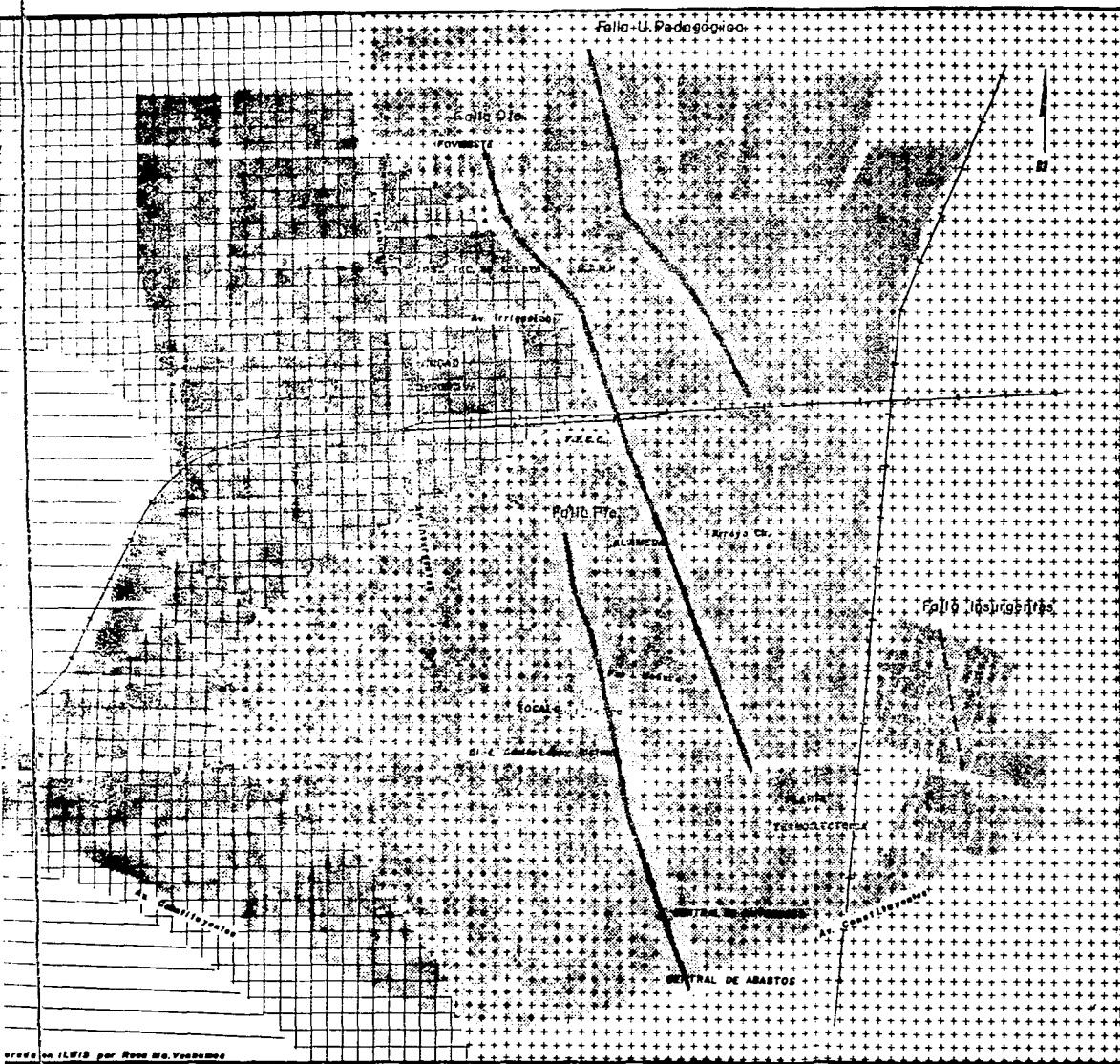
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

### GEOGRAFIA

RIESGOS NATURALES EN CELAYA

Construyó:	Escala 1:10000
Alvaro Gerardo Palacio	Mapa No. 1
Aponte	Fecha: 2011

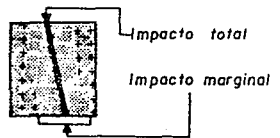
FALLA DE OFO



VULNERABILIDAD AMBIENTAL PARCIAL  
(espesor de sedimentos)

- Alto - espesores > 80m.
- Media - espesores 60-80m.
- Baja - espesores < 60m.

IMPACTO



- Ubicación de las fallas
- Trazo inferido de las fallas

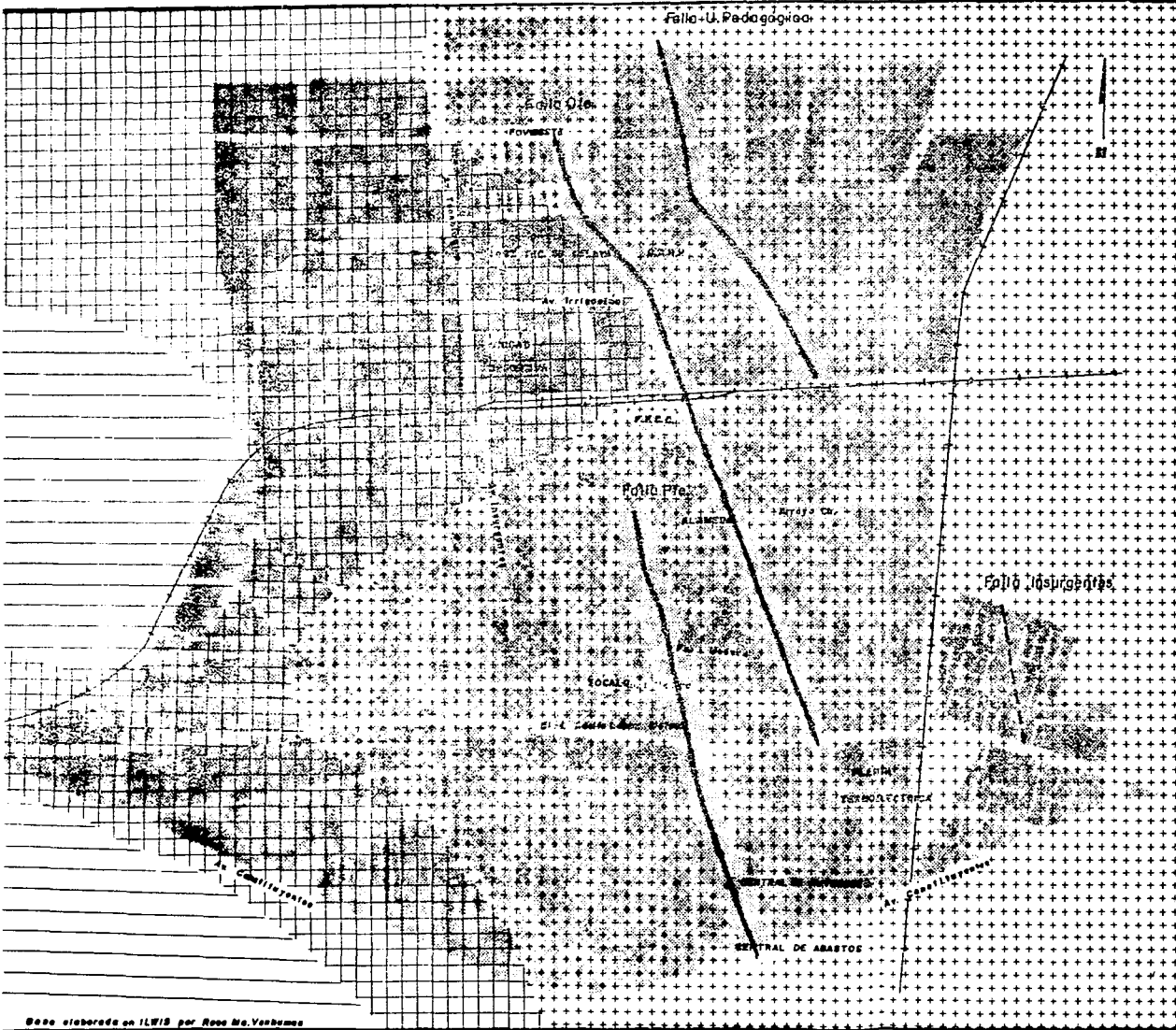
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

GEOGRAFIA

RIESGOS NATURALES EN CELAYA, GTO.

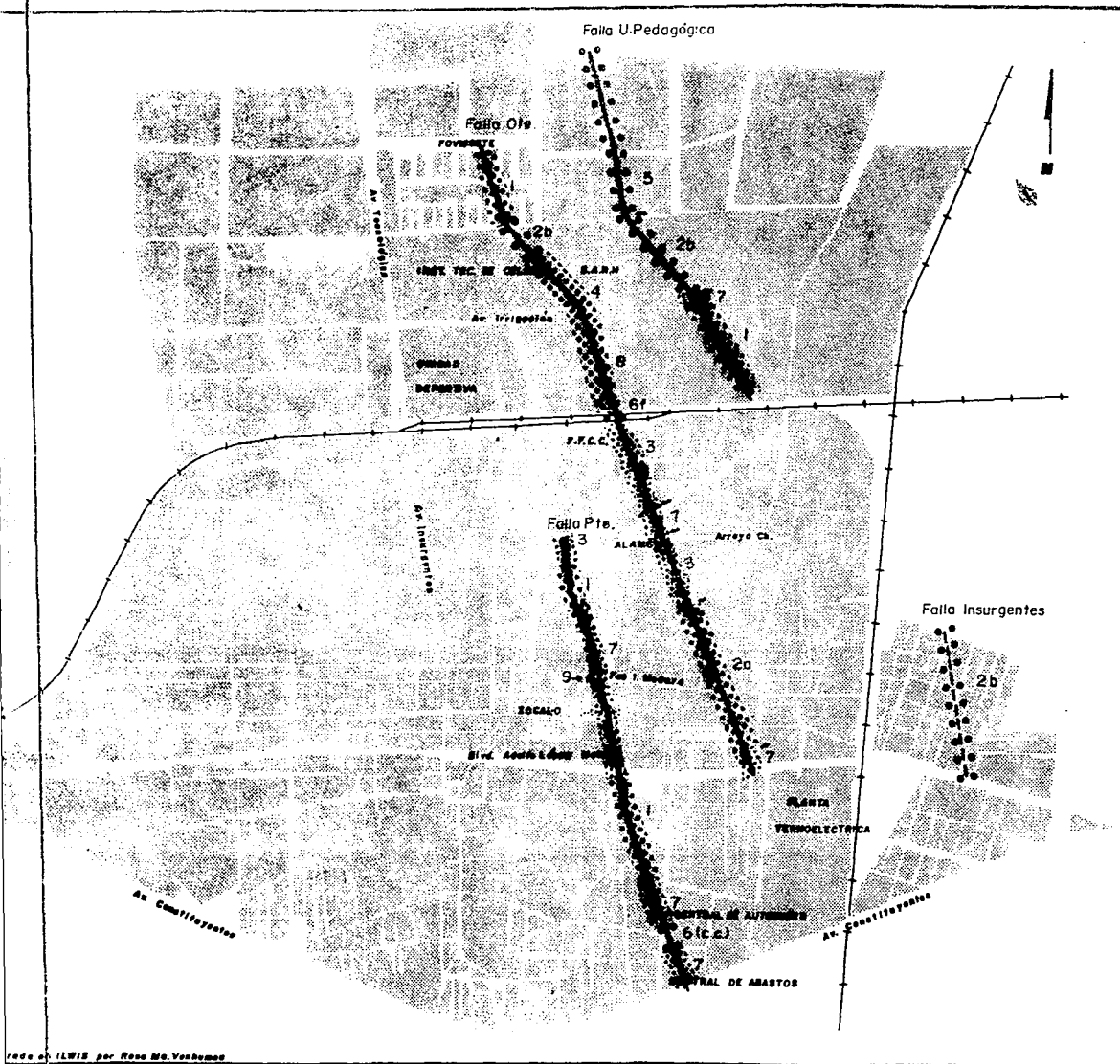
Construyó: Alvaro Gerardo Palacio Aponte	Escala 1: 17,500
	Mapa No. 2
	Fecha: abril, 1994

FALLA DE ORIGEN



Base elaborada en ILWIS por Rene M. Vanhems

FALLA DE JUANES



**VALOR ASOCIADO AL USO DEL SUELO  
EN EL ÁREA DE AFECTACIÓN.**

- VALOR**
- Alto
  - Medio
  - Bajo
- USO DEL SUELO**
- 1 Habitacional media
  - 2 Habitacional popular a. zona antigua  
b. zona moderna
  - 3 Habitacional residencial
- Servicios**
- 4 Administrativo
  - 5 Recreacional
  - 6 Transporte público- Central camionera (c.c.)  
Ferrocarril (f.)
  - 7 Comercial
  - 8 Industrial
  - 9 Patrimonio cultural
- Ubicación de las fallas
- Trazo inferido de las fallas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

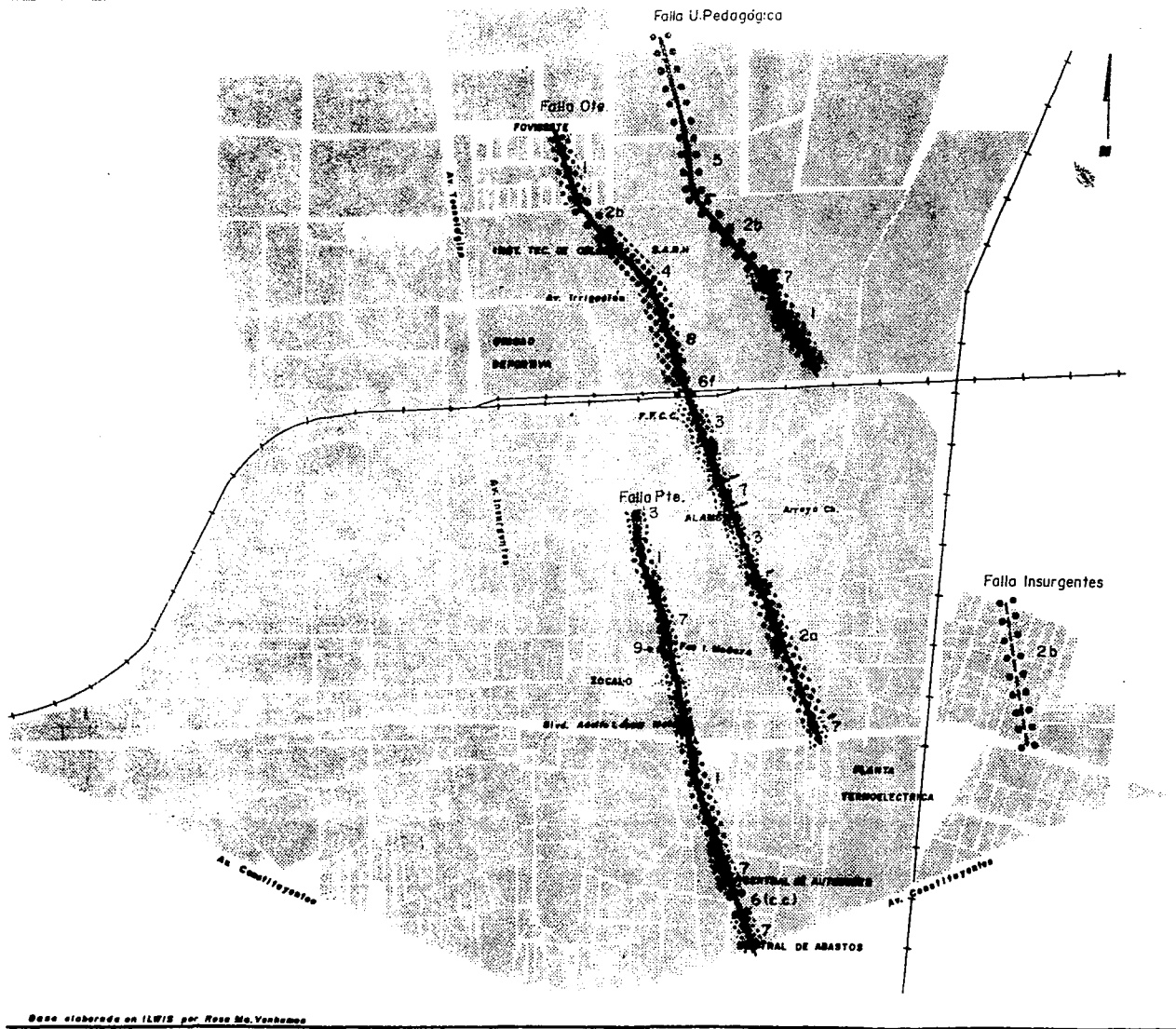
**GEOGRAFIA**

**RIESGOS NATURALES EN CELAYA, GTO.**

Construyó:	Escala 1:17,500
Alvaro Gerardo Palacio Aponte	Mapa No. 3
	Fecha: abril, 1994

reda de ILWIS por Rosa M. Vazhomas

FALLA DE CELAYA





**VALOR ASOCIADO AL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE AFECTACIÓN.**

**VALOR**

-  Alto
-  Medio
-  Bajo

**USO DEL SUELO**

- 1 Habitacional medio
- 2 Habitacional popular a. zona antigua  
b. zona moderna
- 3 Habitacional residencial
- Servicios
- 4 Administrativo
- 5 Recreacional
- 6 Transporte público- Central camionera (c)  
Ferrocarriil (f)
- 7 Comercial
- 8 Industrial
- 9 Patrimonio cultural

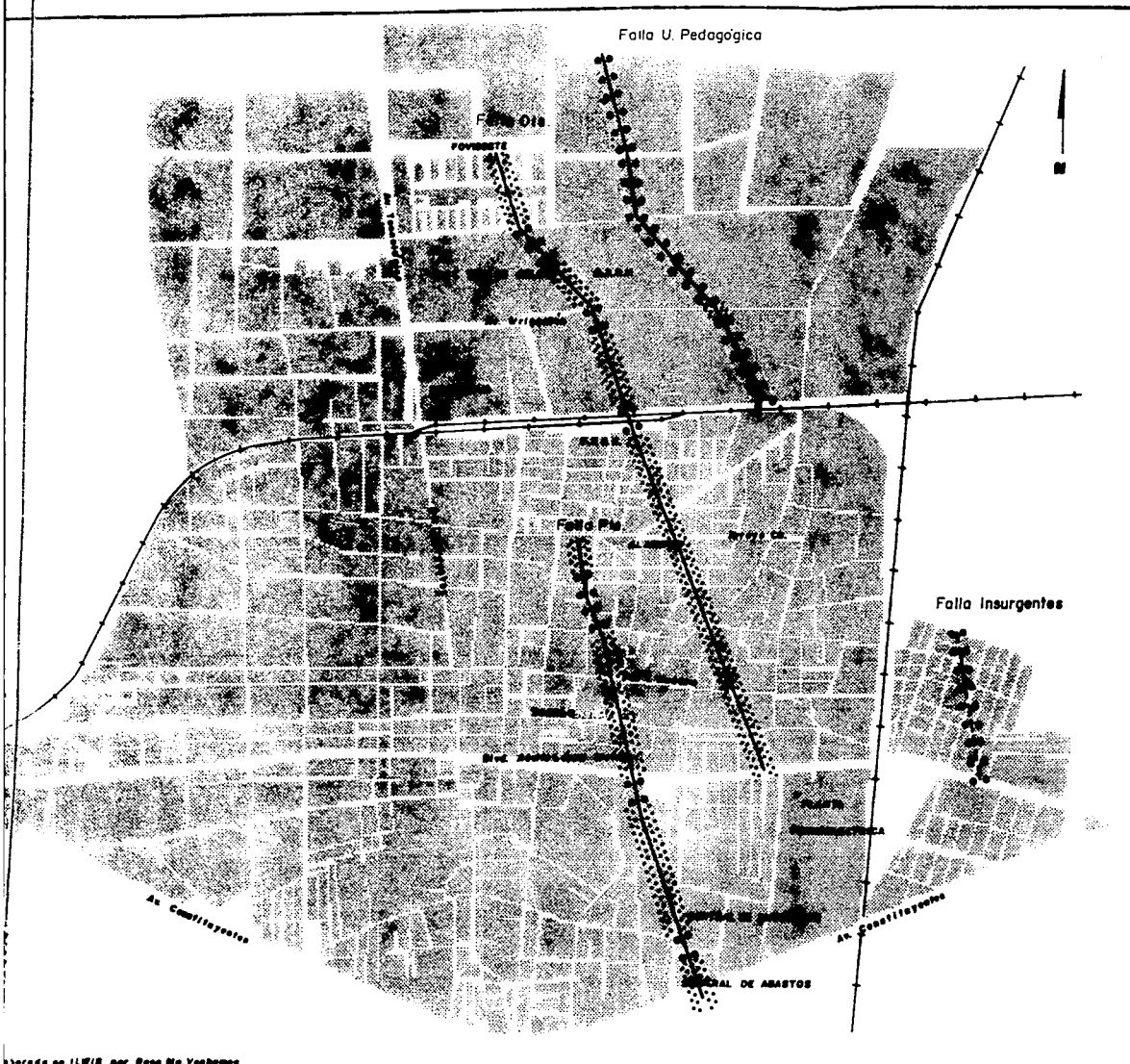
-  Ubicación de las fallas
-  Trazo inferido de las fallas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO



**GEOGRAFIA**

**RIESGOS NATURALES EN CELAYA**



Construyó: Alvaro Gerardo Palacios Aponte	Escala 1:10000
	Mapa No. 3
	Fecha: abril



## RIESGO

-  Medio
-  Bajo

Este mapa es resultado de la sobreposición ponderada de los mapas 1, 2, 3.

-  Ubicación de las fallas
-  Trazo inferido de las fallas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

GEOGRAFIA

RIESGOS NATURALES EN CELAYA, GTO.

Construyó:

Escala 1:17,500

Alvaro Gerardo Palacios

Mapa No. 4

Aponte

Fecha: abril, 1994



Falla U. Pedagógica

Falla Ota

POVEDRTE

ALVARO

ALVARO

ALVARO

Falla Pis

ALVARO

ALVARO

Falla Insurgentes

ALVARO

ALVARO

GENERAL DE ABASTOS

AL CONSTITUCIONALES

AL CONSTITUCIONALES

### RIESGO



Medio



Bajo

Este mapa es resultado de la superposición ponderada de los mapas 1, 2, 3.

— Ubicación de las fallas  
- - - Trazo inferido de las fallas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE Celaya

### GEOGRAFIA

### RIESGOS NATURALES EN CELAYA

Construyó:  
Alvaro Gerardo Palacio  
Aponte

Escala 1:10000  
Mapa N. 4  
Fecha: abril 1980

Bases elaboradas en ILMIS por René Mo. Vachonero

FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES

La conceptualización de riesgo a nivel aplicado, resulta ser provechosa en el diseño general del ensayo metodológico geosistémico. Permitió la integración espacial de las variables naturales y socioeconómicas involucradas en una situación de riesgo.

Las metodologías producto del estudio sistemático de los riesgos naturales, como la desarrollada en este trabajo, son un instrumento preventivo útil en la concepción de los planes de ordenamiento territorial. Permiten diferenciar los distintos grados de alerta y/o atención que requieren las zonas expuestas a la amenaza de un agente o fenómeno perturbador de origen natural o antropo-natural.

En el estudio de los riesgos naturales es indispensable orientar el conocimiento y la técnica de las ciencias naturales y sociales hacia la forma de solucionar los problemas reales. En este trabajo se ordenaron sistemáticamente las contribuciones de las distintas disciplinas, logrando su integración teórica y cartográfica a través de la metodología. Se comprobó al mismo tiempo la importancia de los enfoques inter y transdisciplinarios.

El planteamiento general de la metodología reconoce variables tipificables que se pueden aplicar a todos los fenómenos perturbadores en su concepción y entendimiento general. Sin embargo, éstas no son necesariamente reconocibles para la solución a detalle de la dinámica específica de cada fenómeno. Lo anterior significa que el alcance de las variables típicas en ocasiones es limitado.

Por otra parte, el uso de tipologías es útil para el reconocimiento e identificación de fenómenos perturbadores y sociosistemas afectables en regiones amplias o incluso a nivel nacional, pero a nivel local es necesario precisar subdivisiones.

Para que la metodología sea operativa al 100% requiere de gran cantidad de información y del replanteamiento de secuencias metodológicas alternativas que respondan a las causalidad y dinámica particular del o los fenómenos naturales en estudio. Sin embargo, el considerar muchas variables en el estudio del geosistema perturbador le da flexibilidad (versatilidad) a la metodología. La posibilidad de disponer indistintamente de una u otra variable susceptible de ser

cartografiada permite, en el caso de no disponer de toda la información, reorientar el estudio a partir de las variables en las que sí se tengan datos.

Al aplicar la metodología, en la parte de valor, fué notoria la ausencia de un tratamiento sobre la percepción del riesgo por parte de los distintos estratos socioeconómicos de la población de Celaya. Por tanto es necesario incluir en la metodología la concepción mental (mapas mentales) y de la capacidad de respuesta que los pobladores tienen ante la presencia de un fenómeno perturbador.

Dentro del tratamiento del análisis temporal dentro de la metodología, se observó que en algunos fenómenos los tiempos de impacto son prolongados o su dinámica experimenta un proceso de extinción, por lo que no es posible establecer periodos de recurrencia sino más bien diferenciar tiempos y tipos de impacto. Tal es el caso de la subsidencia en la ciudad de Celaya, en donde los hundimientos son parte de un proceso en desarrollo sobre el que aún no hay indicios de actividad anterior al tiempo histórico registrado. Por tanto el análisis de frecuencia no es aplicable al comportamiento temporal de todos los fenómenos.

Cuando se disponga de información suficiente para configurar a detalle la peligrosidad del fenómeno en su comportamiento espacial y temporal, se deben elaborar mapas de tendencias en peligrosidad y riesgo para dicha ciudad. En éstos se pueda plasmar y diferenciar la dinámica del fenómeno tanto en su crecimiento vertical (fallas) como en su movilidad horizontal, logrando así ubicar zonas de afectación potencial inmediata y zonas susceptibles de ser afectadas a corto plazo. Son aplicables a fenómenos en donde el tiempo de impacto es prolongado y de avance gradual. Estos mapas no son considerados en la metodología pero con algunas modificaciones se pueden realizar.

En este trabajo no hay un análisis cuantitativo, no obstante, las apreciaciones semicuantitativas y cualitativas son muy útiles en el proceso de evaluación del riesgo. Permiten suplir las carencias de información numérica precisa y dan un muy buen acercamiento a la realidad de las situaciones de riesgo. Si la ponderación y pesaje se ajusta a criterios lógicos y comprobables, su aplicación es válida.

Finalmente la aplicación concreta de la metodología a los estudios de caso siempre requerirá adaptaciones que respondan a procesos de dinámica territorial específica.

## BIBLIOGRAFÍA

Alexander David, 1991. Applied Geomorphology and the impact of Natural Hazards on the Built Environment. En: Natural Hazards 4. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 57-80.

Aguilar Sánchez, Genaro. 1993. Las regiones agrícolas de Guanajuato. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo.de México. México. 318 p.

Avila Sánchez, Héctor. 1983. La industria como factor de integración regional en el Bajío, Guanajuato. Tesis de licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D.F. 342 p.

Bertalanffy Ludwig Von, 1986. Teoría general de los sistemas. Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 311 p.

Bolós María de. 1992. Manual de ciencia del paisaje; teoría, métodos y aplicaciones. Colección de Geografía. Masson, S.A. Barcelona, España. 273 p.

Booth B., 1979. Assesing volcanic risk. Journal of Geology. Vol. 136. London, Great Britain. pp. 331-340.

Burton Ian, Robert W. Kates, Gilbert F. White, 1978. The Environment as Hazard. Oxford University Press. New York, USA. 240 p.

Burton y Kates, 1964. The perception of natural hazards in resource management. Natural Resources Journal. No. 3 (3).pp. 412-441.

Capel Horacio.1973. Percepción del medio y comportamiento geográfico. En: Revista de Geografía. Volumen II. Números 1-2. Enero-Diciembre. Depto. de Geog. de la Universidad de Barcelona, España. pp. 58-147.

Capel Horacio y Urteaga Luis. 1991. Las nuevas geografías. Salvat editores. Barcelona, España. pp. 62-67.

Calvo García-Tornel, Francisco. 1984. La Geografía de los riesgos. Geocrítica 54. Noviembre. Universidad de Barcelona. Barcelona, España. 39p.

Chorley J. Richard, 1973. Nuevas tendencias en Geografía. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, España. 506 p.

Clark, M. y J. Herington. 1989. "The role of environmental impact assessment in the planning process". Mansell Publishing Limited: Londres, New York.

Cooke R. U., Doornkamp J. C., 1978. Geomorphology in Environmental Management. An introduction. Clarendon Press. Oxford, Great Britain. 413 p.

Derrick Sewell W. R., Foster Harold D., 1976. Environmental risk: Management strategies in the developing world. En: Environmental Management. Vol. 1. No. 1. Springer-Verlag, New York, Inc. USA. pp.49-59.

Dominguez Corona, Eduardo e Izaguirre Mendoza Miguel. 1988. Monografía: Geografía, gentes y actualidad del municipio de Celaya, Gto. Ediciones del H. Ayuntamiento. Celaya, Gto. México. 178 p.

Ducci Ma. Elena. 1989. Introducción al urbanismo (conceptos básicos). Ed. Trillas, S.A.. México D.F. 94 p.

Doornkamp John. 1989. Hazards, Chapter 7: Earth Science Mapping. Mc. Call, Joseph and Brian Marker (Editors). Graham and Trotman. London, Great Britain. pp. 157-173.

Fanthou Thierry, Gambier G., 1991. Un Atlas des Risques Majeurs dan les Hates-Alpes. En Bull Assoc. Géogr. Frac. Paris, France. pp. 205-210.

Faugères Lucien, 1991. La Géocynétique, Géo-science du Risque. En: Bull. Assoc. Géogr. Franc. Paris, France. pp.179-193.

Fournier E. M., 1979. Objectives of volcanic monitoring and prediction. En: Journal of Geology Society. Vol. 136. London, Great Britain. pp. 321-326.

Gelman O., 1979. El enfoque sistémico para estudiar desastres. En: Boletín Instituto de Ingeniería. Vol. V No. 14. UNAM. pp. 1-2.

Gelman O., Macías Santiago, 1982. Aspectos metodológicos de la elaboración y uso de modelos en el pronóstico de fenómenos destructivos. En: Boletín Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas. Año XII. Octubre, Noviembre, Diciembre. No. 68. pp.14-52 .

Gelman O., Macías Santiago, 1983. Conferencia mundial de sistemas. Resúmenes extendidos. 11 al 15 de julio. Caracas, Venezuela. pp. 1-5.

Gómez Pompa. 1976. El ejido y la selva tropical húmeda: una contradicción ecológica y social. En : Regeneración de selvas. INIREB. C.E.C.S.A. México D.F. pp. 641-671.

Hewitt K., 1983. The idea of calamity in a technocratic age. En: Hewitt, K. ed. Interpretations of Calamity. Unwin-Hyman, London. pp. 3-32.

INEGI. 1991. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Estado de Guanajuato, México.

INFRAPLAN/Land Plan Neth., 1980. An approach to urban risk assesment. For disaster mitigation planning. En: AGID News. Official newsletter of Association of geoscientist for international development. No. 56. pp. 28-32.

Júarez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso. 1972. Mecánica de suelos; fundamentos de la mecánica de suelos. Tomo I. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 443 p.

Krynine D. P., Judd W. R., 1972. Principios de Geología y Geotecnia para ingenieros. 3a. edición. Editorial Omega. Barcelona, España. 829 p.

Laforge C. y Thouret J. C. 1991. Contribution à la méthode d'évaluation des risques dans les villes des PVD (Ibague, Colombie). En: Bull. Assoc. Géogr. Franc. Paris, France. pp. 213-224.

Lechat M.F. 1990. The international decade for natural disaster reduction : background and objectives. En: Disasters. Volume 14, No. 1. Great Britain. pp.1-6.

Martín del Pozzo A. L., 1989. El volcán de Colima: Un estudio sobre el riesgo. En: Litósfera, Vol. 2 No. 1. UNAM. México D.F. pp. 43-55.

Mateo Rodríguez, José. 1984. Apuntes de geografía de los paisajes. Universidad de la Habana. Facultad de Geografía. Cda. de la Habana. Cuba. 470 p.

Maskrey Andrew (compilador), 1993. Los desastres no son naturales. La RED (Red de estudios sociales), ITDG (Intermediate Technology Development Group). Tercer Mundo Editores, Colombia, 166 p.

Mc. Call, Joseph and Brian Marker (Editors), 1989. Earth Science Mapping. Graham and Trotman. London, Great Britain. Chapter 7, Hazards. John Doornkamp. 268 p.

Palm R. 1990. Natural Hazards: An integrative framework for research and planning. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. 184 p.

Panniza Mario. 1991. Geomorphology and seismic risk. En: Earth-Science Reviews, 31. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. pp. 11-20.

Ramos, Sergio. 1972. Urbanización y servicios públicos en México. Instituto de Investigaciones Sociales. UNAM. México. 192 p.

Rojas Bustamante Irma Alicia, 1988. Proposición metodológica para el análisis de la geografía de los riesgos. Tesis de Licenciatura. Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 187 p.

SARH, INIFAP Centro de investigaciones forestales y agropecuarias de Guanajuato, 1990. Análisis de la problemática del agua y perspectivas para la modernización de su uso en la agricultura de Guanajuato. Memoria. Celaya, Gto. 5 al 7 de diciembre de 1990. Campo experimental Bajío, Celaya, Gto. pp. 1-9.

Scheidegger Adrian E., 1975. Physical Aspects of Natural Catastrophes. Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam. Netherlands. 289 p.

Secretaría de Gobernación. 1991. Atlas Nacional de Riesgos. Dirección General de Protección Civil. México D.F. 121 p.

Serrat Viñas Carolina. 1992. Catástrofes naturales y antropogénicas. Búsqueda de un enfoque en geografía. Tesis de Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 162 p.

Still Well Daniel H., 1992. Natural Hazards and Disasters in Latin America. En: Natural Hazards 6. No. 2. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 131-159.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1985. Fallamiento de terrenos en Celaya. México D.F. 50 p.

Terán P. José Luis, Mondragón M. Othoniel y Aguilar G. Mariano. 1978. El subsuelo de la ciudad de Celaya, Gto. En: IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos y Comisión Federal de Electricidad. Tomo I. pp. 9-14.

Trujillo Candelaria Jorge A. 1991. Fallamiento de terrenos por efecto de la sobreexplotación de acuíferos en Celaya, Gto. XXIII Congreso Internacional, Sobreexplotación de Acuíferos. Tomo I. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Islas Canarias, España. pp. 175-178.

Turner, B.A. 1976. The development of disasters: a sequence model for the analysis of the origin of disasters. The Sociological Review 24(4), pp. 753-774.

UNDRO. 1979. "Natural disasters and vulnerability analysis". Report of experts group meeting. Geneva, julio.

Valverde Carmen, García Amaral Ma. Luisa, Tamayo de Ham Luz Ma. 1990. Metodologías para analizar la vivienda en relación con la desigualdad social. En: Investigaciones Geográficas, boletín del Instituto de Geografía. No. 21. UNAM. pp. 113-123.

Vivó Escoto, Jorge A. 1979. Sobre experimentos en los huracanes. En: Anuario de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. pp. 447-455.

Verstappen Herman Th. 1992. Requerimientos de la información temática en la concientización de amenazas naturales y la mitigación de riesgos. En: 1er Simposio internacional sobre sensores remotos y sistemas de información geográfica para el estudio de los riesgos naturales. Bogotá, Colombia. 14 p.



Wallace Akin, et. al, 1961. Papers on flood problems. Gilbert F. White (editor). University of Chicago, USA. 228 p.

Ward Peter, 1976. In search of a home: social and economics characteristics of squatter settlements and the role of self-help housing in Mexico. Tesis profesional de doctorado, Universidad de Liverpool. Gran Bretaña.

Whittow, 1988. Natural Hazards-Adjustment and Mitigation. Horizons in Physical Geography. Caps. 3, 4. London. Great Britain.

Wijkman, Anders y Lloyd Timberlake. 1985. Desastres naturales: ¿fuerza mayor u obra del hombre?. Earthscan.pp. 31.

Wilches-Chaux G., 1989. Desastres, ecologismo y formación profesional. Herramientas para la crisis. Servicio nacional de aprendizaje. Popayán, Colombia.