

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua

A la Libertad por la Universidad !!



INGENIERÍA GEOLÓGICA II

Fundamentos y métodos de la Ingeniería Geológica

Dr. Ingeniero Tupak Obando R., Geólogo
Doctorado en Geología y Gestión Ambiental
Celular: 84402511
Website: <http://blogs.monografias.com/>

Managua, Agosto 2010

CONTENIDO

1. Definición e importancia de la ingeniería geológica
2. El medio geológico y su relación con la ingeniería
3. Factores geológicos y problemas geotécnicos
4. Métodos y aplicaciones en ingeniería geológica
5. Fuentes de información en ingeniería geológica

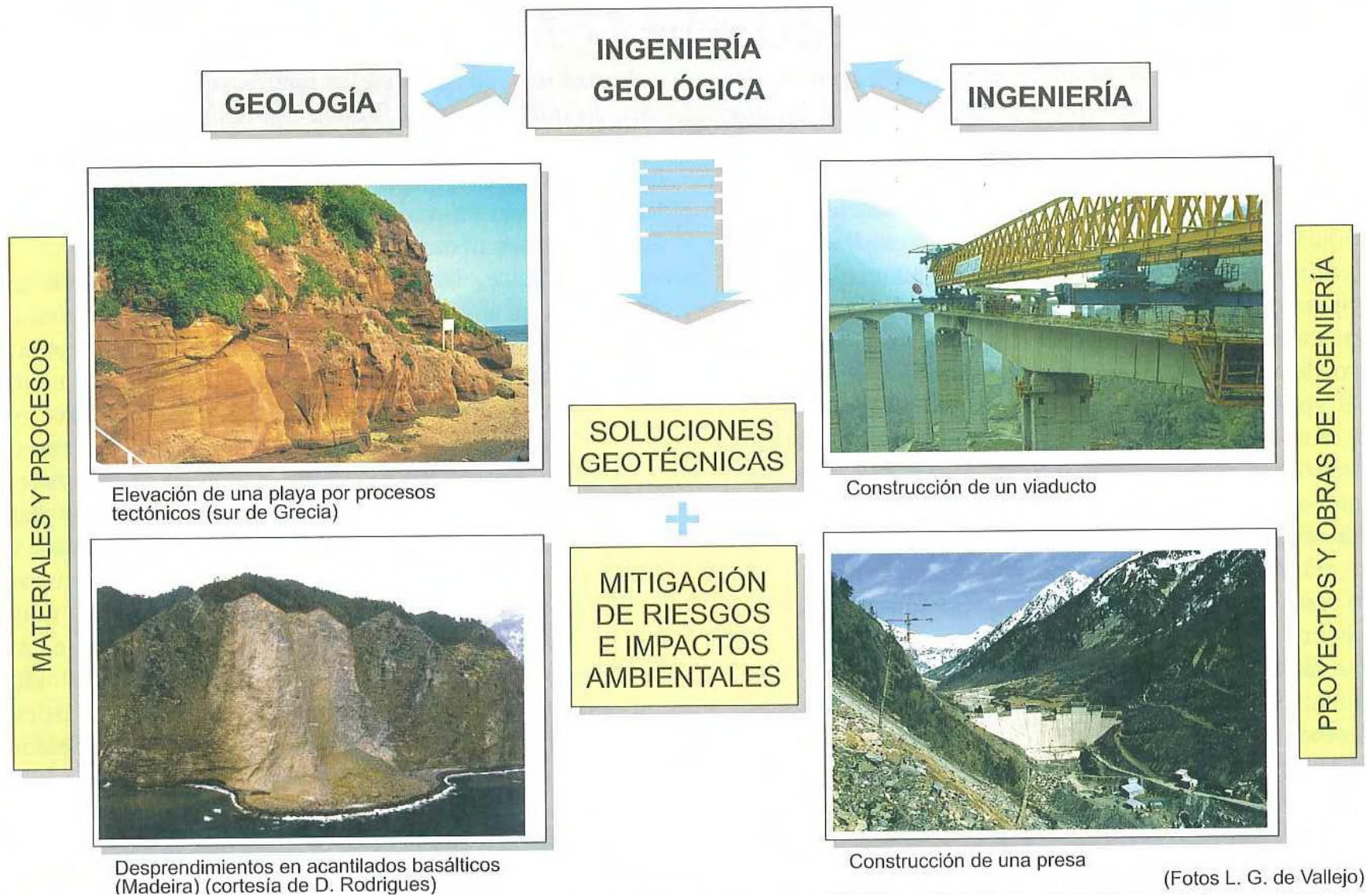
Definición e importancia de la ingeniería geológica

La **ingeniería geológica** es la ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas de la ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la interacción entre las actividades humanas y el medio geológico. El fin de la ingeniería geológica es asegurar que los factores geológicos condicionantes de las obras de ingeniería sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente, así como evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos.

La ingeniería geológica surge con el desarrollo de las grandes obras públicas y el crecimiento urbano, diferenciándose como especialidad de la geología a mediados del siglo XX. La rotura de algunas presas por causas geológicas y sus graves consecuencias, incluyendo la pérdida de cientos de vidas humanas, como la presa de San Francisco (California, 1928), la de Vajont (Italia, 1963) y la de Malpasset (Francia, 1959), los deslizamientos durante la construcción del Canal de Panamá en las primeras décadas del siglo, o las roturas de taludes en los ferrocarriles suecos en 1912, fueron algunos de los hitos que marcaron la necesidad de llevar a cabo estudios geológicos aplicados a la ingeniería.

La necesidad de estudiar geológicamente el terreno como base de partida para los proyectos de grandes obras es indiscutible en la actualidad, y constituye una práctica obligatoria. Esta necesidad se extiende a otras obras de menor volumen, pero de gran repercusión social, como la edificación, en donde los estudios geotécnicos son igualmente obligatorios.

La importancia de la ingeniería geológica se manifiesta en dos grandes campos de actuación. El primero corresponde a los proyectos y obras de ingeniería donde el terreno constituye el soporte, el material de excavación, de almacenamiento o de construcción. Dentro de este ámbito se incluyen las principales obras de infraestructura, edificación, obras hidráulicas, marítimas, plantas industriales, explotaciones mineras, centrales de energía, etc. La participación de la ingeniería geológica en estas actividades es fundamental al contribuir a su seguridad y economía. El segundo campo de actuación se refiere a la prevención, mitigación y control de los riesgos geológicos, así como de los impactos ambientales de las obras públicas, actividades industriales, mineras



Ingeniería geológica, geología e ingeniería civil.

El deslizamiento de El Berrinche, Tegucigalpa (Honduras)

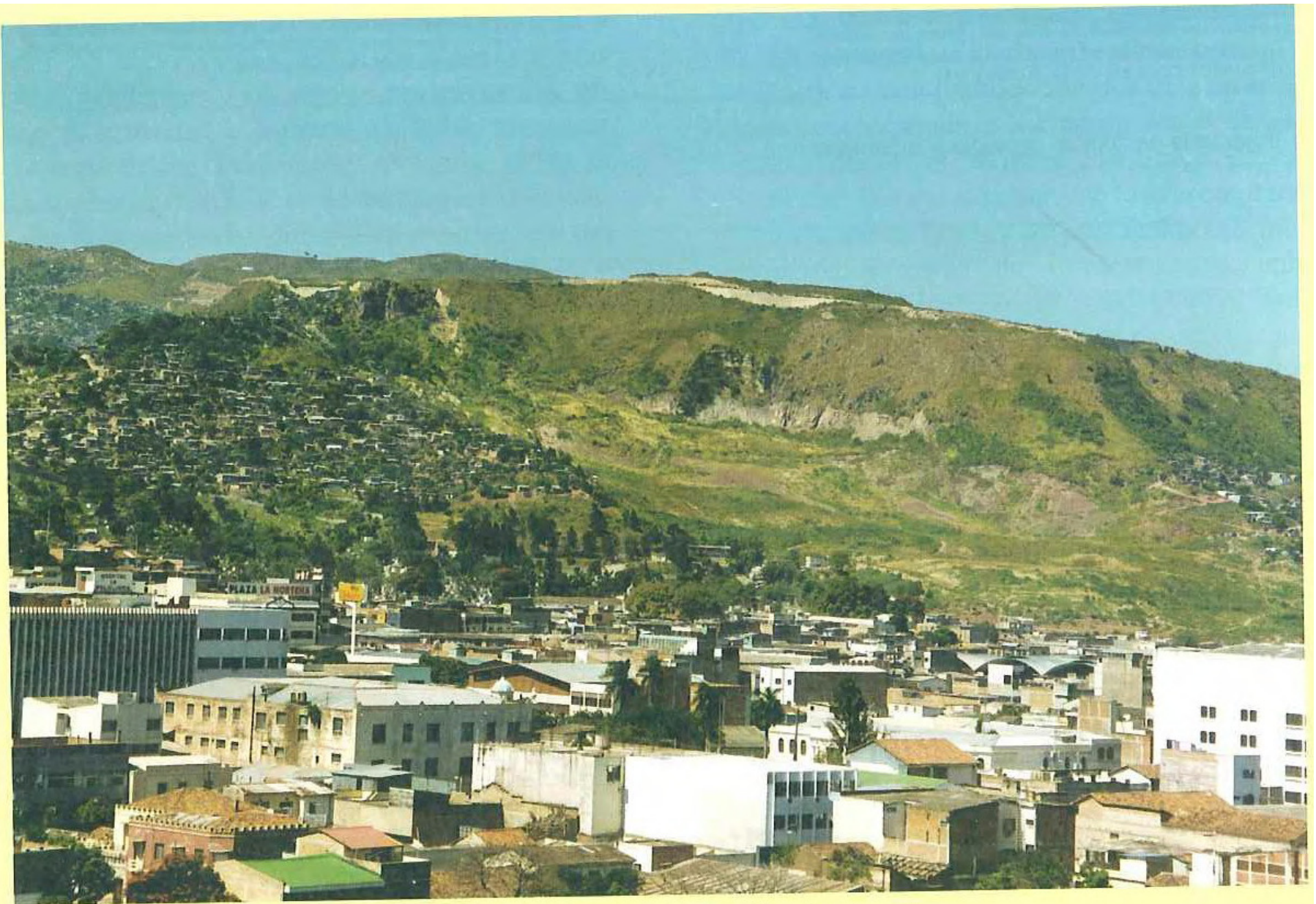
Este deslizamiento se produjo como consecuencia del huracán Mitch el 30 de octubre de 1998. El huracán, que asoló Centroamérica, ocasionó más de 25.000 muertos y una cifra incalculable de pérdidas. Las consecuencias fueron muy agravadas por la intensa deforestación y ocupación urbana de laderas inestables. Los deslizamientos ocurridos en algunas de las laderas populosas colonizadas por infraviviendas que rodean la ciudad de Tegucigalpa causaron daños muy elevados, quizás el mayor número de viviendas destruidas y personas afectadas por deslizamientos en la capital de un país que ninguna otra catástrofe haya producido hasta entonces, con pérdidas de vidas humanas y económicas irreversibles que afectaron a centenares de familias.

El deslizamiento de El Berrinche, que destruyó el barrio del mismo nombre y afectó parcialmente a otros, provocó el represamiento del río Choluteca y, consecuentemente, la inundación destructiva de las zonas más bajas de la ciudad, con gran número de víctimas, tras cambiar el río su curso e internarse en el interior de zonas urbanizadas. La corriente de lodo arrastró gran cantidad de vegetación, vehículos y fragmentos de viviendas,

alcanzó una altura de varios metros sobre las calles, dañando infraestructuras básicas de la ciudad.

En Tegucigalpa esas zonas de riesgo eran ya conocidas, y existían algunos mapas de riesgo. Como antecedente, en 1958 un gran número de casas fueron destruidas en las laderas situadas frente al cerro de El Berrinche.

Las intensas lluvias asociadas al huracán Mitch en Tegucigalpa han sido una verdadera prueba para la evaluación del comportamiento del terreno y su susceptibilidad ante los deslizamientos, denotándose un claro comportamiento diferencial de unas zonas a otras en función del tipo de materiales geológicos presentes, quedando demostrado el control litológico de los procesos de inestabilidad de ladera. De hecho los mayores deslizamientos tuvieron lugar en materiales lutíticos y limolíticos con intercalaciones de grauvacas y areniscas arcillosas del Grupo Valle de Ángeles, materiales muy evolutivos frente a la meteorización, mientras que en el otro grupo litológico que aflora en la zona, constituido por tobas volcánicas masivas (Grupo volcanoclástico Padre Miguel), se produjeron algunos desprendimientos rocosos aislados.



Vista del deslizamiento afectando parte de la ciudad de Tegucigalpa (foto M. Ferrer).

El medio geológico y su relación con la ingeniería

El medio geológico está en continua evolución y los procesos afectan tanto a los materiales rocosos y a los suelos como al medio natural en su conjunto. El antrópico, representado por las ciudades, las infraestructuras, obras públicas, etc., irrumpe con frecuencia en regiones geológicamente inestables modificando, e incluso desencadenando, los procesos geológicos. La búsqueda de soluciones armónicas entre el medio geológico y el antrópico precisa de la consideración previa de ciertos factores diferenciadores entre ambos, cuyo desconocimiento es causa de interpretaciones erróneas. Entre estos factores destacan:

- La escala geológica y la ingenieril.
- El tiempo geológico y el antrópico.
- El lenguaje geológico y el ingenieril.

Otro de los problemas que se presenta con frecuencia al integrar datos geológicos en proyectos de ingeniería es la falta de comunicación entre ambos campos. Con independencia de la propia terminología geológica o ingenieril, suelen existir diferencias en los enfoques y en la valoración de resultados, según se trate un mismo problema desde una u otra óptica. En ingeniería se trabaja con materiales cuyas propiedades varían dentro de estrechos márgenes y pueden ser ensayados en el laboratorio, como los hormigones, aceros, etc., no cambiando sus propiedades sustancialmente con el tiempo. Sin embargo en geología la mayoría de los materiales son anisótropos y heterogé-

neos, presentan propiedades muy variables y sufren alteraciones y cambios con el tiempo.

En un proyecto de ingeniería se precisan datos cuantificables y susceptibles de ser modelizados. En geología la cuantificación numérica y la simplificación de los amplios rangos de variación de las propiedades a cifras comprendidas dentro de estrechos márgenes es difícil, o a veces imposible al nivel requerido en un proyecto. Por otro lado, es habitual disponer en ingeniería de un grado de conocimiento muy preciso sobre los materiales de construcción, mientras que la información geológico-geotécnica suele basarse en un limitado número de reconocimientos, ocasionando un factor de incertidumbre presente en los estudios geotécnicos, circunstancia que afecta a la mayoría de los proyectos. La apreciación de estas diferencias y la utilización de un lenguaje común adecuado a los fines del proyecto es parte de la ingeniería geológica, que dispone de métodos para cuantificar o expresar datos geológicos de forma que se puedan integrar en la modelización numérica, o en la toma de decisiones a nivel de proyecto y construcción.

La **estadística** es una herramienta importante para analizar datos muy variables, e incluso aleatorios. El estudio de ciertos fenómenos de periodicidad insuficientemente conocida puede ser abordado a partir de análisis probabilísticos con resultados aceptables, como es el caso de determinados riesgos geológicos. La

cuantificación de un conjunto de propiedades geológico-geotécnicas para aplicaciones constructivas es posible mediante los sistemas de clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos. La utilización del concepto de **coeficiente de seguridad**, habitualmente empleado en ingeniería para expresar el grado de estabilidad de la obra, es igualmente incorporado a la

práctica de la ingeniería geológica. La incorporación de estos y otros procedimientos, sobre todo mediante el conocimiento del medio geológico y su interacción con las actividades constructivas, hace que se puedan llegar a definir, evaluar e integrar los factores geológicos que inciden y deben ser considerados en la ingeniería.

La ingeniería geológica: formación y profesión

La formación en ingeniería geológica se basa en un sólido conocimiento de la geología y del comportamiento mecánico de los suelos y las rocas y su respuesta ante los cambios de condiciones impuestos por las obras de ingeniería. La investigación del terreno mediante métodos y técnicas de reconocimiento y ensayos, así como el análisis y la modelización, tanto de los materiales como de los procesos geológicos, forman parte esencial de esta disciplina.

El profesional de la ingeniería geológica tiene formación científica y técnica aplicada a la solución de los problemas geológicos y ambientales que afectan a la ingeniería, dando respuesta a las siguientes cuestiones:

1. Dónde situar una obra pública o instalación industrial para que su emplazamiento sea geológicamente seguro y constructivamente económico.
2. Por dónde trazar una vía de comunicación o una conducción para que las condiciones geológicas sean favorables.
3. En qué condiciones geológico-geotécnicas debe cimentarse un edificio.
4. Cómo excavar un talud para que sea estable y constructivamente económico.
5. Cómo excavar un túnel o instalación subterránea para que sea estable.
6. Con qué tipo de materiales geológicos puede construirse una presa, terraplén, carretera, etc.
7. A qué tratamientos debe someterse el terreno para evitar o corregir filtraciones, hundimientos, asentamientos, desprendimientos, etc.
8. En qué tipo de materiales geológicos pueden almacenarse residuos tóxicos, urbanos o radiactivos.

9. Cómo evitar, controlar o prevenir los riesgos geológicos (terremotos, deslizamientos, etc.).
10. Qué criterios geológicos-geotécnicos deben tenerse en cuenta en la ordenación territorial y urbana y en la mitigación de los impactos ambientales.

Geología aplicada e ingeniería geológica*

- La geología aplicada, o geología para ingenieros, *geology for engineers*, es la geología utilizada en la práctica por los ingenieros civiles. Es una rama de la geología que trata de su aplicación a las necesidades de la ingeniería civil. No implica necesariamente el uso de los métodos de ingeniería geológica para el estudio y resolución de los problemas geológicos en ingeniería.
- La ingeniería geológica, *engineering geology* y *geological engineering*, se diferencia de la geología aplicada en que además del fundamento geológico, es necesario conocer los problemas del terreno que presentan las obras de ingeniería, los métodos de investigaciones *in situ* y la clasificación y el comportamiento de los suelos y rocas en relación con la ingeniería civil; incluye además el conocimiento práctico de la mecánica del suelo, mecánica de rocas e hidrogeología.

Factores geológicos y problemas geotécnicos

Influencia de la litología en el comportamiento geotécnico del terreno

Litología	Factores característicos	Problemas geotécnicos
Rocas duras	— Minerales duros y abrasivos.	— Abrasividad (Fotografía A). — Dificultad de arranque.
Rocas blandas	— Resistencia media a baja. — Minerales alterables.	— Roturas en taludes (Fotografía B). — Deformabilidad en túneles. — Cambio de propiedades con el tiempo.
Suelos duros	— Resistencia media a alta.	— Problemas en cimentaciones con arcillas expansivas y estructuras colapsables.
Suelos blandos	— Resistencia baja a muy baja.	— Asientos en cimentaciones (Fotografía C). — Roturas en taludes.
Suelos orgánicos y biogénicos	— Alta compresibilidad. — Estructuras metaestables.	— Subsistencia (Fotografía D) y colapsos.

Estructuras geológicas y problemas geotécnicos

Estructuras geológicas	Factores característicos	Problemas geotécnicos
Fallas y fracturas (Fotografía A)	— Superficies muy continuas; espesor variable.	Roturas, inestabilidades, acumulación de tensiones, filtraciones y alteraciones.
Planos de estratificación (Fotografía B)	— Superficies continuas; poca separación.	Roturas, inestabilidades y filtraciones.
Discontinuidades (Fotografía B)	— Superficies poco continuas, cerradas o poco separadas.	Roturas, inestabilidades, filtraciones y alteraciones.
Pliegues (Fotografía C)	— Superficies de gran continuidad.	Inestabilidad, filtraciones y tensiones condicionadas a la orientación.
Foliación, esquistosidad (Fotografía D)	— Superficies poco continuas y cerradas.	Anisotropía en función de la orientación.

(Fotos L. G. de Vallejo)

Efectos de los procesos geológicos relacionados con el agua y su incidencia geotécnica

Procesos geológicos en relación al agua	Efectos sobre materiales	Problemas geotécnicos
Disolución (Fotografía A)	<ul style="list-style-type: none"> — Pérdida de material en rocas y suelos solubles. — Karstificación. 	<ul style="list-style-type: none"> — Cavidades. — Hundimientos. — Colapsos.
Erosión-arrastre (Fotografía B)	<ul style="list-style-type: none"> — Pérdida de material y lavado. — Erosión interna. — Acarcavamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> — Hundimientos y colapsos. — Asientos. — Sifonamientos y socavaciones. — Aterramientos.
Reacciones químicas (Fotografía C)	<ul style="list-style-type: none"> — Cambios en la composición química. 	<ul style="list-style-type: none"> — Ataque a cementos, áridos, metales y rocas.
Alteraciones (Fotografía D)	<ul style="list-style-type: none"> — Cambio de propiedades físicas y químicas. 	<ul style="list-style-type: none"> — Pérdida de resistencia. — Aumento de la deformabilidad y permeabilidad.

Influencia de los procesos geológicos en la ingeniería y en el medio ambiente

Procesos geológicos	Efectos sobre el medio físico	Problemas geoambientales y actuaciones
Sismicidad (Fotografía A)	<ul style="list-style-type: none"> — Terremotos, tsunamis. — Movimientos del suelo, roturas, deslizamientos, licuefacción. 	<ul style="list-style-type: none"> — Daños a poblaciones e infraestructuras. — Diseño antisísmico. — Medidas de prevención. — Planes de emergencia.
Vulcanismo (Fotografía B)	<ul style="list-style-type: none"> — Erupciones volcánicas. — Cambios en el relieve. — Tsunamis y terremotos. — Colapsos y grandes movimientos en laderas. 	<ul style="list-style-type: none"> — Daños a poblaciones e infraestructuras. — Sistemas de vigilancia. — Medidas de prevención. — Planes de evacuación.
Levantamientos, subsidiencias (Fotografía C)	<ul style="list-style-type: none"> — Cambios morfológicos a largo plazo. — Alteraciones en dinámica litoral y en el nivel del mar a largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> — Medidas de control y vigilancia.
Erosión-sedimentación (Fotografía D)	<ul style="list-style-type: none"> — Cambios geomorfológicos a medio plazo. — Arrastres y aumento de la escorrentía. — Colmatación. 	<ul style="list-style-type: none"> — Aumento del riesgo de inundaciones y deslizamientos. — Medidas de protección en cauces y costas.

(continúa)

Influencia de los procesos geológicos en la ingeniería y en el medio ambiente (continuación)

Procesos geológicos	Efectos sobre el medio físico	Problemas geoambientales y actuaciones
Movimientos de ladera (Fotografía E)	<ul style="list-style-type: none"> — Deslizamientos, desprendimientos, hundimientos. — Cambios morfológicos a corto y medio plazo, desvío de cauces. 	<ul style="list-style-type: none"> — Daños en poblaciones e infraestructuras. — Obstrucción de cauces. — Medidas de estabilización, control y prevención.
Cambios del nivel freático (Fotografía F)	<ul style="list-style-type: none"> — Cambios en los acuíferos. — Cambios de propiedades del suelo. — Deseccación y encharcamientos. — Subsidiencias e inestabilidad de laderas. 	<ul style="list-style-type: none"> — Problemas en cimentaciones. — Afección a cultivos y regadíos. — Medidas de drenaje.
Procesos tectónicos	<ul style="list-style-type: none"> — Tensiones naturales. — Sismicidad. — Inestabilidades. 	<ul style="list-style-type: none"> — Explosiones de roca en minas y túneles profundos. — Deformaciones a largo plazo en obras subterráneas. — Medidas de diseño en túneles y minas.
Procesos geoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> — Altas temperaturas. — Anomalías térmicas. — Presencia de gases. 	<ul style="list-style-type: none"> — Riesgo de explosión. — Dificultad de ejecución en obras subterráneas.

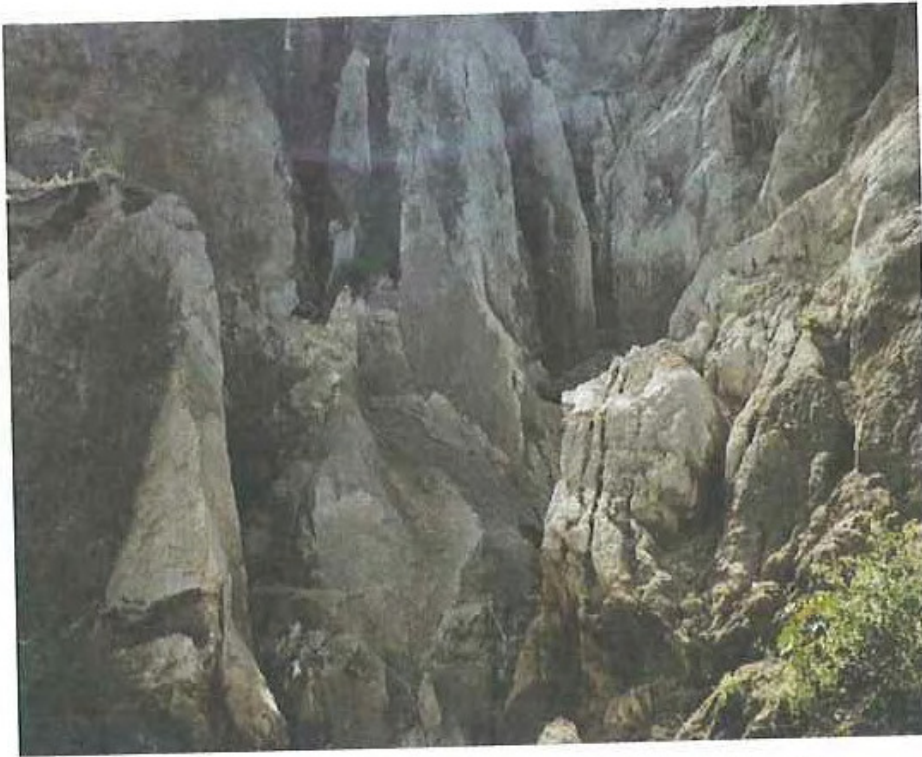
(fotos L. G. de Vallejo)



La Torre Inclinada de Pisa



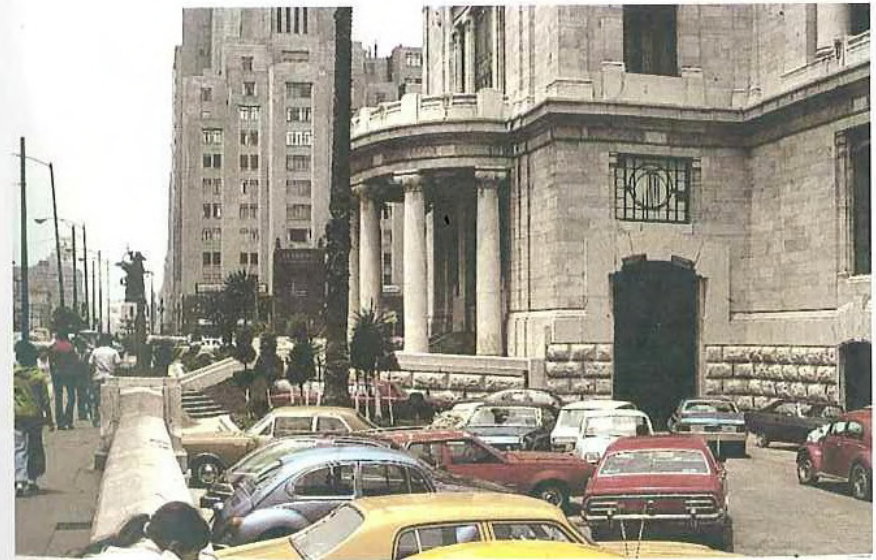
Subsidencia en suelos lacustres afectando a la Basílica de N.^a S.^a de Guadalupe (México D.F.)



Erosión y acarreamiento en piroclastos (Guatemala) (foto M. Ferrer)



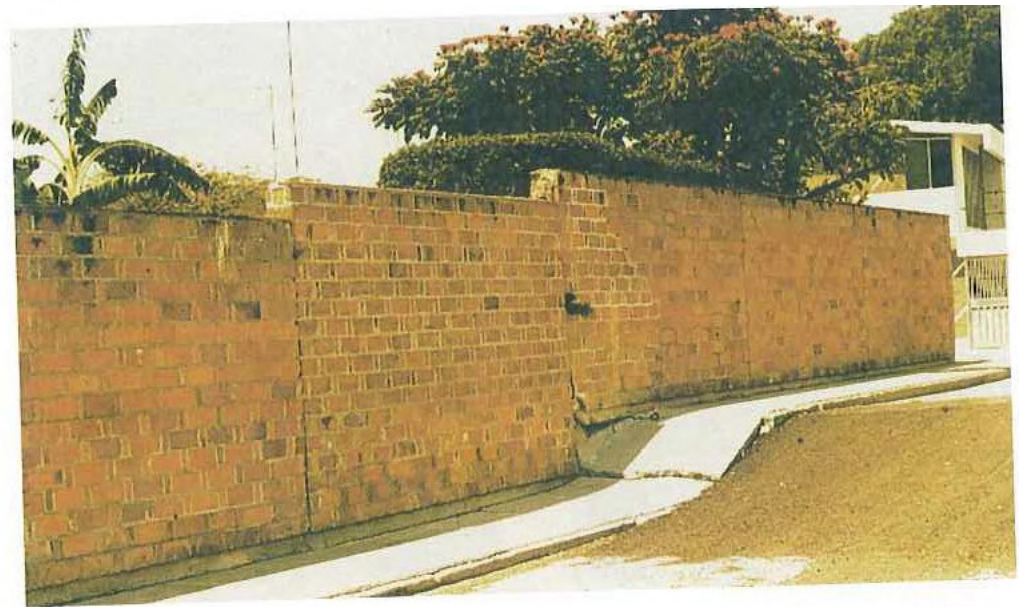
Edificio destruido en el terremoto de México de 1985 (cortesía del IGME)



Subsidencia del Palacio de Bellas Artes, México D.F. (foto L. G. de Vallejo)



Colmatación de cauce que rebasa la carretera y obliga a abrir un cauce artificial, Quebrada de Purmamarca, Argentina (foto M. Ferrer)



Subsidencia por extracción de agua de pozos y a favor de fallas activas (Celaya, México)

Métodos y aplicaciones en ingeniería geológica

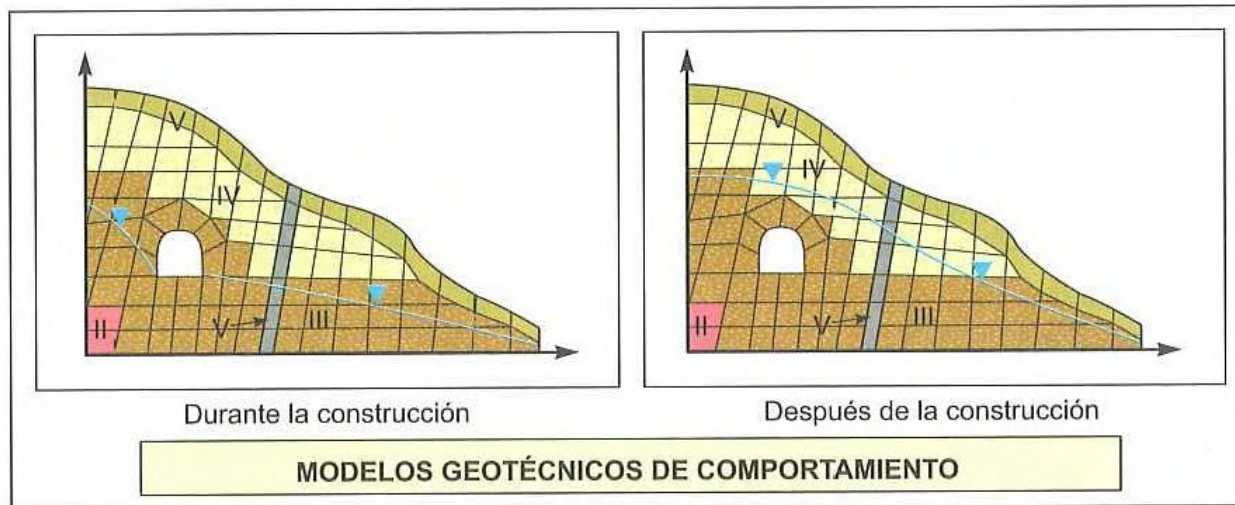
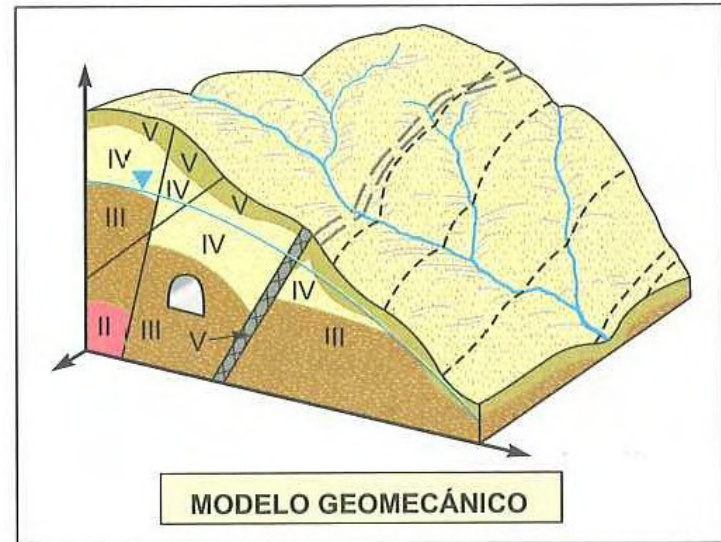
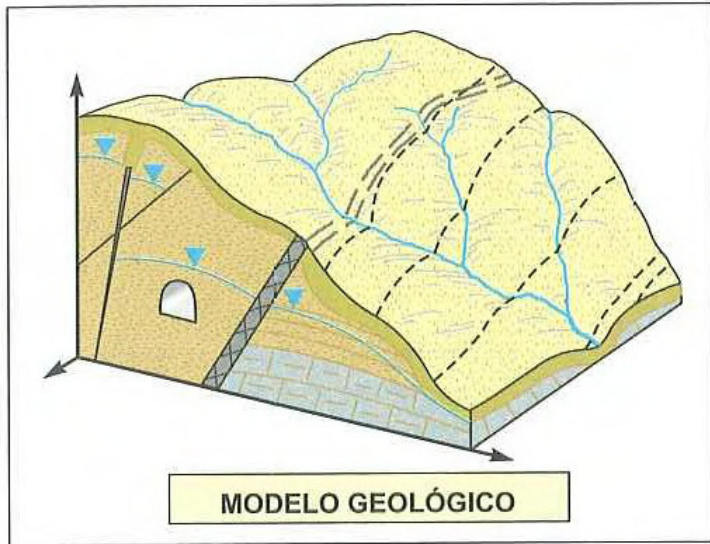
La ingeniería geológica tiene sus fundamentos en la geología y en el comportamiento mecánico de los suelos y las rocas. Incluye el conocimiento de las técnicas de investigación del subsuelo, tanto mecánicas como instrumentales y geofísicas, así como los métodos de análisis y modelización del terreno. La metodología de estudio responde en términos generales a la secuencia descrita en el Cuadro 1.5.

Para el desarrollo completo de dicha secuencia metodológica deben definirse tres tipos de modelos (Figura 1.3):

- Modelo geológico.
- Modelo geomecánico.
- Modelo geotécnico de comportamiento.

Esta metodología constituye la base de las siguientes aplicaciones de la ingeniería geológica a la ingeniería civil y al medio ambiente:

- Infraestructuras para el transporte.
- Obras hidráulicas, marítimas y portuarias.
- Edificación urbana, industrial y de servicios.
- Centrales de energía.
- Minería y canteras.
- Almacenamientos para residuos urbanos, industriales y radiactivos.
- Ordenación del territorio y planificación urbana.
- Protección civil y planes de emergencia.



Ejemplos de modelización en ingeniería geológica.

Fuentes de información en ingeniería geológica

Las principales publicaciones de carácter periódico en ingeniería geológica se deben a las asociaciones internacionales y nacionales, que de forma regular celebran congresos y simposios, además de publicar revistas o boletines. Las más importantes son:

- *International Association of Engineering Geology and Environment (IAEG)*.
- *Association of Engineering Geologists (AEG)*.
- *International Society of Rock Mechanics (ISRM)*.
- *International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISMFE)*.

Entre las publicaciones periódicas destacan:

- *Boletín de la IAEG*.
- *Boletín de la AEG*.
- *Quarterly Journal of Engineering Geology (Geological Society of London)*.
- *Engineering Geology (Elsevier)*.
- *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Elsevier)*.
- *Géotechnique*.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN