

GEOLOGIA Y CATASTROFES NATURALES

*La investigación geológica elabora
“mapas de amenazas” que son la base fundamental
para orientar los planes de desarrollo y evitar
las “catástrofes inevitables”*

AÑO TRAS año, en todo el planeta, la manifestación de algunos procesos geológicos naturales y los provocados o “disparados” por el hombre en la naturaleza causan miles de víctimas, daños en el medio ambiente y en los ecosistemas en tan sólo un instante, dejando profundas huellas en la sociedad y en su economía.

En la actualidad son muchos los lugares del planeta en donde se han edificado ciudades, complejos industriales, mineros, agrícolas y militares, que están expuestos a sufrir los efectos devastadores de uno o varios procesos geológicos naturales de manifestación violenta y catastrófica.

La práctica de una convivencia negligente, irresponsable, inconciente y peligrosa respecto a las características y condiciones geológicas naturales que nos rodean, en las cuales nos desarrollamos y vivimos, nos coloca en constante amenaza y riesgo potencial frente a estos procesos de normal ocurrencia en la naturaleza, pero catastróficos para el hombre debido a la violencia con que éstos se manifiestan y comportan.

1. La Evolución del Planeta en torno a Procesos Catastróficos

4.500 millones de años han transcurrido para que la tierra y el sistema solar lograran adquirir su actual forma y condición, gracias a procesos geológicos naturales a pequeña y gran escala, de los cuales algunos son de tipo catastrófico.

El clima y la fisiografía del planeta deben también su estado actual a este tipo de procesos y “eventos” naturales o de normal ocurrencia y desarrollo. Estos, a su vez, desafortunadamente en algunas ocasiones –debido a los niveles de energía que alcanzan, la violencia con que se desarrollan y la duración en el tiempo en la cual se manifestaron, se manifiestan y se manifestarán– los hacen fatales y devastadores para el planeta y para cualquier forma de vida existente.

Normalmente estamos acostumbrados a convivir con ciertos procesos, propios de la geodinámica del planeta, como la lluvia, el viento, las mareas, la nieve, etc. De estos se conoce y asimila su comportamiento e interacción sobre el planeta y los seres que en ella habitan, siempre que su desarrollo normal esté enmarcado por ciertos límites, condiciones y características respecto a la energía que liberan, tiempo de duración y magnitud o grado de cambio o cambios que introduce en la superficie terrestre, y cómo afecta o afectan finalmente en forma conjunta o individual la litósfera (corteza terrestre), la biosfera y la atmósfera.

Dentro del marco general de este enfoque se pueden estimar dos grupos de procesos, “fenómenos”, “manifestaciones” y “eventos naturales”:

El **primer** grupo de procesos geológicos naturales lo constituyen aquellos procesos, “eventos” y/o manifestaciones que ejercen su trabajo y acción a lo largo de miles a cientos de miles de años o inclusive en varios millones de años, con lo cual es posible que las diferentes condiciones físicas, químicas y geológicas del planeta cambien paulatinamente. Su “larga” duración permite a los organismos evolucionar y adaptarse a nuevas condiciones de vida en forma lenta, ordenada y continua; igualmente, estos permiten al planeta restablecer o propiciar los mecanismos y condiciones puramente geológicas que logren unas nuevas situaciones para lograr cada vez más un equilibrio más estable y duradero.

El **segundo** grupo está enmarcado por aquellas manifestaciones o procesos naturales de tipo catastrófico para la vida y el planeta mismo, debido a que liberan la mayor parte de su energía y ejercen su labor y acción en períodos o lapsos de tiempo extremadamente cortos, del orden de minutos, horas, días y unos pocos años, introduciendo grandes, dramáticos y drásticos cambios en el clima, la fisiografía y todo el grupo o conjunto de condiciones físicas y químicas favorables y necesarias para la vida en el planeta. Al efectuarse tal o tales desequilibrios

en forma rápida y violenta, las nuevas condiciones son tan extremas que no pueden asimilarse por los organismos, provocando muertes, migraciones y extinciones masivas, por lo cual se constituyen en catástrofes naturales.

Afortunadamente para el hombre y demás seres vivos del planeta estas situaciones normales e inherentes a la geodinámica natural del planeta, presentan períodos de ocurrencia y/o recurrencia relativamente grandes entre manifestación y manifestación.

Ejemplos de esta doble situación los constituyen la sedimentación de un lago y una erupción volcánica.

En el primer ejemplo, los detritos producidos por la meteorización de las rocas y posteriormente transportados al lago, se sedimentan y con el transcurso de varios cientos o miles de años pueden llegar a transformarse en rocas luego de pasar por múltiples cambios y condiciones físicas y químicas. Este proceso es comparativamente lento y requiere de niveles de energía "bajos", inofensivos o asimilables tanto para los seres vivos que se desarrollan en su interior como para los que viven a su alrededor y dependen de él.

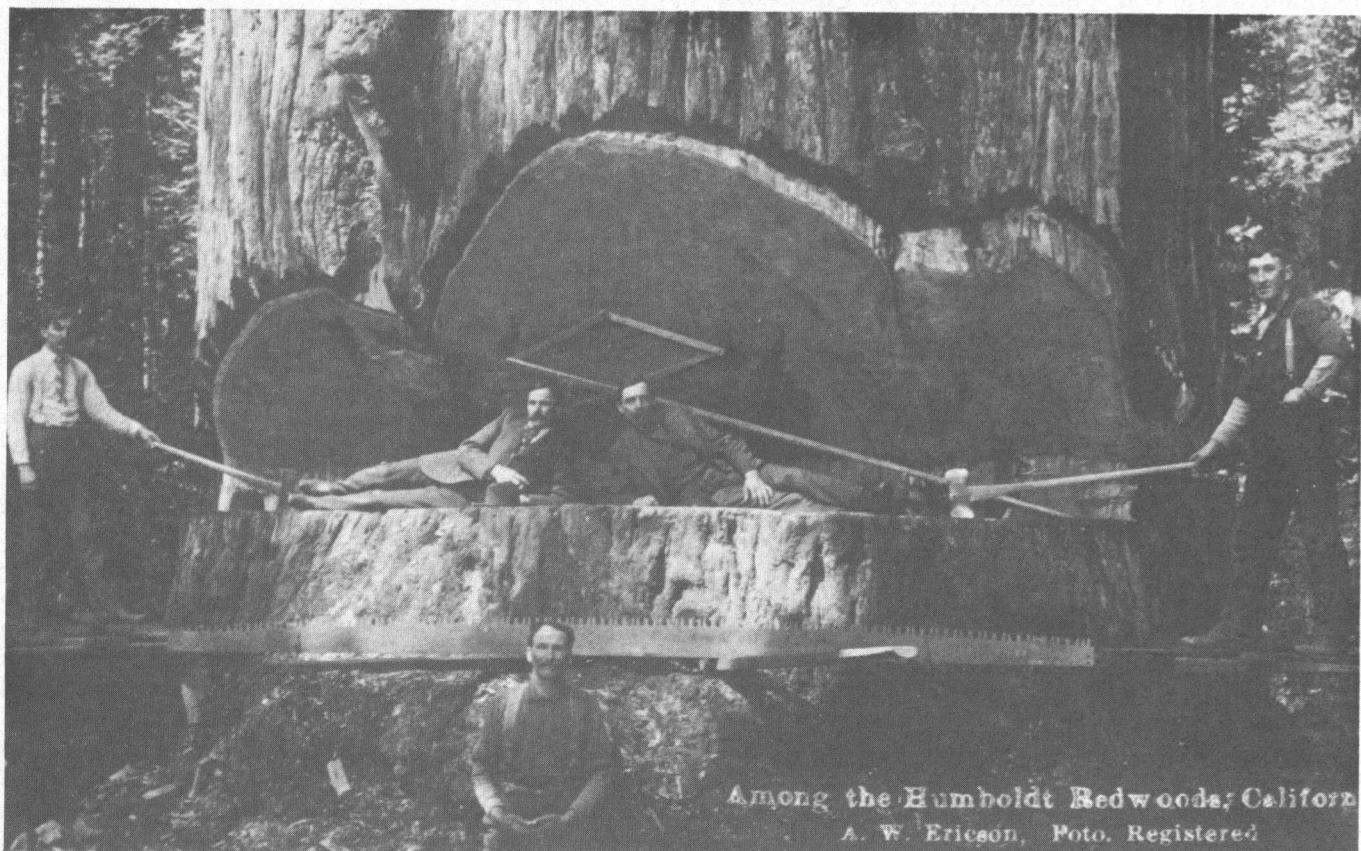
En el segundo ejemplo, en contraposición con el primero, está el caso de como se manifiestan y originan las rocas volcánicas. Estas son el producto final de procesos extremadamente complejos y violentos, acompañados

por la liberación de inmensos niveles de energía y emisión de gigantescos volúmenes de roca "nueva". Los nuevos materiales o rocas que son virtualmente "vomitados" de las entrañas de la tierra (manto/corteza) a elevadas temperaturas y presiones no permiten forma alguna de vida ni de su sobrevivencia. Comparativamente una roca de origen lacustre puede tardar en su formación 1000, 10000 o más veces y/o más tiempo que el requerido para la formación de una roca volcánica; es así como en un lago en el cual se está "formando" un centímetro de roca a lo largo de 10.000 años, en un volcán durante una sola erupción se pueden originar rocas cuyo espesor individual varía de centímetros a varias decenas de metros, en una o simultáneas erupciones ocurridas en períodos de tiempo del orden de minutos, horas o días a lo máximo.

En algunos casos las rocas volcánicas llegan a cubrir o "sepultar" extensas áreas en las cuales podrían ubicarse varios lagos de tamaño medio como los que conocemos hoy día.

En el caso colombiano tenemos que por lo menos el 60% de la población, infraestructura, fuentes de trabajo y riqueza, se encuentran dentro del área de máxima influencia de procesos catastróficos o en regiones de reconocida actividad geodinámica de alta energía. Por ejemplo muchas de nuestras ciudades están atravesadas o

Hombres orgullosos, a punto de derrumbar uno de los más grandes vegetales del mundo. California, 1910-18.



Among the Humboldt Redwoods, California
A. W. Ericson, Foto. Registered

ubicadas muy cerca a fallas geológicas activas, complejos volcánicos activos, o en áreas con alto grado de susceptibilidad a movimientos en masa e inundaciones.

2. La vida condicionada a un ambiente geológico favorable o adverso

En el pasado más remoto de la vida en la tierra, hace 500 millones de años, ésta debió hacer antesala durante 4.000 millones de años para hacer su aparición en un ambiente "estable" y "favorable" para su supervivencia y desarrollo; sin embargo hoy podemos estar expuestos nuevamente a desaparecer como especie en muchas regiones del planeta bajo los rigores, poder y violencia de una naturaleza, mal comprendida y poco estudiada en este aspecto y seriamente afectada en lo más profundo y complejo de sus sistemas naturales de equilibrio y regeneración tanto geológicos como biológicos y atmosféricos.

3. Las rocas, el registro de la vida y las catástrofes naturales

La geología como disciplina científica se ocupa del estudio sistemático de todos aquellos mecanismos, procesos, "fenómenos" y "eventos" que están involucrados en el pasado, presente y futuro de la Tierra como planeta, respecto a su evolución, estructura interna/externa, dinámica interna/externa y cómo ésta se manifiesta, actúa y queda registrada en las rocas. De igual forma estudia todo lo referente a la génesis, distribución, composición, estructura y actual disposición e interacción de las rocas a nivel mundial.

Desde la aparición de la vida y su posterior registro fósil, ha sido posible establecer con certeza, cómo a través de la historia geológica del planeta han ocurrido y se han manifestado ciertos procesos geológicos naturales en forma más o menos sistemática o repetitiva, los cuales finalmente han ocasionado muertes masivas, acompañadas de marcadas transformaciones estructurales y geográficas del interior y superficie del planeta, su contenido biológico y su atmósfera.

Las perturbaciones "inexplicables" o anómalas en las tasas de sedimentación, composición de las rocas, disposición, extensión y relación con otras rocas, forma de los estratos o cuerpos de roca, contenido, abundancia, tamaño y diversidad de fósiles, y la presencia o ausencia de ciertos minerales, son los principales parámetros por los cuales la geología puede evaluar científicamente las catástrofes naturales del pasado.

Por ejemplo, cambios repentinos en el espesor individual de una serie de estratos aparentemente homogéneos, así como de sus estructuras internas físicas y biogénicas, acompañadas por una "anómala" abundancia de restos de organismos de diferentes especies, de varios tamaños o estadios de crecimiento, la disposición final con la cual estos restos fueron fosilizados y su desaparición definitiva del registro fósil presente en las rocas, permiten, sin lugar a dudas, identificar y definir la ocu-

rrencia y manifestación de procesos catastróficos naturales, los cuales antecedieron y provocaron grandes migraciones, extinciones y muertes masivas de diferentes especies de organismos animales y vegetales a nivel local, regional y global.

Con base en este tipo de estudio y con la ayuda de otras disciplinas, leyes físicas, químicas, biológicas y geológicas, se han logrado realizar toda clase de reconstrucciones históricas de nuestro pasado geológico. Hoy con mucha experiencia, conocimiento e imaginación podremos realizar algunas proyecciones un tanto atrevidas y con cierto grado de incertidumbre o error respecto a nuestro futuro cercano en el planeta frente al campo de las catástrofes naturales y evaluar así la probabilidad y capacidad que tendremos para sobrevivir a ellas.

4. La geología ambiental y las catástrofes o desastres naturales

La geología, como tradicionalmente se le conoce, no sólo se dedica a la búsqueda, prospección y evaluación de recursos energéticos o minerales indispensables para el desarrollo de nuestra sociedad, sino que también se ocupa, como disciplina eminentemente investigativa, en lograr un conocimiento más profundo y detallado de nuestro pasado geológico, de los mecanismos, procesos y fuerzas que moldearon, moldean y moldearán todo el planeta y las diferentes formas de vida; por otra parte analiza y estudia con especial interés cómo ha sido la sucesión de eventos y procesos, su interacción, su magnitud y las diferentes repercusiones e implicaciones para el planeta como para la vida misma.

En general las rocas son el resultado de múltiples situaciones en las cuales pudo o no haber intervenido la

Abril 18 de 1906. USA. National Geographic S.



“vida”; sin embargo constituyen una página escrita del pasado geológico de la tierra, en un lenguaje “especial” el cual ha sido “descifrado” y “leido” por los geólogos revelándonos todos aquellos acontecimientos que le dieron su origen, estado y condición actual.

El estudio, identificación, evaluación y definición de las amenazas geológicas provocadas u originadas por procesos naturales se inicia en forma metódica en los años cincuenta.

Es entonces cuando la “geología ambiental” adquiere un campo específico de acción, investigación, trabajo y responsabilidad. Inicialmente muy restringida y definida a labores de tipo puramente estratégico y militar. En la actualidad la geología ambiental ha venido ganando terreno e importancia en forma vertiginosa, logrando así ocupar el lugar que le corresponde en un campo científico y social a nivel mundial, a medida que el hombre ha tomado conciencia de que aún depende y está a merced de las fuerzas, procesos y mecanismos que le dieron origen y forma al planeta Tierra y al sistema solar.

Primordialmente la geología ambiental trabaja e investiga en la identificación de áreas geológicamente “estables” e “inestables” referidas a tiempo y procesos geológicos naturales de edad reciente, principalmente en forma individual o conjunta para establecer al fin el período o períodos de normal ocurrencia, zonas con mayor posibilidad de manifestación y tipo de procesos o fenómenos clasificados como desastrosos o catastróficos que se pueden presentar en dichas áreas.

Los primeros estudios serios y de gran responsabilidad realizados en el campo de la geología ambiental se enfocaron en la definición de áreas de máxima “seguridad” y “estabilidad” geológica, además de presentar la menor probabilidad de ocurrencia normal de procesos y manifestaciones de tipo catastrófico, con el objetivo fundamental de poder ubicar instalaciones militares subterráneas, centrales nucleares, almacenes de armas quími-

cas, biológicas y nucleares, bases y almacenes de cohetes y proyectiles, laboratorios y obras de infraestructura e industria estratégica militar y civil.

Con el transcurso de los años, del adelanto en las comunicaciones y medios de transporte, de los terribles efectos y consecuencias de múltiples y gigantescas catástrofes naturales ocurridas en tiempo histórico, se le dió un enfoque más amplio de tipo humanístico y socioeconómico a la “geología ambiental” llevándola al campo de las obras civiles de infraestructura vital, planificación, desarrollo y ubicación de asentamientos humanos, logrando así constituirse en la actualidad en una condición de máxima importancia y prioridad en los países desarrollados para la formulación, planificación y ejecución de políticas y planes de desarrollo e inversión.

En Colombia la geología ambiental dista mucho de lograr cumplir con estos requerimientos y objetivos socioeconómicos a cabalidad, debido a múltiples y complejos factores.

A raíz de las consecuencias producidas por el terremoto de Popayán en 1983, la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985 y a los continuos derrumbes e inundaciones de los últimos 30 años, el país ha iniciado por fin un largo camino hacia el estudio, evaluación y conocimiento responsable de los procesos naturales de tipo catastrófico propios de nuestra condición geodinámica natural.

Si bien *ningún* lugar del planeta está exento de sufrir los rigores e inclemencias de la naturaleza o, en otros términos, no existe región alguna que nos brinde un cien por ciento de seguridad frente a situaciones catastróficas naturales, sí existen áreas donde su pasado geológico más reciente (últimos 10 a 15 mil años) no registra la ocurrencia, normal desarrollo y manifestación de situaciones geológicas catastróficas, pudiéndoseles considerar de alguna forma como áreas relativamente “estables” o “seguras” para ciertos procesos. Dichas áreas necesaria-

Anónima. USA, 1865. *Historia de la fotografía*.



mente presentan bajos índices tanto de amenaza como riesgo natural por presentar índices muy bajos de probabilidad de ser afectados nuevamente o un futuro cercano por dichos procesos.

5. Ciencias y herramientas afines y útiles

En la actualidad puede afirmarse que son pocas las técnicas o disciplinas científicas que no pueden ser aplicadas, integradas o utilizadas en el estudio, comprensión, manejo y prevención de catástrofes naturales.

Dicha labor se desarrolla en diferentes campos de acción y a cualquier escala en centros y laboratorios experimentales, centros de cálculo, bases de recolección y procesamiento de datos, estaciones de rastreo y monitoreo, satélites, barcos, aviones y submarinos acondicionados y equipados especialmente para tal efecto.

La geología ambiental hace uso de sofisticados instrumentos, aparatos y equipos de precisión en el campo de la teledetección, como satélites convencionales, meteorológicos y de exploración geológica. También se utilizan otros tipos de sensores remotos en fotointerpretación y geofísica; igualmente se basa en análisis e interpretaciones altamente especializadas en los campos de:

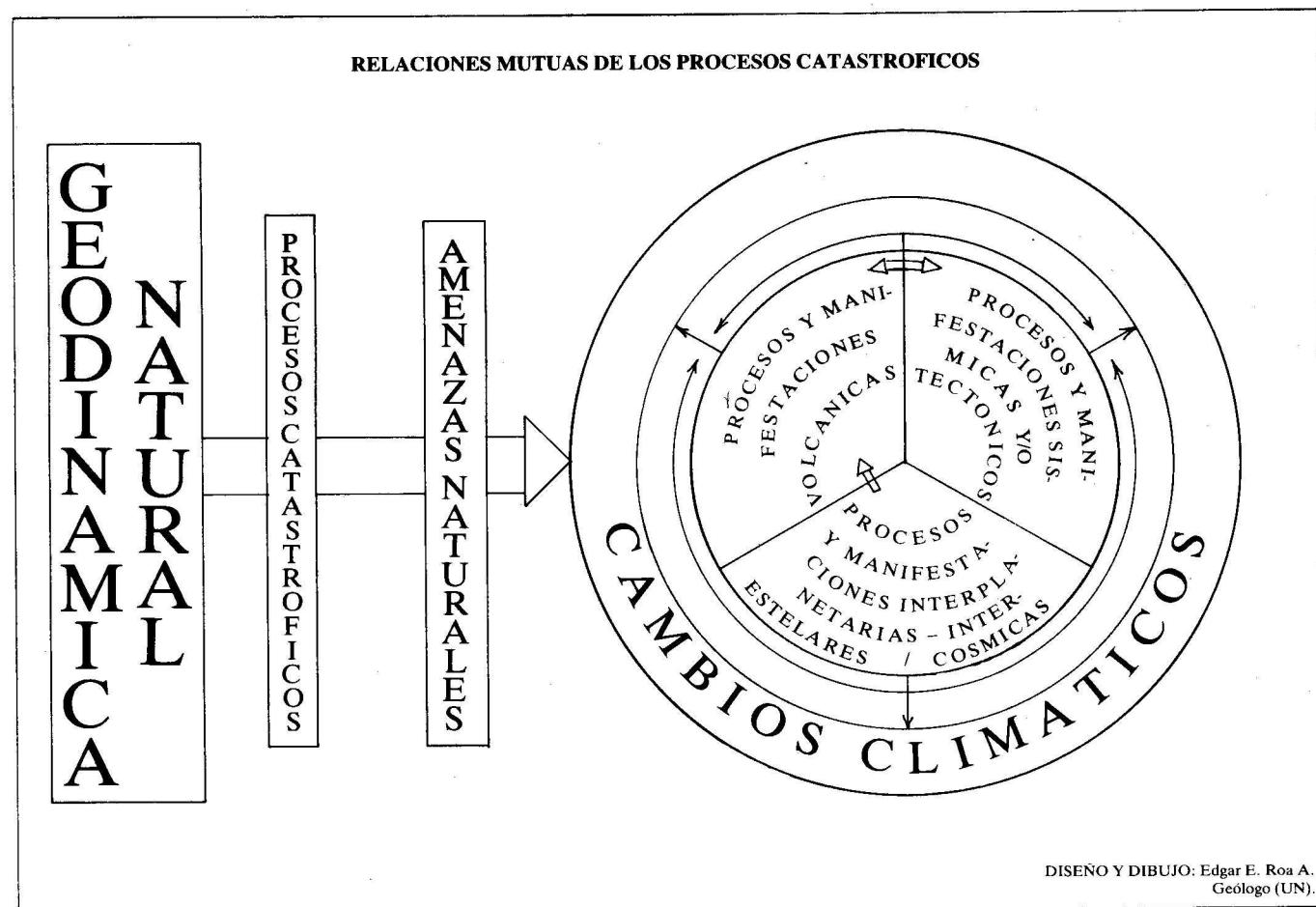
- Geodinámica/Tectónica global
- Vulcanología
- Sismología
- Meteorología
- Climatología
- Paleontología
- Bioestratigrafía
- Sedimentología
- Petrografía

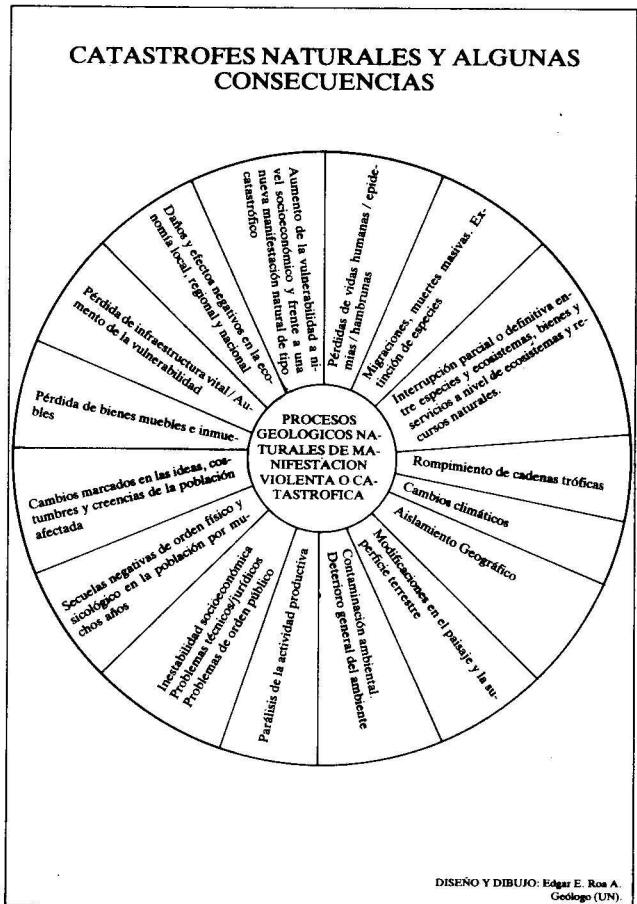
- Mineralogía
- Geoquímica
- Geofísica
- Geología Histórica
- Geología Estructural
- Geología Planetaria
- Biogeografía
- Oceanografía

El campo de acción de la geología ambiental es extremadamente amplio y abarca también las distintas actividades que el hombre desarrolla dentro y fuera del planeta; entre otras tareas se encuentra el estudio sistemático de fallas geológicas, volcanes, meteoritos y cambios climáticos, principalmente.

Aunque en la actualidad frente a la enorme presión, demanda y necesidad que tiene el hombre por adquirir espacio vital a “cualquier costo” y “mejorar” su condición de vida, la geología ambiental deberá entrar de lleno a evaluar los efectos negativos a nivel de catástrofes y desequilibrios provocados por el hombre, así como también tendrá que presentar una serie de posibles solucio-

RELACIONES MUTUAS DE LOS PROCESOS CATASTROFICOS





nes "viables" para lograr adquirir las condiciones armónicas, estables y duraderas entre el hombre y la naturaleza; para tal efecto y como único camino viable, seguro y más efectivo, la geología ambiental debe sin lugar a dudas conjugar armónica y equitativamente el trabajo y conocimiento de: astrónomos, climatólogos, meteorólogos, hidrólogos, ingenieros, matemáticos, agrónomos, biólogos, oceanógrafos, físicos, químicos, topógrafos, arqueólogos, antropólogos, sociólogos, médicos y economistas, entre otros, procurando así cumplir a cabalidad con su labor.

6. Importancia de los mapas de amenazas

Como resultado final de los trabajos geológicos investigativos para una determinada región del planeta, se obtienen mapas de amenazas geológicas potenciales para un determinado proceso o manifestación catastrófica del mismo.

La importancia de esta clase de mapas radica en que ellos son la base fundamental para la toma de decisiones responsables respecto a planes y medidas de contingencia, planes y obras de mitigación, planes de evacuación y reubicación.

Los mapas de amenazas, además de prestar una vital, eficaz y valiosa ayuda en situaciones críticas originadas por procesos naturales, también son de gran valor para decidir acerca de planes de desarrollo, proyectos de inversión, proyectos de infraestructura vital, planeamiento territorial y uso de la tierra, planeamiento y desarrollo urbano, agrícola e industrial.

En este último caso se busca que la ubicación de los proyectos de desarrollo, inversión e infraestructura estén en áreas relativamente "estables", o por lo menos que el tiempo normal de recurrencia de cualquier proceso o manifestación de tipo catastrófico en dichas áreas sea lo suficientemente mayor que la vida útil del proyecto a ejecutarse, procurando así un máximo de posibilidades para llevar a cabo dichos planes y proyectos dentro de los requerimientos, necesidades y condiciones geológicas de una región o un país.

De aquí la gran responsabilidad que recae tanto en quienes realizan los mapas de amenazas, como en quienes los interpretan y toman decisiones en base a ellos, ya que errores, fallas, o misiones o falta de conocimiento en la realización de los mismos, así como malas interpretaciones, desconocimiento del tema y mal asesoramiento para quienes los usan, traerán como consecuencia final planes, programas y obras equivocadas, las cuales no darán un resultado óptimo frente a una situación de amenaza o peligro natural, pudiendo en última instancia aumentar el número de víctimas y pérdidas materiales.

Para regiones volcánicas como las que existen en Colombia y otros lugares del planeta con volcanes de similar característica, condición evolutiva y desarrollo geológico, deben realizarse mapas de amenaza volcánica altamente especializados, para determinar las condiciones específicas de riesgo, vulnerabilidad y efectos negativos respecto a: nubes ardientes, flujos de escombros, explosiones laterales, sismicidad volcánica, lluvia o caída de piroclastos, caída de bombas y bloques volcánicos, derrumbe de casquetes de hielo, inundaciones, sepultamiento, onda de choque, contaminación, cambios climáticos e incendios forestales, entre otros.

A partir de estos mapas y con la integración de otras disciplinas técnicas y científicas se llevan a cabo evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad, posibles daños, pérdidas y víctimas, con lo cual se establecen los parámetros y requerimientos mínimos para la implementación de planes de mitigación, y la ejecución de obras encaminadas a disminuir la vulnerabilidad.