

Recursos y amenazas naturales

*Michel Hermelin
Representante de América latina
a la Comisión para la Planificación
Ambiental de la Unión Internacional
de Ciencias Geológicas*

3

Introducción

Hace 10 años, el desastre de Armero-Chinchiná, además de producir 23.000 víctimas y de causar cuantiosos daños, tuvo un impacto de gran trascendencia sobre la forma en la que los colombianos consideramos nuestro entorno natural.

Los habitantes precolombinos habían logrado una convivencia pacífica con la naturaleza, expresada en sus creencias religiosas. En ciertas zonas del país, como las tierras bajas de San Jorge y del Cauca, la densidad de la población pudo haber sido muy alta. (Hermelín en prensa).

La dominación española significó la desaparición de la casi totalidad de las culturas indígenas. El europeo, con medios técnicos cada vez más importantes, inició su dominio sobre la naturaleza, que aún en la actualidad se traduce por una depredación sistemática: deforestación, destrucción de suelos, colmatación de lechos de ríos, impactos en el litoral y en los arrecifes, sin contar con la contaminación creciente.

A raíz de las conferencias internacionales de Montreal y Estocolmo de principios de la década de los años setenta, se elaboró en Colombia el Código de Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Sin embargo, esa visión proteccionista del entorno natural se fue modificando a raíz de la racha de desastres naturales de la década siguiente: Popayán, 1983; Armero, 1985; Villa Tina, 1987; San Carlos, 1990; Murindó, 1992; Tapartó, 1993. Esa lista, desafortunadamente larga, debe ser tomada como una adver-

tencia de la naturaleza contra la ocupación de la tierra cada vez más intensa y cada vez más irreflexiva.

Se plantea entonces la necesidad apremiante de obtener un conocimiento adecuado de los recursos y de las restricciones del planeta, con el fin de hacer un uso racional de él por medio de una planificación, que al tener en cuenta los aspectos mencionados, se podrá llamar ambiental. Desafortunadamente sigue siendo demasiado fuerte en este país la tendencia a ignorar las restricciones al uso del territorio que generan las amenazas naturales o a tomar decisiones de utilización que comprometen en forma irreversible el territorio empleado.

Dentro de este contexto el papel de las ciencias de la tierra ha ido enriqueciéndose en el tiempo. Nació la geología, su precursora, como simple auxiliar de prospección de recursos minerales. Con el tiempo, esa función aún existe, se ha ido ampliando en forma acelerada para llegar a su alcance actual, que se resumen a continuación:

- Conocimiento del planeta tierra, su origen, evolución y procesos
- Identificación de recursos y contribución a su explotación racional
- Identificación de limitantes para el aprovechamiento de la superficie de la tierra (amenazas naturales) y su mitigación.
- Participación en el proceso de ordenamiento racional del territorio (planificación física)

Recursos naturales

Los recursos pueden ser clasificados de diversas maneras, y una de ellas aparece en la figura 1. Es relativamente nuevo el concepto de recursos planetarios, aunque las actuales polémicas acerca del posible cambio climático han hecho tomar conciencia acerca de la importancia de una concertación a nivel mundial para asimilar sus eventuales consecuencias.

Es de anotar que la distribución de los recursos en las diferentes categorías como no renovables no siempre es satisfactoria. Por ejemplo las aguas subterráneas y los suelos tradicionalmente considerados como recursos renovables, pueden llegar a desaparecer en caso de explotación sin control

La superficie de la tierra, considerada como recurso, puede ofrecer varias alternativas para su uso; en la actualidad, las mayores demandas son las siguientes:

➤ **Agricultura:** es importante señalar las tendencias inversas en los países industriales y en los países en vía de desarrollo: en los primeros la demanda de tierras para usos agropecuarios tiende a disminuir por los enormes rendimientos alcanzados gracias a la tecnología moderna, mientras que en los segundos la demanda sigue en aumento por el incremento de población y por manejos agrícolas primitivos.

➤ **Urbanización:** la tendencia a nivel mundial de aumento en la proporción de la población que vive en las ciudades ha producido una demanda acelerada de terrenos para urbanización.

➤ **Creación:** esa modalidad de ocupación es relativamente nueva pero ha ido en incremento paralelo con el aumento del nivel de vida.

➤ **Eliminación de desechos** ("disposición"). Este tipo de demanda también es reciente y se relaciona con la llamada civilización de consumo. Las decisiones al respecto deben tomarse en función de la naturaleza de los desechos domésticos biodegradables hasta residuos tóxicos altamente peligrosos y residuos radioactivos. Estos últimos conforman en los países industriales uno de los rompecabezas más complicado para las autoridades. Afortunadamente la práctica de dudosa ética que consistía en exportar hacia los países subdesarrollados los residuos tóxicos parece estar bajo control.

La enumeración anterior no es exhaustiva. Sin embargo plantea la necesidad de responder a la demanda de tierras o a su uso inadecuado.

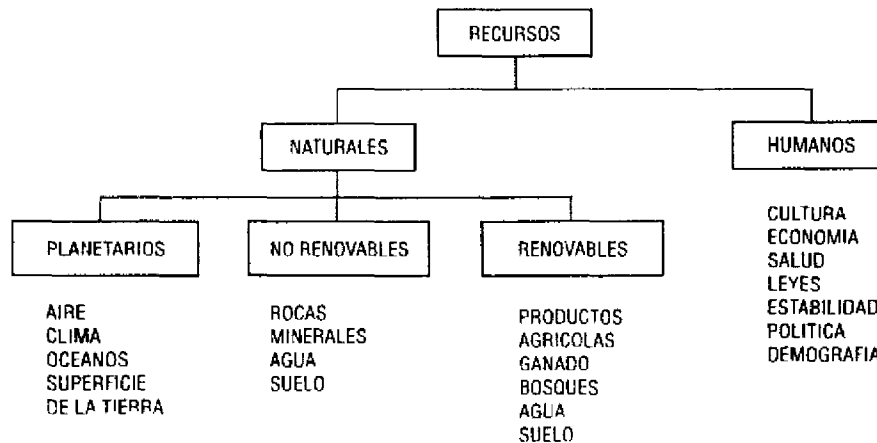
Los siguientes caminos son obvios:

➤ **Prevención:** al determinar con anterioridad la aptitud de un terreno específico, se puede proceder a un uso racional.

➤ **Mitigación:** si el uso escogido produce algún tipo de impacto negativo, se puede determinar previamente dicho impacto y proceder a reducirlo a un máximo

➤ **Rahabilitación:** muchas veces el uso previo que se le dió a un terreno provocó serios daños que es necesario compensar por medio de una recuperación. Ese proceso es naturalmente el más indeseable y suele presentar un costo a veces alto.

Figura 1
Clasificación de los Recursos
(Adaptado de Coates, 1981)



Tomado de Hermelin, M., 1191 a

Amenazas y riesgos naturales

Estos términos han sido definidos previamente con precisión (Cardona, 1990) y bastaría con recordarlos rápidamente:

- Se llama amenaza a la posibilidad de ocurrencia en un lapso de tiempo determinado y para un lugar específico de un evento natural que puede tener eventualmente consecuencias destructivas. Su definición debe basarse en el conocimiento de:

- Se recurrencia en el tiempo (estadístico o probabilístico)

- Su magnitud. Una amenaza puede expresarse por lo tanto por medio de un mapa.

- La vulnerabilidad física es la medición de la respuesta que ofrece una estructura o, una construcción ante una amenaza determinada. Nótese que la vulnerabilidad ante una inundación que ante sismo.

- Finalmente se denomina riesgo el producto de los dos parámetros anteriores.

La figura 2 muestra en forma resumida los conceptos, en ese caso ante un movimiento de masa. Se puede concluir que la realización de un mapa de riesgo es una actividad costosa, que exige una justificación muy clara.

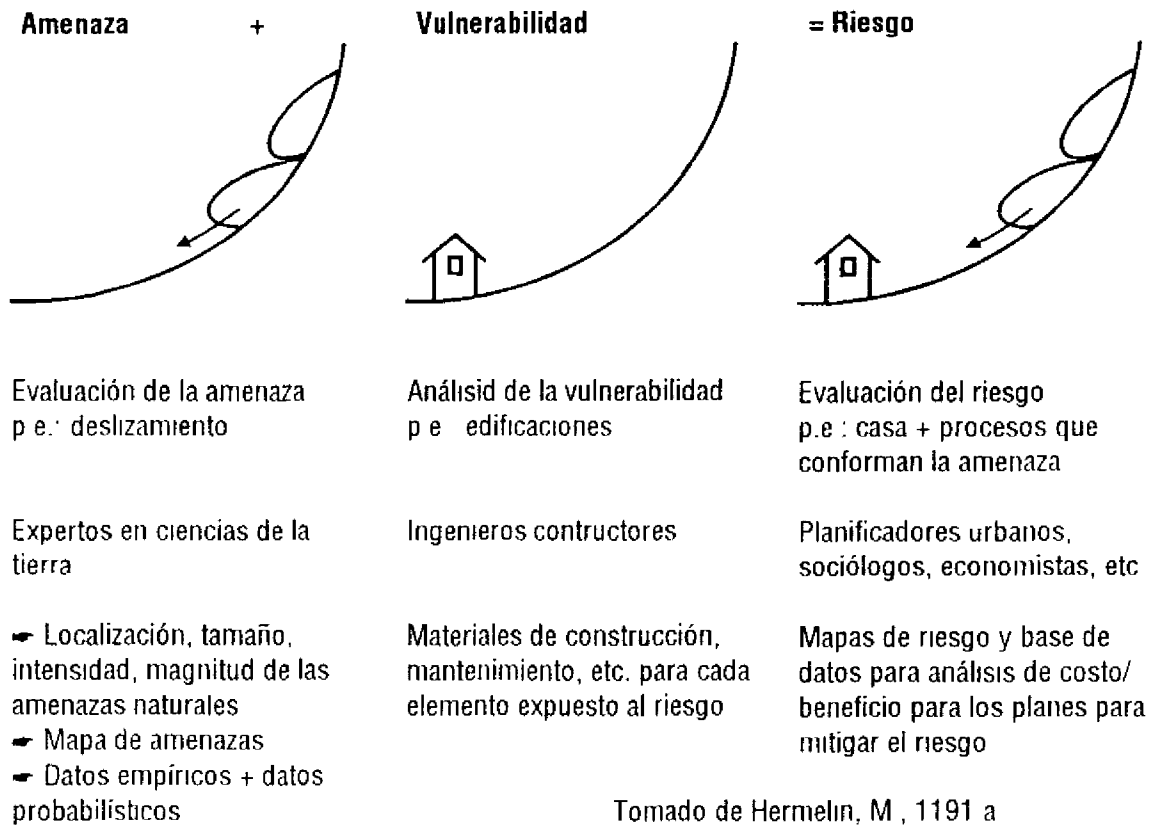
Varias consideraciones son necesarias acerca de los mapas de amenaza:

- El costo de su elaboración debe ser razonable

- El tiempo que tome su preparación no debe ser excesivo

- Deben ser confiables. Su calidad debe permitir su aprovechamiento en estudios o trabajos posteriores.

Figura 2
Proceso de evaluación de riesgo
(Adaptado de Infraplan/Landplan, 1988)



Tomado de Hermelin, M., 1991

Riesgos naturales en Colombia

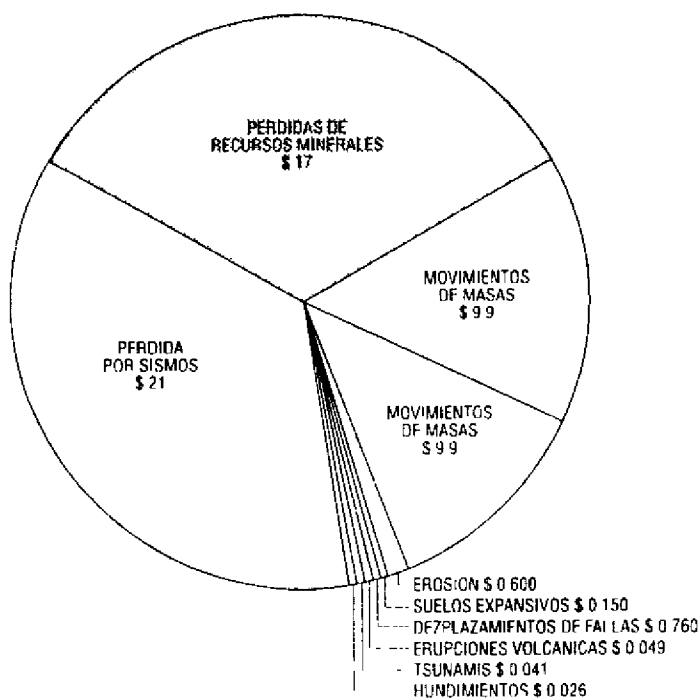
Colombia es un país ecuatorial. Su clima es esencialmente húmedo debido a la zona de convergencia intertropical. Su historia geológica y su situación actual en la intersección de tres placas tectónicas mayores explican sus altas montañas, la presencia de volcanes y la ocurrencia permanente de sismos. Las montañas a su vez dan lugar a una gran variedad de climas distribuidos en forma de pisos altitudinales.

Los principales riesgos geológicos que se derivan de la situación anterior son:

- Volcanismo
- Sismicidad, con maremotos
- Erosión, principalmente por movimientos de masa pero también como erosión superficial
- Inundaciones
- Ciclos tropicales

Además de los anteriores, que serán discutidos posteriormente en cuanto a su

Figura 3
Proceso de evaluación de riesgo
(Adaptado de Infraplan/Landplan, 1988)



Amenazas geológicas en California calculadas en 1970 por un periodo de 30 años (1970-2000), con la magnitud de las pérdidas calculadas en miles de millones de dólares. (Alfors et al, 1973)
 Tomado de Hermelin, M., 1991 a

prevención y mitigación, se presentan otros que se relacionan en mayor o menor grado con la actividad humana:

- Erosión y sedimentación continentales y costeras
- Ruptura de presas artificiales
- Hundimientos (subsistencia) por actividades mineras
- Riesgos mineros
- Agotamientos de reservas mineras (Fig. 3)

- Contaminación de aguas y suelos por actividad industrial y urbana.

Una síntesis de los principales riesgos geológicos aparece en la Fig. 4.

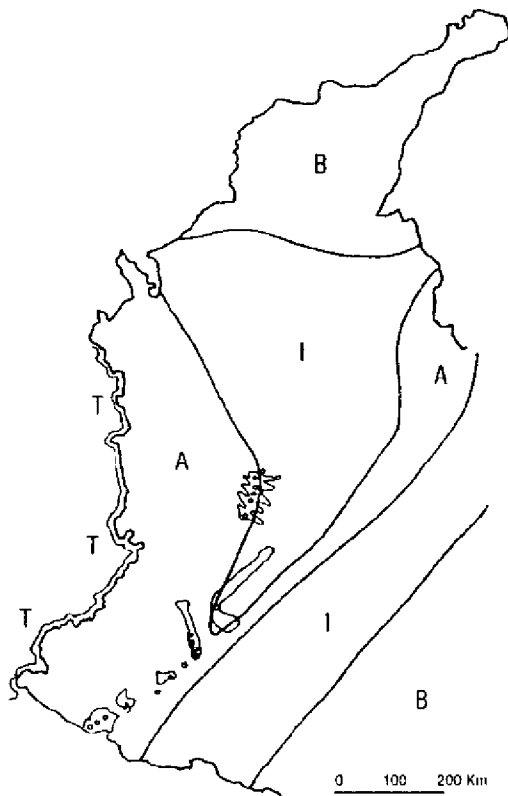
Por otra parte una síntesis de los riesgos de amenaza sísmica, volcánica y por tsunamis, de inundaciones y de deslizamientos tomada de Velásquez & Meyer (1990) en las figuras 5, 6 y 7 respectivamente.

Figura 4
Principales riesgos geológicos:
Efectos, Predicción y Prevención
(Modificación de Ayala, 1988)

RIESGO GEOLOGICO	AREA DE ACCION	DINAMICA	VICTIMAS	PREDICION		PREVENCION
				Especial	Temporal	
INTERNOS						
Volcanes	R-C	r-mr	si	si	posible	RU,PE
Sismos	R-C	mr	si	R	rara	E,RU,PE
Tsunamis	R-C	r-rm	si	si	si	RU,PE
EXTERNOS						
Movimientos de masa (1)	L	l-mr	si	si	factible	E, RU, PE
Hundimientos (1)	L	l-mr	pocas	si	difícil	RU, PE
Licuefacción	L	mr	si	si	rara	E, RU
Inundaciones (geoclimáticas) (1)	L-R	r-mr	si	si	factible	E, RU, PE
Erosión						
Sedimentación (1)						
Continental	R-C	l	si	si	si	E, RU
Costera	R-C	l	no	si	si	E, RU
ARTIFICIALES						
Ruptura de presas y escombros	L	mr	si	si	rara	E, RU
Mineros	L	mr	si	factible	a veces	E
Riesgos Geotécnicos	L	mr	si	factible	a veces	E, RU
Agotamiento y pérdida de recursos no renovables	L-C	l	no	si	si	E,RU
Contaminación agua y suelo	L-C	l	si	si	si	E, RU
L = Local		l = Lento		E = Medidas estructurales		
R = Regional		r = Rápido		RU = Reglamentación usos de la tierra		
N = Nacional		mr = Muy rápido		PE = Plan de emergencia		
				(1) = Pueden ser naturales o artificiales		

Tomado de Hermelin, M , 1191 a

Figura 5
Amenazas sísmicas, volcánica
y por tsunamis

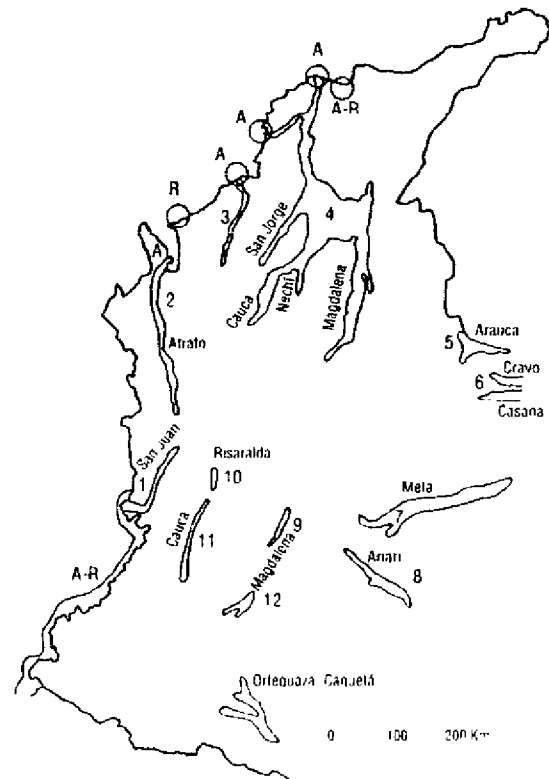


- A. Amenaza sísmica alta
- I Amenaza sísmica intermedia
- B Amenaza sísmica baja
- T Amenaza por tsunami
- Mayor amenaza volcánica
- Otros volcanes activos

UNIVERSIDAD DEL VALLE
Observatorio Sismológico del Suroccidente -
OSSO

APROXIMACION A LOS DESASTRES EN
COLOMBIA
Tomado de Velasquez y Meyer, 1990

Figura 6
Inundaciones

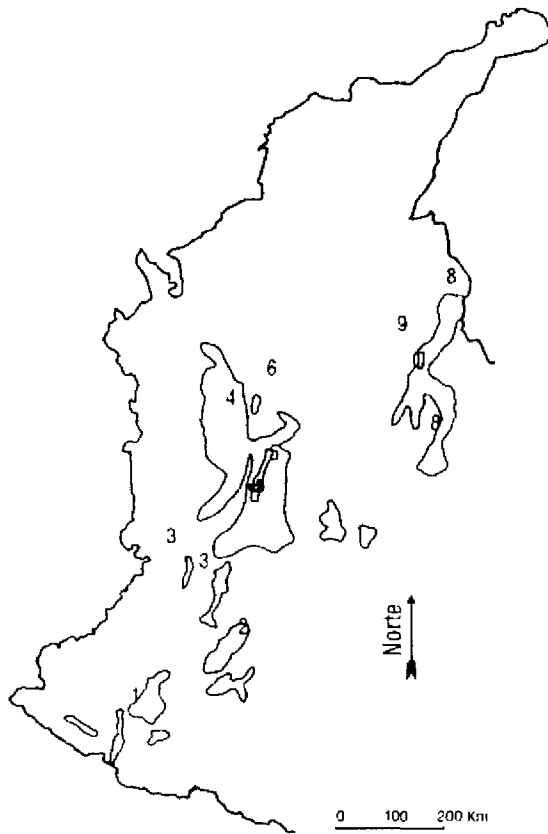


- A. Aireación de playas
- R. Recesión de playas

UNIVERSIDAD DEL VALLE
Observatorio Sismológico del Suroccidente -
OSSO

APROXIMACION A LOS DESASTRES EN
COLOMBIA
Tomado de Velasquez y Meyer, 1990

Figura 7
Deslizamientos



El clima

El clima de la tierra puede ser tomado como un verdadero ejemplo de recurso planetario: no le pertenece a nadie, pero en forma individual los países pueden contribuir a su deterioro. Por otra parte cualquier cambio afectará a cada una de las naciones del globo en forma variable: si bien los habitantes, al subir sus diques, podrán responder al aumento del nivel del mar, los habitantes de Bangla-Desh y de Nuaru (islas de Polinesia cuya máxima altura es del orden de 3m) no piensan lo mismo.

Es el efecto invernadero una verdadera amenaza?

El aumento del CO₂ en la atmósfera es una realidad aceptada, así como la del metano (Fig. 8). Sin embargo el aumento concomitante de la temperatura media del planeta y por lo tanto del nivel de los mares no es algo que la totalidad de la comunidad científica esté dispuesta a aceptar.

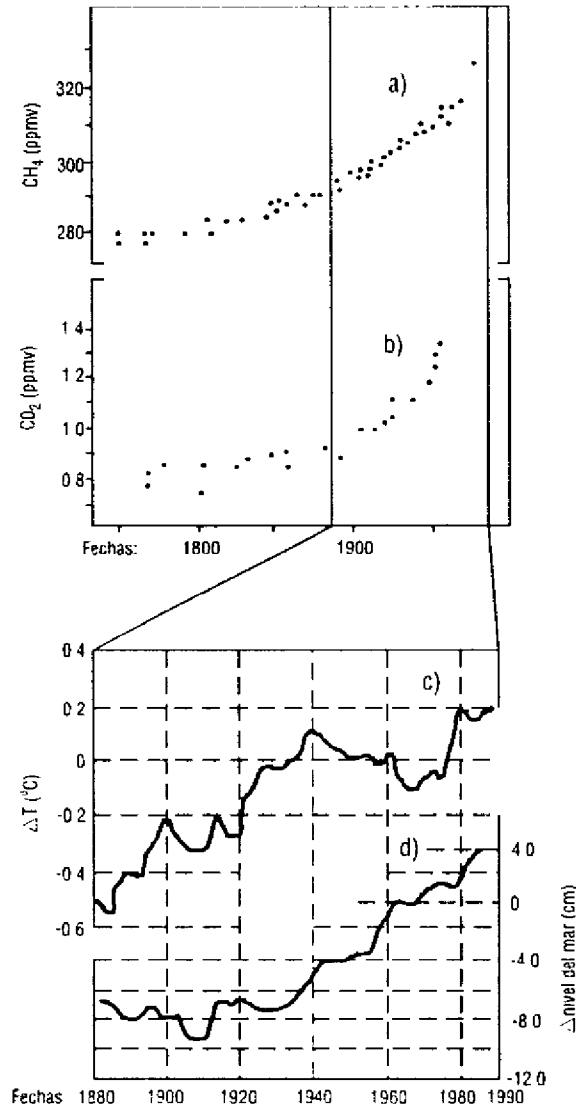
El debate está aún lejos de ser solucionado, ya que los científicos que asesoran a los responsables de la toma de decisiones se divide en dos grupos:

- Los que pretenden que aún faltan datos para tomar resoluciones drásticas.
- Los que sostienen que las medidas de reducción de contaminantes debe tomarse cuanto antes, dentro de pocos años puede ser tarde.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
Observatorio Sismológico del Suroccidente -
OSSO

APROXIMACION A LOS DESASTRES EN
COLOMBIA
Tomado de Velasquez y Meyer, 1990

Figura 8
El registro de los cambios globales
durante los últimos 150 años



a) y b). Concentraciones medidas en muestras de gases en el hielo de la W Antártida.
 c) y d): Variación de la temperatura y del nivel del mar. El valor 0 es el promedio para el periodo 1951-1970

Adaptado de IGBA Report 12 1990
 Tomado de Hermelin, 1992

La erosión

Bajo este término se engloban en el trópico húmedo dos tipos de fenómenos bastante diferentes:

a. La erosión superficial, que adquiere su más clara expresión en las zonas desprovistas total o parcialmente de vegetación. El movimiento de partículas finas de suelo o de roca se hace pendiente abajo por efecto del impacto de gotas de lluvia o por arraste en forma de lámina difusa o de corrientes concentradas de agua. El resultado es la destrucción, a veces irreversible, de los suelos, o por lo menos su empobrecimiento, que puede llegar a crear, en estado avanzado, un paisaje desolado de surcos y cárcavas profundas (las bad-lands de los norteamericanos).

Otra consecuencia, generalmente menos tenida en cuenta, es la sedimentación resultante, que puede tener consecuencias catastróficas sobre vías de comunicación, corrientes, cultivos o zonas urbanizadas localizadas aguas abajo de la zona afectada por la erosión.

La erosión superficial depende de varios factores bastante conocidos (pendiente, naturaleza del terreno y de los suelos derivados, aspectos climatológicos y meteorológicos, tipo de utilización de la tierra, medidas de protección) y existen varias fórmulas empíricas (poco comprobadas o calibradas en nuestro medio) para predecirla, como la "ecuación universal" de la Secretaría de Agricultura de Estados Unidos.

Los sistemas de prevención contra la erosión superficial que se han adaptado para zonas tropicales (Federación de Cafeteros) incluyen:

- Selección y rotación de cultivos
- Intercalación de barreras vegetales
- Cultivo de terrazas, método que ya fue utilizado por culturas pre-hipánicas
- Construcción de estructuras.

b. La erosión por movimientos de masa. Este tipo de fenómenos incluye los que en el lenguaje común se denomina "derrumbes" o "deslizamientos". Sin entrar a una clasificación detallada de los movimientos de masa o mejor de vertientes (Varnes 1978)

Se trata de eventos muy comunes en la zona montañosa de Colombia porque se combinan varios factores favorables:

- Pendientes empinadas
- Rochas muchas veces descompuestas en profundidad
- Aguas superficiales y subterráneas

Acompañados por los llamados elementos detonantes, como pueden ser las lluvias excepcionalmente fuertes, los sismos o la actividad humana.

Los movimientos de vertiente causan cada año en Colombia numerosas víctimas y cuantiosas pérdidas. Basta con recordar algunos nombres para darse cuenta de la importancia del fenómeno: Santa Elena (Medellín): 1954; Chirapotó (Río Cauca) 1971; Pereira, 1974; Quebrada Blanca (Carretera Bogotá-Villavicencio), 1988; San Carlos, Antioquia (1990); Murindó, 1992.

La prevención ante los movimientos de masa consiste en determinar las áreas más susceptibles y evitarlas.

Existen varios métodos cuya precisión y por lo tanto credibilidad están lógicamente en función directa del costo:

➤ Método empírico, basado en la observación directa de la estabilidad de las vertientes y en la ocurrencia observada en el terreno de movimientos de masa.

➤ Métodos empíricos semi cuantitativos, entre los cuales se pueden citar los de Varnes (1984), de Tomas Shuk (comunicación verbal) y los basados en el uso de sistemas de información geográfica (Westen & Alzate, 1990).

➤ Métodos analíticos, que se utilizan normalmente en ingeniería para determinar la estabilidad de taludes artificiales, pero que obviamente requieren de un conocimiento detallado de la topografía de las propiedades mecánicas de los suelos y de las rocas.

Los métodos de recuperación utilizados normalmente en ingeniería para la estabilización y adecuación de terrenos afectados por deslizamientos son ampliamente conocidos y no requieren mayores comentarios.

Inundaciones

Las inundaciones suelen ser provocadas por exceso de precipitaciones en una cuenca, por fusión rápida de hielo o de nieve o por rupturas de presas, tanto artificiales como naturales, en ese segundo caso formadas generalmente por deslizamientos en valles estrechos. Por otra el comportamiento hidrológico de un río depende tanto de las características de la cuenca y de su uso como de la metodología.

Existen varios métodos para predecir el comportamiento hidrológico de un río. El

más usual se basa en la construcción de una curva de frecuencia de inundaciones, que suele proyectarse hacia el futuro. Muchos usuarios sin conocimientos en hidrología asocian esa curva con un intervalo real de años, cuando realmente se trata de una simple proyección estadística. La elaboración de esas curvas implica la disponibilidad de datos hidrológicos y meteorológicos de varias décadas, condición desafortunadamente difícil de cumplir en un país como Colombia.

Los pasos para proceder a delimitar las zonas inundables comprenden:

- Análisis de datos meteorológicos e hidrológicos y su proyección
- Obtención de la topografía detallada de la llanura aluvial y del cauce del río
- Cálculo hidráulico de las cotas alcanzadas por la crecida preestablecida

Lógicamente este tipo de determinación es muy costoso y a pesar de las apariencias no es totalmente seguro, ya que depende de la extensión del registro pluviométrico e hidrológico. Existen otros métodos, más aproximados pero igualmente válidos, para determinar las zonas inundables:

- Fisiografía
- Edafología
- Desarrollo de la vegetación
- Histórico

Es recomendable tratar de usar una combinación de estos métodos.

Una vez determinadas las áreas inundables, les corresponde a los responsables del manejo del área poner en práctica esos conocimientos para evitar riesgos. Las medidas utilizadas suelen ser en dos categorías:

a. Métodos estructurales

- Canalización de crecientes
- Construcción de diques, aprovechamiento de diques naturales
- Construcción de presas de contención
- Construcción de terraplenes
- Diseño especial de edificaciones

b. Métodos no estructurales

- Leyes y reglamentación
- Zonificación oficial
- Códigos de construcción
- Evacuación de habitantes
- Compra de tierras por parte del gobierno
- Impuestos
- Avisos
- Políticas de seguros de propiedad

Una política de manejo integral de la cuenca basada en una utilización racional de las tierras puede tener eficiencia, pero en zonas montañosas es indispensable tener en cuenta además los métodos enumerados anteriormente.

Sismos

Los sismos se originan a lo largo de fallas geológicas: la energía acumulada en ambos labios de la falla se libera bruscamente, produciéndose ondas de diversos tipos que se propagan en todas las direcciones. Además de las vibraciones destructoras, los sismos también pueden producir:

- Maremotos o tsunamis
- Licuación de ciertos tipos de suelos
- Deslizamientos en terrenos con pendientes fuertes

La intensidad de un sismo, es decir el tipo de destrucciones que causa en un lugar determinado, es función de una serie de factores como son:

- Su magnitud (es decir una medida de la energía total desprendida)
- La distancia del hipocentro
- Las características de las ondas producidas
- El tipo de terreno del lugar: naturaleza y espesor
- La profundidad del nivel freático
- El tipo de construcciones expuestas

Los sismos son muy difíciles de predecir; sin embargo se han intentado varios métodos (Valdiri, 1986)

- Modelos estadísticos y matemáticos
- Estudios e interpretación de signos precursoros, como deformación del terreno, cambios en velocidades de las ondas, emisión de radon, comportamiento distinto de los animales, etc. El éxito de este último método ha sido muy variable.

Por otra parte la amenaza sísmica se determina:

- Por investigaciones históricas
- Archivos locales e internacionales
- Informaciones de los habitantes
- Evidencias geológicas
- Por determinación de la microcismicidad de las fallas

La prevención de los riesgos sísmicos se enfoca principalmente hacia:

- Disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones, como lo hace el Código Colombiano de Construcciones Antisísmicas (Ver figura No. 9)

➤ Establecer una zonificación de la amenaza sísmica y producir el reglamento de ocupación del suelo correspondiente.

➤ Prepar los paneles de emergencia necesarios

Erupciones Volcánicas

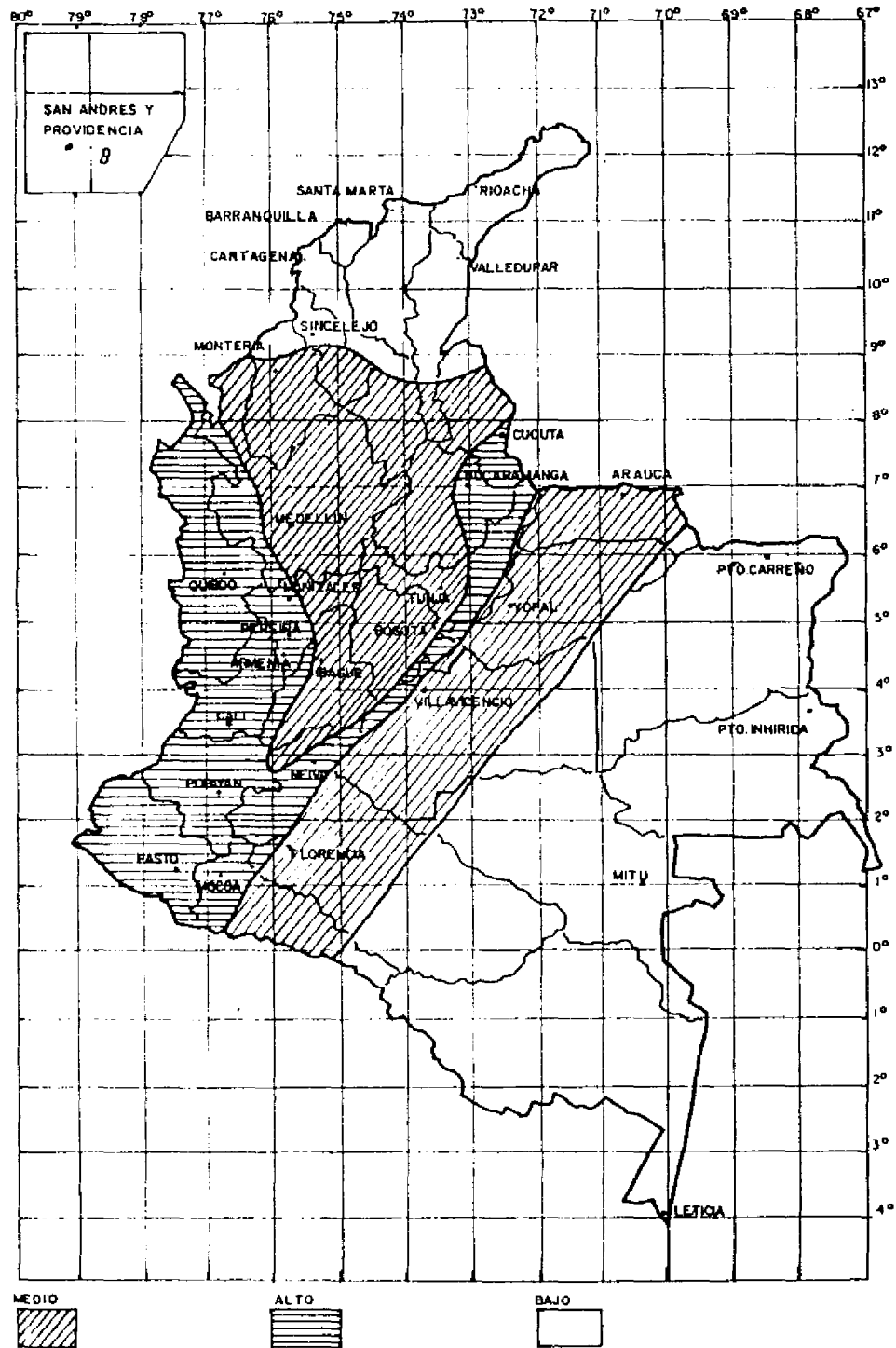
Los volcanes corresponden a manifestaciones externas de fenómenos ígneos originados en el interior de la tierra. Existen volcanes de varios tipos, cuyos extremos podrían caracterizarse por liberación de lava líquida sin mayor desprendimiento de gases hasta erupciones muy explosivas sin emisión de líquidos. Los principales efectos de las erupciones volcánicas son:

- Emisión de coladas de lava
- Emisión de piroclastos (proyectiles sólidos cuyo tamaño varía de bloques a polvo volcánico.
- Flujos piroclásticos, que son nubes densas y calientes cargadas de sólidos diseminados a altas temperaturas.
- Lahares, o flujos de lodo que, como en el caso de Armero-Chinchiná (1985), rodaban por la red de drenaje existente.
- Explosiones laterales
- Emisión de gases tóxicos

Si bien se pueden tomar algunas precauciones en caso de caída de piroclastos y aún eventualmente en el caso de coladas de lava, las otras manifestaciones volcánicas tienen efectos que son prácticamente imposibles de contrarrestar.

La medida que por lo tanto suele tomarse en regiones expuestas a amenazas volcánicas consiste en establecer una zonificación que permita mantener a los habitantes fuera de peligro.

Figura 9
Zonas de riesgo sísmico



Con el fin de predecir la inminencia de una erupción se usan métodos como los siguientes:

- Inclínometría
- Seguimiento sísmico
- Análisis de la composición química de gases
- Observación directa

La vigilancia de los volcanes está en Colombia bajo la responsabilidad de INGEOMINAS, por parte de sus observatorios localizados en Manizales y en Pasto (Carvajal, 1990).

Conclusiones

Lo anterior ha sido una revisión demasiado breve de las principales amenazas de origen natural que en Colombia han generado desastres. El país ha hecho enormes progresos en este sentido, a raíz de los numerosos golpes que le ha propinado la naturaleza. Es importante recalcar como conclusión que aún es de fundamental importancia avanzar en el conocimiento de las amenazas. Sólo así se lograrán reducir los desastres a los que está expuesto el país.

Referencias Bibliográficas

- Carvajal, C.A., 1990
Estado actual de los estudios para la mitigación de los riesgos volcánicos en Colombia.
- ACID Report No. 13: Environmental Geology and Natural Hazards of the Andean Region, p. 51-64.
- Cardona, O.D., 1990 Términos de uso común en manejo de riesgos
- ACID Report No. 13: Environmental Geology and Natural Hazards in the Andean Region, p. 587-593.
- Hermelin, M. 1991a, Introducción a la geología ambiental ACID Report No. 16. Environmental Geology and applied Geomorphology in Colombia, p. 3-20.
- Hermelin, M. 1991b, Geomorfología, medio ambiente y minería ACID Report No. 16. Environmental Geology and Applied Geomorphology Colombia, p. 89-113.
- Hermelin, M., 1992
La geología como elemento necesario para la evaluación de la Contaminación Atmosférica, Contaminación Ambiental, CIDI, UPB, v. 4 No. 23 p. 70-87.
- Hermelin, M., en prensa
Evolución del concepto de Medio Ambiente en Colombia. Memorias II Seminario Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano, II Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Pereira (1992). Tomo II.
- Valdiri, J.E., Editor, 1986
Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgos volcánicos. Memorias. Revista CIAF, V.I. (486 p). (399 p).
- Varnes, D.J. 1984
Landslide hazard zonation: a review of principales and practice UNESCO, paris.
- Velásquez, A. & Meyes, H., 1990.
Un ensayo de evaluación de las amenazas, de los riesgos y de los desastres en Colombia. ACID Report No. 13, Environmental Geology and Natural Hazards of the Andean Region, p. 547-580.
- Westen, C. J. van & Alzate, J.B. 1990
Mountain hazards analysis using a PC-bases GIS
ACID Report No. 13: Environmental Geology and Natural Hazards in the Andean Region, p. 527-536.