

# Desastres Naturales ¿Se pueden predecir y prevenir los eventos geológicos destructivos?

\*Carolina Montero, \*\*Victor Garcia y \*Silvina Guzmán

\*IBIGEO-CONICET. Museo de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

\*\*Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, Universidad Nacional de Río Negro

En general ante la ocurrencia de eventos geológicos que afectan a poblaciones ubicadas en inmediaciones de zonas vulnerables, se renueva la preocupación acerca del impacto que los desastres naturales pueden ocasionar sobre las poblaciones. En la actualidad, dado el alcance global de los medios de comunicación, la difusión de los acontecimientos de envergadura tiene un gran impacto a escala global por lo que la ocurrencia de los desastres naturales, produce una distorsión de la percepción acerca de su recurrencia y magnitudes reales y conduce a sobrestimarlos, si bien no existe al momento un estudio estadístico que demuestre tal incremento. Por ésto, se considera fundamental informar sobre la génesis de estos procesos y sus causas, efectos, probabilidad de ocurrencia, predictibilidad, etc.

En esta contribución daremos un marco teórico sobre conceptos básicos como la *peligrosidad* y el *riesgo geológicos*, así como sobre los procesos geológicos que pueden afectar negativamente a poblaciones humanas, dando ejemplos de los mismos. Además, especialistas en las temáticas específicas expondrán sus opiniones y comentarán desastres geológicos ocurridos en la República Argentina.

## PELIGROSIDAD GEOLÓGICA Y RIESGO GEOLÓGICO

Muy a menudo se utilizan los términos "riesgo" y "peligrosidad" geológicos como sinónimos, pero cada uno tiene un significado e implicancia singular. Se define como *peligrosidad geológica* a la probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de tiempo determinado y en un área específica, de un fenómeno geológico de una magnitud determinada potencialmente perjudicial (González y Bejerman 2004). Esto es, la posibilidad de que ocurra un proceso geológico que pueda afectar a una región como por ejemplo una erupción volcánica, un sismo o terremoto, deslizamiento de tierra, tsunamis en un determinado tiempo. La probabilidad está relacionada al grado de certeza que se puede tener sobre la ocurrencia de un proceso dado y se basa en su frecuencia histórica. En nuestro país, los mapas de Peligrosidad Geológica muestran las áreas sujetas a los distintos procesos geológicos que potencialmente pueden afectar una zona, pero no su probabilidad de ocurrencia (González y Bejerman 2004). Es decir, los mapas muestran la vulnerabilidad de las diferentes regiones, pero carecen de datos estadísticos que permitan estimar el peligro geológico;

para ello, se debería actualizar regularmente la base de datos histórica de la ocurrencia de eventos geológicos con impacto en la población.

Por *riesgo geológico* se entiende a la magnitud de las pérdidas derivadas de un fenómeno geológico, lo cual tiene en cuenta el "riesgo específico", o sea las pérdidas económicas esperadas, y los "elementos de riesgo" (o la vulnerabilidad) como la población, propiedades, actividades económicas, servicios públicos, etc. sometidos a un fenómeno determinado en una zona dada (definiciones estipuladas por la UNDRO-ONU, 1979, y la UNESCO por Varnes 1984, en González y Bejerman 2004). Es decir, son los daños que afectan al hombre y/o sus instalaciones, generados por un proceso geológico que constituye un peligro.

Para poder establecer el riesgo de una región es necesario primero conocer el peligro y la vulnerabilidad del área. El "peligro" es el proceso natural en sí, que puede ocurrir en cualquier momento y la "vulnerabilidad" se relaciona al grado de modificación y/o destrucción de un área ante la ocurrencia de un fenómeno geológico, es decir, cómo se puede ver afectada (Figura 1).

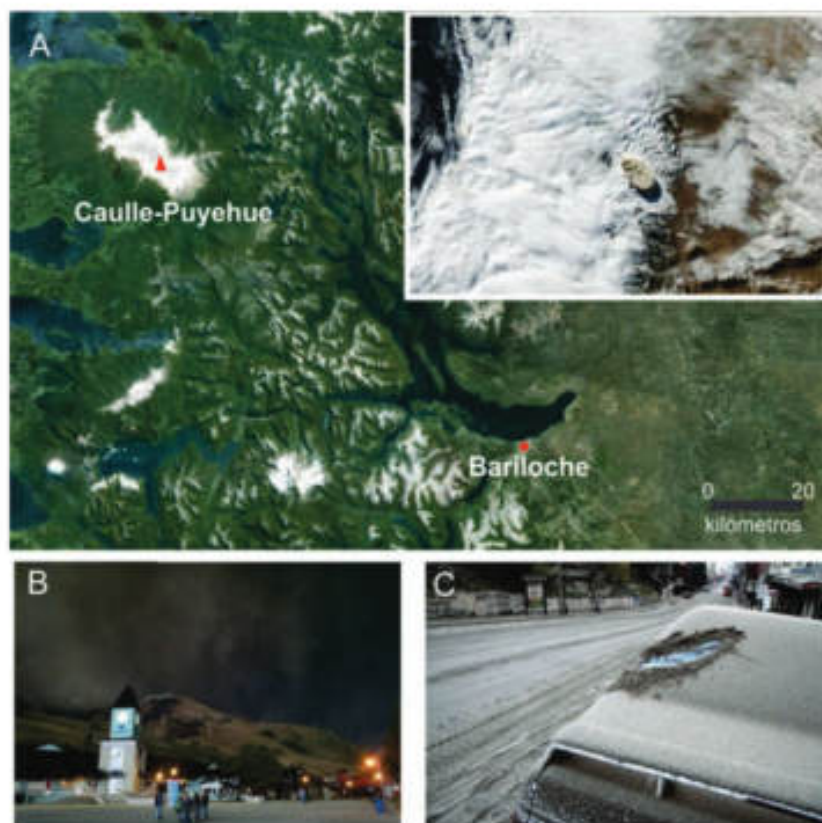
**Riesgo** = pérdida x vulnerabilidad  
x peligro

**Perdida o grado de exposición a un potencial peligro** = número de vidas humanas, propiedades, obras de infraestructura

**Vulnerabilidad** = elementos físicos o sociales que están expuestos a la acción de un evento que puede ocasionar daño

**Peligro** = fenómeno o proceso geológico que puede tener un impacto negativo sobre las personas/instalaciones.

Si bien se utiliza corrientemente los términos "peligrosidad" y "riesgo" como sinónimos, ambos conceptos son diferentes. **Peligrosidad** hace referencia al proceso geológico en sí y su probabilidad de ocurrencia, y **Riesgo** se refiere a los daños causados y a las pérdidas.



**Figura 1:** Ejemplos de peligro y riesgo geológicos, donde el Peligro lo constituye el Complejo Volcánico Cordón Caulle-Puyehue (Chile) y el Riesgo implica las ciudades cercanas que se vieron afectadas por la última erupción de 2011. **A-** Imagen satelital donde se muestra la cercanía entre el cordón Caulle-Puyehue y Bariloche y un detalle de una imagen tomada por la NASA el día que comenzó la erupción; **B-** Vista de Villa Catedral (Bariloche) antes de la lluvia de cenizas (Foto: R. Cepi); **C-** Detalle de las calles y autos en la ciudad de Bariloche durante la caída de cenizas (Foto: F. Bechis)

## PELIGROS GEOLÓGICOS

De acuerdo al lugar de origen del proceso geológico, esto es, sea que se produzca por la dinámica interna o externa de la Tierra, se los puede clasificar en dos grandes grupos:

**Peligros geológicos internos** → volcanes, sismos, tsunamis, diapiros

**Peligros geológicos externos** → inundaciones, erosión, movimientos de laderas, subsidencias naturales.

En esta contribución trataremos aquellos peligros geológicos que pueden manifestarse en la región donde vivimos, el noroeste de Argentina, y que son producto tanto de la actividad interna de la Tierra (volcanes y sismos) y de la dinámi-

ca externa (erosión y movimientos de suelos). Los procesos geológicos externos, pueden ocasionalmente ser disparados o inducidos por una posible acción antrópica (intervención del hombre). Cabe aclarar que si bien se clasifica el movimiento de laderas y/o suelos como un proceso geológico externo, bien podría entrar dentro del grupo de los internos, ya que uno de los mecanismos disparadores puede ser un sismo.

Es importante también determinar si los fenómenos geológicos se pueden predecir. La **Predicción** es la detección de un Peligro Geológico en el espacio (localización) y el tiempo (momento), identificando su desarrollo e intensidad.

## FENÓMENOS NATURALES PRODUCIDOS POR LA DINÁMICA DE LA TIERRA

### VOLCANISMO

Un **volcán** no es únicamente la forma o estructura que se genera en la superficie como resultado de la salida al exterior de material rocoso fundido (magma), sino, que está constituido por una **cámara magmática** (lugar donde se acumula el magma), un **conducto** a través del cual asciende el magma y un **centro de emisión o edificio volcánico** a partir del cual el magma es liberado a la superficie de la tierra (Figura 2) (Guzmán y Montero 2011). Existen diferentes formas de edificios volcánicos y estilos eruptivos, estos últimos en particular condicionarán el área de dispersión de los productos emitidos y el riesgo que los mismos pueden ocasionar. En esta sección hablaremos sobre el peligro que constituyen los volcanes. Para un mayor conocimiento del comportamiento de los mismos y su origen se remite al lector a consultar la literatura antes citada.

Para poder determinar la peligrosidad volcánica de una determinada área es necesario primero definir los términos volcán *activo*, *dormido* y *apagado*. De acuerdo con diversos autores, un volcán activo es aquel que tuvo alguna actividad de origen volcánico en los últimos 10.000 años, mientras que un volcán *dormido* es aquel que no registra actividad eruptiva en tiempos históricos; por último, un volcán *apagado* o *extinto* es aquel del cual no se espera que haga erupción nuevamente y que no muestra evidencias de actividad fumarólica (liberación de gases calientes) o sísmica. Lógicamente la identificación de un volcán dormido es compleja y dependerá de la existencia o no, de zonas pobladas en su proximidad. La cartografía geológica del área donde se localiza un volcán y el estudio de los depósitos generados por el mismo, permite conocer la historia eruptiva del volcán, lo que sumado al estudio del comportamiento actual del volcán (por ej., monitoreo de gases, de movimientos sísmicos, de anomalías de temperatura), permite tener un mejor conocimiento sobre posibles erupciones futuras. A partir de esta base se puede entonces construir un mapa de peligrosidad volcánica para una región determinada.

Cuando un volcán entra en erupción emite hacia la superficie y la atmósfera diversos componentes de acuerdo con la composición del magma almacenado en la cámara y al tipo de

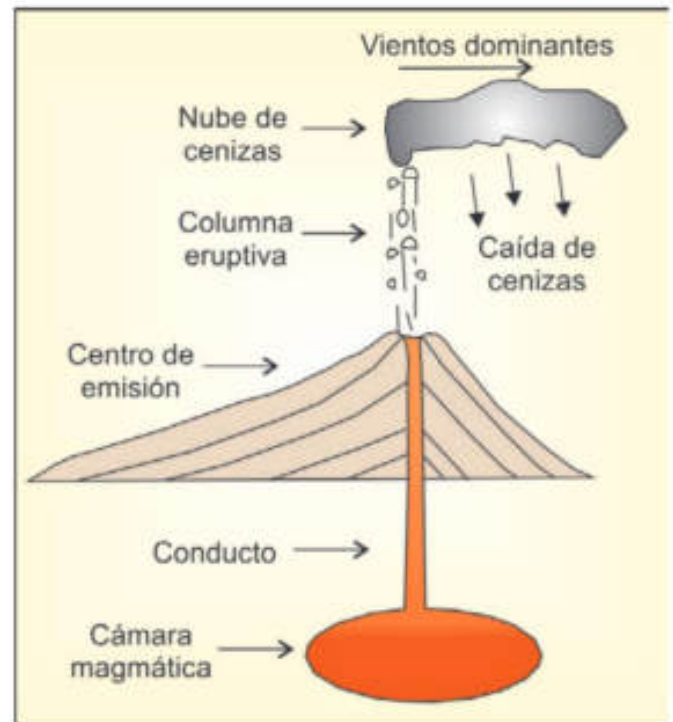


Figura 2: Ilustración de las partes que componen un volcán

erupción que se genera (efusiva o explosiva), lo cual está directamente relacionado con las propiedades físicas y contenido en volátiles (gases) del magma. Así tenemos una variedad de productos volcánicos, que van a tener un impacto diferente en el ambiente y mayor o menor peligrosidad volcánica. Es frecuente que cuando se habla de una erupción volcánica, inmediatamente pensemos en la emisión de coladas de lava, como el ejemplo típico de los volcanes de Hawái. Este tipo de erupciones, predominantemente efusivas (Figura 3A), son "tranquilas" y pueden estar acompañadas por pequeñas columnas eruptivas; la velocidad de movimiento de la lava en general es lo suficientemente lenta como para que se pueda evacuar una región, pero se pueden producir incendios forestales y destrucción de obras a lo largo de su recorrido. Otro problema habitual en Hawái a partir de este tipo de emisiones, es que frecuentemente se forman tubos de lava (la parte superficial de las coladas de lava se enfría más rápido que su interior y

por su interior continúa fluyendo a una velocidad mucho más elevada la lava caliente) que no se distinguen a simple vista de lavas solidificadas, por lo que implican un peligro elevado. Sin embargo, existen formas de monitoreo que permiten su identificación, como son las cámaras infrarojas que permiten detectar la temperatura de los objetos.

Por otro lado, usualmente condicionadas por la composición de los magmas, se producen erupciones "violentas", predominantemente explosivas (Figura 3B), donde el magma no fluye como lava, sino que los fragmentos de magma se rompen antes de llegar a la superficie y se generan columnas eruptivas formadas por fragmentos de magma, gas y partículas sólidas de las rocas que estaban alrededor de la cámara magmática. Las columnas eruptivas en su parte superior (cuando la densidad de la atmósfera se iguala con la densidad de la columna eruptiva) suelen desarrollar el denominado paraguas, que es una zona donde el transporte de las partículas está dominado por los vientos, pudiendo ser transportadas por miles de kilómetros. En algu-

nos casos, las columnas eruptivas pueden ir perdiendo energía gradualmente (reduciendo su altura hasta incluso desaparecer), al tiempo que van depositando material en áreas próximas (por proyección balística de los materiales) y alejadas (depósitos de caída desde la zona de paraguas) del centro eruptivo. En otros casos, las columnas eruptivas pueden hacerse inestables, perder sustento y colapsar por su propio peso, en dichos casos se generan "flujos piroclásticos" (corrientes fluidas calientes que transportan por acción de la gravedad material sólido y donde el medio continuo es el gas) que se desplazan a gran velocidad (más de 100 km/h) y pueden recorrer grandes distancias en muy poco tiempo, arrasando todo lo que encuentran a su paso. Estas erupciones suelen tener una elevada peligrosidad y pueden constituir un riesgo importante si existen poblaciones cercanas. Los volcanes que se encuentran a lo largo de la cordillera de los Andes pueden desarrollar este tipo de actividad, por lo que suelen ser peligrosos, pero dada su ubicación, lejos de áreas pobladas, por lo general implican bajo riesgo.



**Figura 3:** A-Erupción predominantemente efusiva ("tranquila") del volcán Stromboli (Italia) en 2011 (Foto: S. Guzmán); B- Erupción explosiva ("violenta") del Cordón del Caulle-Puyehue, Cordillera de los Andes (Chile) en Junio de 2011 (Foto: F. Negroni)

Otros productos volcánicos son por ejemplo la emisión de gases a la atmósfera que puede traer problemas respiratorios y/o contaminación de aire y agua, o también, las nubes de cenizas que se forman por encima de la columna eruptiva, las cuales pueden viajar distancias intercontinentales en la estratosfera, y afectar así a la navegación aérea, y al caer y depositarse en superficie, eventualmente y en función de su composición particular, contaminar cultivos y aguas. En la tabla 1 se muestran los factores de peligro volcánico y el tipo de daño que producen.

Factores de peligro	Tipo de daño
Proyección de bombas y escorias	Daños por impacto. Incendio
Caída de piroclastos	Recubrimiento por cenizas. Colapso de estructuras. Daños a la agricultura. Daños a instalaciones industriales
Dispersión de cenizas	Problemas en el tráfico aéreo. Falta de visibilidad
Lavas y domos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por lavas
Flujos piroclásticos	Daños a estructuras. Incendios. Recubrimiento por cenizas
Lahares*	Daños a estructuras. Arrastre de materiales. Recubrimiento por barros
Colapso total o parcial del edificio volcánico	Daños a estructuras. Recubrimiento por derrubios. Avalanchas. Tsunami inducido
Deslizamiento de laderas	Arrastre de materiales. Recubrimiento por derrubios. Daños a estructuras
Gases	Envenenamiento. Contaminación de aire y agua
Ondas de choque	Rotura de cristales y paneles
Terremotos y temblores volcánicos	Colapso del edificio volcánico. Deslizamiento de masas. Daños a estructuras.
Deformación del terreno	Fallas. Daños a estructuras
Variación en el sistema geotérmico de acuíferos	Cambios en la temperatura y calidad del agua
Inyección de aerosoles en la estratosfera	Impacto en el clima. Efectos a largo plazo y/o a distancia

**Tabla 1.** Peligrosidad volcánica (NLA 1992 modificado, Ortiz 2000)

Cada uno de los elementos mostrados en la tabla 1 constituye un peligro volcánico por lo que deben ser evaluados por separado y definir para cada uno de ellos su magnitud (volumen y energía), alcance, duración del impacto y tiempo de propagación (Ortiz, 2000).

\*Lahar: es un flujo de detritos (partículas) que se origina en las laderas o cercanías de un volcán y donde el material volcánico suelto es transportado por el agua; los lahares pueden generarse por la presencia de un lago o el derretimiento de un glaciar en el volcán o por fuertes tormentas.

## MONITOREO DE VOLCANES ACTIVOS

El monitoreo de los volcanes se lleva a cabo a fin de conocer su comportamiento y poder advertir una potencial actividad que implique un peligro geológico. No es posible "predecir" cuándo exactamente ocurrirá una erupción volcánica ni su grado de explosividad, pero se puede esperar tener una buena aproximación si el volcán en cuestión está monitoreado. Una de las dificultades más grandes que se presenta para poder predecir una posible erupción es la ausencia de monitoreo. Sin embargo, debido a que las instalaciones y recursos necesarios para llevar a cabo este tipo de actividad en general implican un elevado costo, su construcción debe justificarse.

En la actualidad las técnicas de monitoreo son vastas y complementarias entre sí. Existen métodos basados en el análisis de imágenes satelitales que permiten detectar áreas con anomalías térmicas, presencia de cenizas o zonas en donde la emisión de un determinado gas (por ejemplo dióxido de azufre) es elevada, de esta manera, aún sin esperar que un volcán dormido o uno nuevo pueda tener actividad, estas herramientas permiten reconocer la presencia de un potencial volcanismo. Un primer acercamiento para evaluar la peligrosidad de un volcán consiste en confeccionar mapas de peligrosidad volcánica, en base a las características de los depósitos volcánicos encontrados y a su recurrencia en el tiempo, así se puede conocer cuál ha sido la mayor explosividad que un volcán ha tenido y por lo tanto conocer el comportamiento que éste puede tener. No obstante, se debe tener en cuenta que los estilos eruptivos de un volcán a lo largo de su historia pueden cambiar.

Existen muchos volcanes a nivel mundial (ejemplo: Stromboli y Etna en Italia, Tungurahua y Cotopaxi en Ecuador, Galeras en Colombia, Popocatepetl en México, Yasur en la Isla de Tanna, Vanuatu) que tienen varias erupciones durante el año o que muestran una elevada actividad (emisión de gases, sismicidad relacionada a la cámara magmática); en dichos casos se justifica la construcción de observatorios volcánicos que permiten monitorearlos. Las técnicas de monitoreo incluyen la observación del volcán a través de cámaras fotográficas fijas que tienen un

registro del comportamiento del mismo, variaciones en la forma del volcán u ocurrencia visible de actividad fumarólica, etc. El monitoreo volcánico incluye una pléyade de instrumentos, como son las imágenes satelitales, cámaras ultravioletas e infrarrojas, sensores químicos, muestreo directo de gases y de composición de aguas, sensores infrasónicos, espectrómetros, radares de apertura sintética y sistemas de posicionamiento global que permiten conocer la deformación de un volcán (y de cualquier geoforma). El uso de sismómetros es de gran ayuda dado que cuando el magma asciende por el conducto volcánico interactúa con las rocas que atraviesa en su camino hacia la superficie y genera sismos que están restringidos arealmente a las cercanías del volcán y representan eventos sísmicos con características peculiares ("eventos volcano-tectónicos", "eventos de largo periodo", "tremor volcánico", etc.). En muchas ocasiones la combinación de los datos obtenidos a partir de sismómetros junto con otras herramientas de monitoreo como por ejemplo un incremento súbito de emisión de  $\text{SO}_2$  permite emitir alertas de una posible erupción y estimar con cierto grado de certidumbre cuándo se producirá la erupción. Además, una vez iniciada una erupción existen muchas otras técnicas, particularmente basadas en modelado numérico y que hacen uso de las herramientas antes citadas en combinación con datos meteorológicos para estimar áreas de dispersión de cenizas, posibles zonas de canalización de flujos piroclásticos, lahares, etc.

Es decir que si un volcán entra en actividad, sus signos premonitores pueden ser percibidos si está siendo debidamente monitoreado (Ortiz y García 2000), aunque hay que tener en cuenta que también los mismos datos, por ej. los sísmicos, se pueden analizar de maneras muy distintas y solo algunas técnicas revelan determinados cambios (Carniel 2012). Sin embargo, de los 538 volcanes conocidos que han producido erupciones en tiempos históricos, menos de la mitad son vigilados permanentemente (McGuire 1995), y además, muchos de los volcanes considerados activos ni siquiera han sido cartografiados, por lo que se desconoce su historia geológica (Lockwood y Hazlett 2010).

## ¿CUÁLES SON LOS VOLCANES ACTIVOS EN LA REGIÓN NOROESTE DE NUESTRO PAÍS?

En el N.O.A. se encuentra registro de sólo tres volcanes históricamente activos de acuerdo a Sigurdsson y otros y el Museo de Historia Natural Smithsonian:

El **Aracar** es un estratovolcán que se encuentra ubicado en la provincia de Salta (24°15' S - 67°46'O) y tiene una altura de 6082 m.s.n.m. A partir de estudios de imágenes satelitales se ha interpretado que en el año 1993 tuvo actividad explosiva.

El **Llullaillaco** se encuentra en el límite entre Argentina y Chile (24°43'S - 68°32'O), en la provincia de Salta. Se han reportado erupciones históricas en los años 1854, 1868 y 1877. Posee 6739 m de altitud. Es el volcán históricamente activo más alto del mundo. En los últimos tiempos ha cobrado notoriedad por el hallazgo de momias que revelan la existencia del santuario inca que constituye el yacimiento arqueológico más alto conocido hasta el presente.

Los estratovolcanes del **Lascar** se hallan ubicados a los 23°22'S - 67°44'O, en Chile, con su pico más elevado de 5592 m. Los registros históricos más antiguos de los que se tiene conocimiento son del año 1848, mientras que una de las erupciones más grandes ocurrió hace 26500 años. Ha estado activo casi continuamente desde su erupción explosiva de 1986. La erupción histórica más grande fue la del 18 al 26 de abril de 1993, siendo los últimos registros de actividad eruptiva del año 2007. A pesar de que este volcán no se encuentra ubicado en Argentina, los productos de su actividad se propagan hasta el territorio argentino, por lo que lo incluimos aquí.

## SISMICIDAD

Otro de los fenómenos naturales que constituyen un peligro geológico y un gran riesgo potencial para la comunidad son los sismos o terremotos. En esta sección daremos una definición de sismo, trataremos sobre la ocurrencia de eventos históricos y recientes y acerca de la metodología utilizada para su estudio. Las bases teóricas para entender como se originan y la dinámica interna de la Tierra vinculada a ellos fueron tratadas por Hongn y García (2011) en una contribución anterior.

Los sismos son fenómenos naturales producto de la dinámica interna de nuestro planeta, durante los cuales se libera energía acumulada en las rocas de los aprox. 800 km de las capas externas de la Tierra y que se disipa parcialmente en forma de ondas sísmicas hasta alcanzar la superficie (Figura 4). Cuando estos eventos son someros (profundidades de hasta 50 km) se relacionan con desplazamientos de materiales rocosos frágiles sobre planos denominados fallas geológicas (Figura 5), las cuales algunas veces pueden alcanzar a romper la superficie terrestre. Comúnmente se refiere a los sismos como temblores o terremotos, de acuerdo a como es percibido por la gente y los daños que ocasionan. Un sismo se mide por su magnitud, directamente relacionada a la cantidad de energía liberada desde el foco o hipocentro, y en la Argentina se usa la escala de Richter que va desde valores menores a 3,5 a mayores a 9 (sin límite inferior y superior), aunque se conocen muy pocos terremotos históricos a escala global que hayan superado la magnitud 9 (Figura 6).

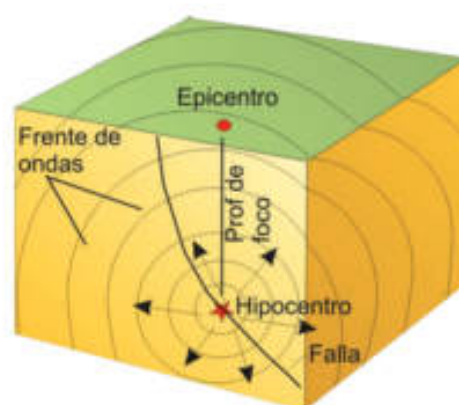
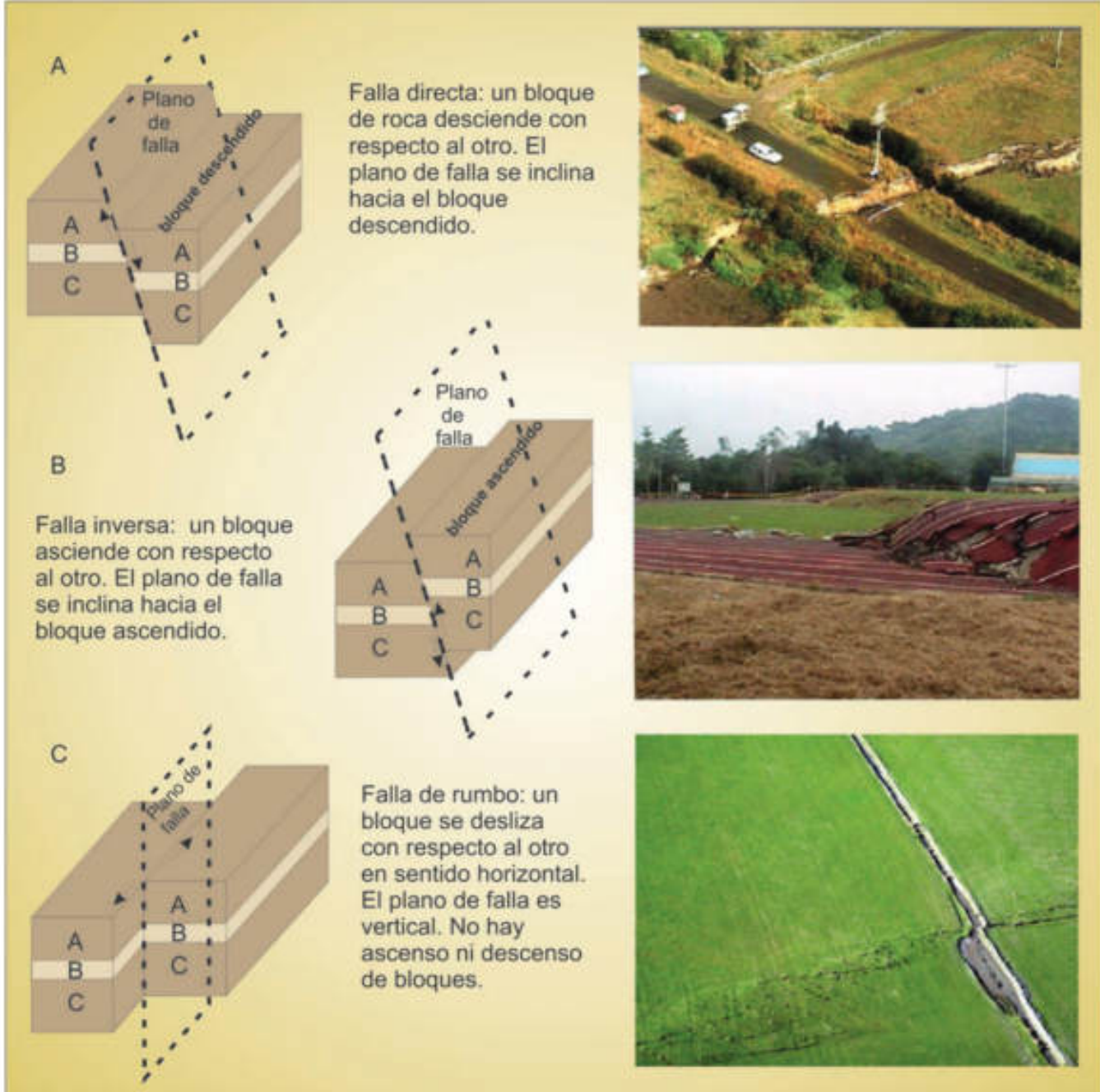


Figura 4: Corte de la Tierra donde se ilustra el proceso de un sismo

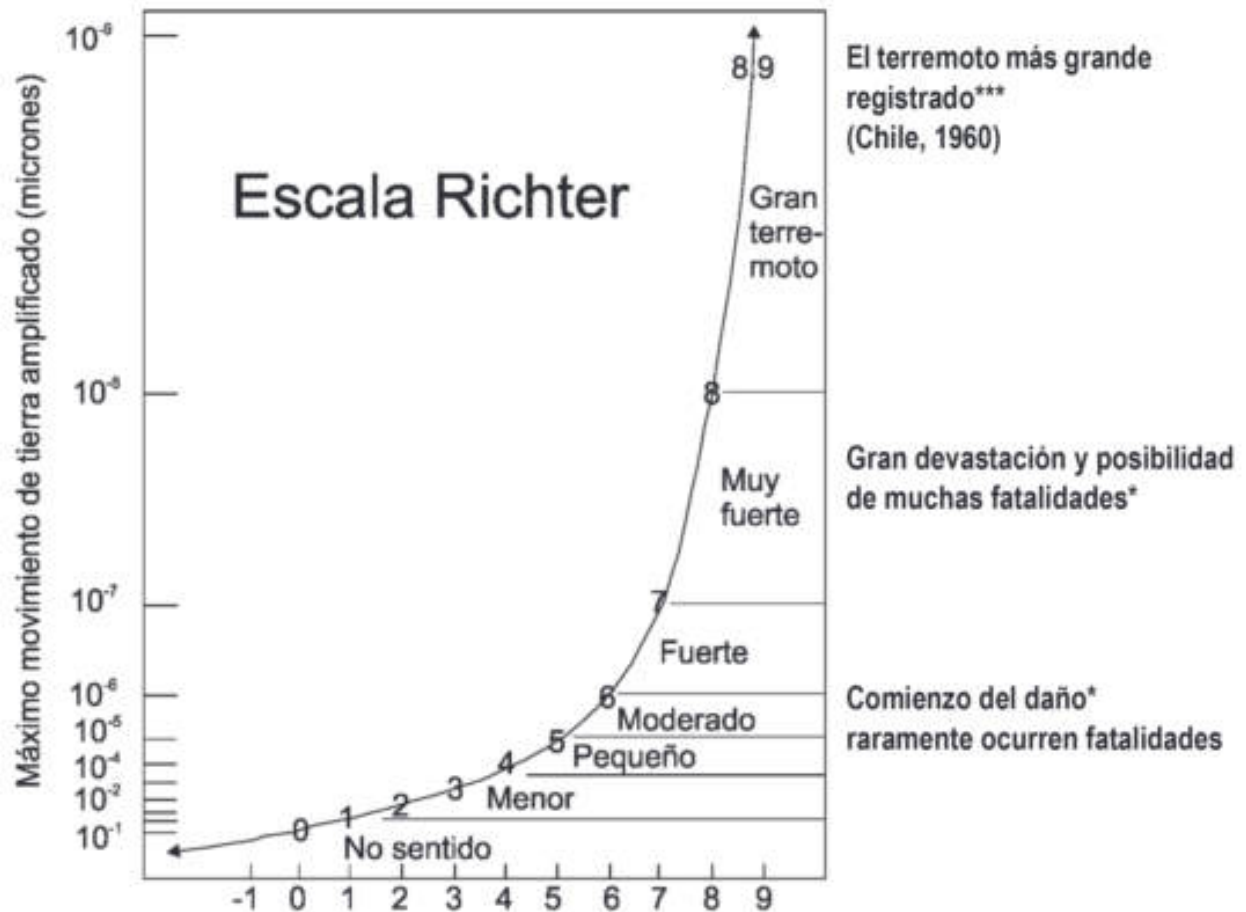
Las fallas son fracturas que se producen en las rocas al liberarse la energía elástica que van acumulando por estar sometidas a esfuerzos dentro del interior de la Tierra. Las fallas separan bloques de rocas y tienen un desplazamiento que es paralelo a la superficie de fractura.



**Figura 5:** Tipos de fallas geológicas: A- Falla normal o directa, ejemplo del terremoto de Edgecumbe (Nueva Zelanda) en 1987 (Foto: L. Homer, IGNS); B- Falla inversa, ejemplo del terremoto de Chi-Chi (Taiwan) en 1999 (Foto: Geol. Survey of Taiwan); C- Falla de rumbo, ejemplo del terremoto de Canterbury (Nueva Zelanda) en 2010 (Foto: GNS Science, Nueva Zelanda)

Otro de los parámetros adimensionales con los que se caracteriza a un sismo es la "intensidad", es decir, es una evaluación de cómo es sentido o percibido el sismo por el hombre y los animales, y las consecuencias o daños que se generan en las edificaciones y el terreno. En Argentina se utiliza la escala modificada de Mercalli, donde se separa a la intensidad del sismo en doce categorías. El organismo encargado de registrar la sismicidad en nuestro país es el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), el cual realiza estudios e investigaciones básicas y aplicadas de sismología e ingeniería sísmorresistente, destinados a la prevención del riesgo sísmico ([www.inpres.gov.ar](http://www.inpres.gov.ar)).





**MAGNITUD = escala logarítmica de la máxima amplitud medida en micrones \*\***

\* Los efectos pueden variar en gran medida debido a las construcciones, densidad de población, profundidad del suelo, profundidad del foco, etc.

\*\* Micrón = millonésima parte del metro

\*\*\* Equivalente a un momento de magnitud de 9.5

**Figura 6:** Escala de magnitud de Richter (modificado de V.J. Ansfield)

De acuerdo con la profundidad del punto donde se origina el sismo (foco o hipocentro), se producirán mayores o menores daños en superficie. Por ej., aquellos ubicados a grandes profundidades, mayores a 50-100 km raramente son sentidos en superficie y las ondas llegan atenuadas sin producir daños, pero los sismos que ocurren a profundidades menores a 50 km, denominados "superficiales" o "someros", son aquellos que representan mayor peligro.

Los terremotos de magnitud mayor a 6,5 que ocurren a profundidades menores de 30 km producen deformaciones en el terreno y son los que constituyen mayores peligros para la comunidad (Costa 2004).

A fin de conocer y caracterizar la peligrosidad sísmica de una región es necesario realizar un estudio geológico del terreno y una recopilación de datos existentes sobre los terremotos, momento y fecha de ocurrencia, localización, daños producidos, así como datos, en caso de existir, de la magnitud e intensidad del mismo, recurrencia y el tiempo transcurrido desde el último evento con ruptura superficial asociada o al menos documentado en la estratigrafía y/o morfología existente. Desde el punto de vista geológico es necesario realizar un análisis "neotectónico" para caracterizar (localización, tamaño, cinemática) aquellas estructuras (fallas, pliegues) potencialmente activas, o sea, aquellas que tuvieron actividad durante

Neotectónico/a: Esta rama de la geología estudia los movimientos tectónicos o deformaciones que se estiman jóvenes o modernas en sentido amplio, sin tener una precisión cronológica. Se puede hablar de deformaciones o fallas activas holocenas o cuaternarias



**Figura 7:** Vista de una trinchera que se realiza para estudiar aquellas fallas con actividad cuaternaria (Foto: F. Audemard, FUNVISIS Venezuela)

el Cuaternario, y que produjeron roturas o modificaciones en el paisaje actual. Estudios paleosismológicos de detalle realizados sobre los sedimentos involucrados en la deformación cuaternaria permiten determinar la ocurrencia de paleosismos, así como caracterizarlos (magnitud, desplazamiento, edad, cinemática) (Figura 7).

## ¿SE PUEDE PREDECIR UN TERREMOTO?

Mucha gente se pregunta si es posible predecir un sismo, esto es definir cuándo y dónde se producirá y que magnitud alcanzará. Si bien se cuenta con la instrumentación necesaria para medir los sismos (sismógrafo) y hay un mayor grado de conocimiento de la geología de las regiones que potencialmente pueden verse afectadas por un terremoto, no es posible dar una estimación exacta de cuando se producirá un terremoto. Se pueden generar mapas de peligrosidad sísmica de determinadas regiones y se puede "prever" y "prevenir" un terremoto. Esto quiere decir, *prever* o pronosticar que puede suceder un sismo de magnitud dada en un determinado periodo de tiempo mediante el estudio de la geología y recurrencia sísmica de la región, estableciendo así por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia de un sismo de magnitud mayor a 6,5 en una zona dada, en un lapso de 50 ó 100 años, de acuerdo al caso.

Por otra parte, si se generan los mapas de peligrosidad y riesgo sísmico para una región, se pueden *prevenir* los daños que se pudieran ocasionar tomando medidas ante la inminencia de un suceso. Por ejemplo, si ocurre un terremoto de magnitud superior a 7 y el foco es superficial, no generará los mismos daños si se ubica el epicentro en la Puna que en

el valle de Lerma, o en zonas de mayor densidad poblacional. Entonces, una ciudad debe contar con un ordenamiento territorial, normas sismorresistentes para la construcción de las edificaciones y planes de emergencia en caso de ocurrir un sismo. De esta forma es posible disminuir los daños ocasionados por un gran terremoto.

## ¿QUÉ ES LA VULNERABILIDAD SÍSMICA?

La *vulnerabilidad sísmica* de una construcción edilicia se define como su comportamiento descrito por una ley causa-efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño (Sandy 1986) y está relacionada con las características de propagación de las ondas sísmicas y de la respuesta del terreno en una zona determinada. En muchos casos se debe tener en cuenta lo que se denomina el "efecto de sitio", esto es la amplificación que sufren las ondas sísmicas por la geología del terreno (características de las rocas y/o suelos). Por ejemplo, los suelos blandos son los que mayor amplificación producen. Cabe destacar que durante el sismo de Talavera de Esteco del 13 de Diciembre de 1692 se reportaron "borbotones de agua" y tierra que inundaron el terreno tanto en el valle de Lerma como en las cercanías de la actual ciudad de Metán (Alcedo 1789 en Perucca et al. 2006).

## SISMICIDAD HISTÓRICA EN ARGENTINA

En nuestro país se tiene registro de dos terremotos históricos de gran magnitud ocurridos entre los siglos XVII y XIX, los cuales se agrupan entre los sismos destructivos más

importantes de la Argentina. El de Talavera de Esteco (Salta) ocurrió el 13 de Setiembre de 1692, se considera como el de mayor magnitud (7,0) de los terremotos que ocurrieron en el norte argentino y el primer sismo destructivo del que se tiene conocimiento; y el de Mendoza el día 20 de Marzo de 1861, con una magnitud de 7,2, que alcanzó una destrucción del 90% de las edificaciones y con un número de víctimas de 5000 sobre una población de aproximadamente 8000 habitantes.

El terremoto de mayor magnitud registrado en la Argentina y con el mayor número de víctimas (alrededor de 10000 muertos) es el de San Juan de 1944, con una magnitud de 7,8 y causó la destrucción de la ciudad de San Juan y departamentos vecinos. En la tabla 2 se muestra una lista de los terremotos históricos ocurridos en nuestro país, información obtenida del INPRES, donde se resaltan en color rojo aquéllos ocurridos en la región del NOA.

	Descripción	Intensidad	Latitud	Longitud
1	13 de septiembre de 1692, SALTA	IX	-25,400	-64,800
2	22 de mayo de 1782, MENDOZA	VIII	-33,000	-69,200
3	27 de octubre de 1804, SAN JUAN - MENDOZA	VI	-31,800	-67,900
4	4 de julio de 1817, SANTIAGO DEL ESTERO	VIII	-28,000	-64,500
5	19 de enero de 1826, TUCUMÁN	VII	-26,200	-65,250
6	18 de octubre de 1844, SALTA	VII	-24,800	-64,700
7	20 de marzo de 1861, MENDOZA	IX	-32,900	-68,900
8	14 de enero de 1863, JUJUY	VIII	-23,600	-65,000
9	9 de octubre de 1871, SALTA	VIII	-23,100	-64,300
10	6 de julio de 1874, SALTA	VII	-23,000	-64,200
11	01 de febrero de 1879, TIERRA DEL FUEGO	VII	-53,000	-70,670
12	19 de agosto de 1880, MENDOZA	VI	-33,000	-69,000
13	23 de septiembre de 1887, SALTA	IX	-22,030	-63,700
14	5 de junio de 1888, BUENOS AIRES	VI	-34,600	-57,900
15	21 de marzo de 1892, CATAMARCA	VII	-29,500	-65,000
16	27 de octubre de 1894, SAN JUAN	IX	-29,800	-69,000
17	5 de febrero de 1898, CATAMARCA	VIII	-28,450	-66,150
18	23 de marzo de 1899, SALTA	VIII	-22,100	-63,800
19	12 de abril de 1899, LA RIOJA	VIII	-28,650	-68,400
20	12 de agosto de 1903, MENDOZA	VII	-32,100	-69,100
21	17 de noviembre de 1906, TUCUMÁN	VII	-26,750	-65,700
22	11 de agosto de 1907, TUCUMÁN	VI	-27,200	-65,500
23	19 de noviembre de 1907, TIERRA DEL FUEGO	VI	-53,000	-70,500
24	5 de febrero de 1908, SALTA	VII	-25,200	-64,700
25	22 de septiembre de 1908, CÓRDOBA	VII	-30,100	-64,200
26	1 de febrero de 1909, SALTA	VI	-24,700	-66,250
	Descripción	Intensidad	Latitud	Longitud
27	6 de noviembre de 1913, TUCUMÁN	VI	-26,800	-65,100
28	27 de julio de 1917, MENDOZA	VII	-32,300	-68,900
29	17 de diciembre de 1920, MENDOZA	VIII	-32,700	-68,400
30	14 de octubre de 1925, SALTA	VI	-23,100	-64,400
31	14 de abril de 1927, MENDOZA	VIII	-32,000	-69,500
32	23 de mayo de 1929, MENDOZA	VI	-32,900	-68,900
33	30 de mayo de 1929, MENDOZA	VIII	-35,000	-68,000
34	23 de septiembre de 1930, SALTA	VI	-25,700	-66,000
35	24 de diciembre de 1930, SALTA	VIII	-24,700	-66,300
36	3 de abril de 1931, TUCUMÁN	VII	-27,000	-65,000
37	12 de febrero de 1933, TUCUMÁN	VI	-26,600	-65,350
38	11 de junio de 1934, CÓRDOBA	VIII	-33,500	-64,500

39	22 de mayo de 1936, SAN LUIS	VIII	-32,600	-66,000
40	23 de noviembre de 1936, MENDOZA	VI	-33,300	-68,750
41	3 de julio de 1941, SAN JUAN	VII	-31,800	-67,800
42	5 de julio de 1942, MENDOZA	VI	-34,750	-68,250
43	15 de enero de 1944, SAN JUAN	IX	-31,400	-68,400
44	16 de enero de 1947, CÓRDOBA	VII	-31,100	-64,500
45	21 de enero de 1948, CORRIENTES	VI	-30,500	-58,000
46	25 de agosto de 1948, SALTA	IX	-24,900	-64,800
47	17 de diciembre de 1949, TIERRA DEL FUEGO	VIII	-54,000	-68,770
48	11 de junio de 1952, SAN JUAN	VIII	-31,800	-68,600
49	28 de mayo de 1955, CÓRDOBA	VI	-30,800	-65,200
50	24 de octubre de 1957, LA RIOJA	VII	-28,900	-68,000
51	12 de mayo de 1959, SALTA	VIII	-23,180	-64,650
52	21 de octubre de 1966, CATAMARCA	VII	-27,720	-67,340
53	30 de octubre de 1966, SALTA	VI	-22,400	-63,900
54	10 de noviembre de 1968, SAN JUAN	VI	-31,950	-68,400
55	25 de abril de 1967, MENDOZA	VI	-32,700	-69,000
56	15 de octubre de 1968, CHACO	VI	-26,870	-60,880
57	26 de septiembre de 1972, SAN JUAN	VI	-30,907	-68,210
58	19 de noviembre de 1973, JUJUY	VII	-24,578	-64,588
59	17 de agosto de 1974, SALTA	VII	-23,000	-64,000
60	7 de junio de 1977, LA RIOJA	VII	-29,743	-67,802
	Descripción	Intensidad	Latitud	Longitud
61	23 de noviembre de 1977, SAN JUAN	IX	-31,041	-67,764
62	6 de diciembre de 1977, SAN JUAN	VI	-31,238	-67,901
63	17 de enero de 1978, SAN JUAN	VI	-31,251	-67,998
64	9 de mayo de 1981, TUCUMÁN	VI	-26,571	-64,898
65	26 de enero de 1985, MENDOZA	VIII	-33,120	-68,820
66	29 de febrero de 1992, TUCUMÁN	VI	-26,689	-64,936
67	8 de junio de 1993, SAN JUAN	VI	-31,560	-69,234
68	30 de octubre de 1993, SAN JUAN	VI	-31,704	-68,232
69	16 de diciembre de 1993, JUJUY	VI	-23,567	-65,016
70	17 de junio de 1997, SGO. DEL ESTERO	VI	-27,744	-64,753
71	28 de mayo de 2002, LA RIOJA	VIII	-29,106	-66,839
72	4 de agosto de 2003, ISLAS ORCADAS	VII	-60,532	-43,411
73	7 de septiembre de 2004, CATAMARCA	VII	-28,800	-66,140
74	5 de agosto de 2006, MENDOZA	VI	-33,215	-68,933
75	10 de diciembre de 2008, MENDOZA	VI	-32,941	-69,265
76	27 de febrero de 2010, SALTA	VII	-24,872	-65,602
77	21 de febrero de 2011, TUCUMÁN	VI	-27,174	-64,983
78	6 de octubre de 2011, JUJUY	VI	-24,248	-64,352

Tabla 2: Terremotos históricos de la República Argentina  
(fuente: <http://www.inpres.gov.ar/seismology/historicos.php>)

## MOVIMIENTOS EN MASA

Cuando se habla de movimientos en masa se hace referencia a un amplio rango de fenómenos naturales que engloban procesos dominados por la gravedad donde hay un transpor-

te de materiales (suelo o roca) pendiente abajo; el transporte puede ser por caída, por flujo o por deslizamiento (tabla 3 y figura 8). Estos procesos pueden ocurrir a velocidades lentas o


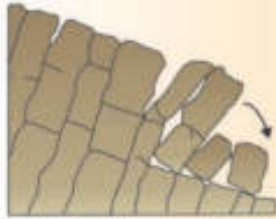





ser muy rápidos, englobar volúmenes variados de rocas desde 1m<sup>3</sup> a 1000 millones de m<sup>3</sup> y tener desplazamientos de metros a decenas de kilómetros.

Las causas que generan este tipo de procesos son variadas pero el factor común es que todas las laderas montañosas están sometidas a esfuerzos debido a la acción de la gravedad. Algunos autores separan los factores que intervienen en estos procesos en *causas externas*, que provocan un incremento del esfuerzo de cizallamiento, donde se incluyen el incremento del ángulo de pendiente (debido a erosión o excavación), el aumento de carga en la ladera (debido a depositación de materiales o construcciones) y cambios en la vegetación; y *causas*

*internas*, las que generan una reducción de la resistencia de cizallamiento, como ser la meteorización química y física de los materiales que forman la ladera, o cambios en las condiciones del agua subterránea (Terzaghi 1950). Por otro lado, Ferrer Gijón (1989) los clasifica como factores condicionantes y desencadenantes. Entre los primeros, se incluye las propiedades intrínsecas del macizo rocoso como son la litología, estructuras, las condiciones y el comportamiento hidrogeológico de los materiales y las propiedades físicas de estos. Los factores desencadenantes son los externos como el cambio de clima, cambio de las condiciones hidrogeológicas, variación en la geometría de los taludes (laderas).

Tipo de movimientos		Tipo de material			
		Roca		Suelo	
Caída		Caída de roca o desprendimientos			
Volcamiento		Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso			
Deslizamiento	Rotacional	Asentamiento			
	Planar	Deslizamiento de rocas			
Desplazamiento lateral		Bloques		Suelos	
Flujo		Inconsolidado			
		Húmedo→ Seco	Bloques	Detritos	>50% arena, limo y arcilla
			Flujo de escombros	Flujo de detritos o derrubio	Flujo de barro
Reptación				Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción	
Deslizamiento complejo		Combinación de materiales y tipo de movimientos			

Tabla 3. Tipos de movimientos gravitacionales (adaptado de Varnes 1978)

CAÍDA O DESPRENDIMIENTOS		
VOLCAMIENTOS		
DESPLAZAMIENTOS	ROTACIONAL	
	TRASLACIONAL O PLANAR	
FLUJOS		
REPTACIÓN DE SUELOS		
SOLIFLUXIÓN		

Existen varios métodos para determinar la peligrosidad geológica de una zona expuesta a movimientos en masa; uno de ellos consiste en una correcta evaluación de los parámetros geológicos de las laderas construyendo un mapa geomorfológico, donde se vuelcan datos como el tipo de roca, las estructuras presentes (fracturas, fallas, pliegues), el ángulo de la pendiente, la presencia de suelo y vegetación y características de estos. Todo esto sumado a los datos hidrológicos del área y de eventos sísmicos los cuales pueden constituir el factor disparador de los procesos gravitacionales, permiten tener un mayor grado de conocimiento sobre un posible peligro. Además, se debe conocer la distribución espacial de los eventos, su recurrencia en el tiempo, tipo y dimensiones, grado de actividad, velocidad, distancia alcanzada.

Existen ejemplos mundiales de deslizamientos o avalanchas de roca de dimensiones considerables pero que al haber ocurrido en zonas deshabitadas no constituyeron un desastre natural; entonces el "riesgo" debe ser evaluado a partir de la interacción entre la peligrosidad y los elementos expuestos al daño, como ser las poblaciones cercanas, número de habitantes, infraestructuras (edificios, caminos, etc.), actividades económicas (Figura 9). Además se debe evaluar el efecto que tiene la acción antrópica en el área potencialmente afectada. Al igual que los sismos o las erupciones volcánicas, se puede conocer el lugar probable y la frecuencia de ocurrencia del fenómeno potencialmente dañino pero no es posible predecir el tiempo y lugar exactos de ocurrencia.

Figura 8: Esquema de los diferentes tipos de movimientos en masa



**Figura 9:** A- Vista área del río Tartagal después del alud de Febrero de 2009 (Foto: Baumann et al. 2009);  
 B- vista de las vías en la quebrada del Toro cortadas por un flujo de detritos (Foto: [www.periovista.com.ar](http://www.periovista.com.ar)).

## EJEMPLOS DE DESASTRES NATURALES OCURRIDOS EN EL NOA EN TIEMPOS RECIENTES Y DEL PASADO

### VOLCANES

Ejemplo fósil: volcanes Los Gemelos (La Poma, Salta)

Los volcanes Los Gemelos se encuentran ubicados unos 5 Km. al sureste del pueblo de La Poma (Salta), en los valles Calchaquíes. Son dos conos monogenéticos de composición básica, y un tercer conducto eruptivo. Los conos de escoria presentan una morfología muy bien preservada y resaltan en el paisaje por su coloración negra. Estos volcanes han arrojado bombas y escorias (magma vesiculado solidificado) a los que la gente denomina piedra pómez (si bien en términos científicos piedra pómez se restringe a magma vesiculado de composición ácida), de ahí que el pueblo ubicado a sus pies se denomina "La Poma". Además, a partir de estos volcanes se han generado flujos de lava que alcanzaron el río Calchaquí, cerrándolo temporalmente y con la consiguiente formación de un lago, aunque con el paso del tiempo el río consiguió erosionar las lavas y retomar su curso. La edad que se asigna para la construcción de estos centros volcánicos es de 35.000 a 50.000 años A.P. (Guzmán y Petrinovic 2005).

Ejemplo actual: volcán Lascar (cordillera de los Andes, Chile)

El volcán Lascar con 5592 m.s.n.m. se encuentra emplazado en la cordillera de los Andes, en territorio chileno, a la altura de la provincia de Jujuy. Debido a que se encuentra localizado en un sector alejado de grandes poblaciones e infraestructuras, su peligrosidad es baja. La primera actividad del volcán data de 26.000 años A.P., mientras que en tiempos históricos se registraron frecuentes erupciones explosivas pequeñas a moderadas en volumen (en los últimos 25 años: 1986, 1988, 1990, 1993, 2000, 2006). La erupción histórica más grande fue en el año 1993, donde se produjo un flujo piroclástico que descendió en dirección NO y alcanzó unos 8,5 Km. de distancia desde el volcán y una nube de cenizas, las cuales cayeron en la región de las ciudades de Salta y Jujuy, y llegaron incluso hasta Buenos Aires. En este volcán se registra actividad fumarólica permanente.

## SISMOS

Ejemplo fósil: Talavera de Esteco (Salta)

El 13 de Setiembre de 1692 la ciudad de Talavera de Esteco (Salta) fue destruida por completo por un sismo, que de acuerdo a las investigaciones de los daños observados, se le asigna una magnitud de 7 en la escala de Richter. Se considera como el de mayor magnitud ocurrido en el norte argentino y el primer sismo destructivo que se conoce de la Argentina. Toda la información existente indica que el epicentro de ese sismo ocurrió en las inmediaciones de Talavera de Esteco.

Ejemplo actual: Valle de Lerma (Salta)

Al mediodía del 27 de Febrero de 2010 la población de la ciudad de Salta y ciudades vecinas se vieron sorprendidas por un fuerte movimiento sísmico que alcanzó una magnitud de 6,1 e intensidad de VII, ubicándose el foco a una profundidad de 14 km y el epicentro en las cercanías de La Silleta. Ocurrieron derrumbes y daños materiales en construcciones no sismorresistentes que causaron la muerte de dos personas. Estudios realizados utilizando los sismogramas de estaciones globales permitieron determinar que el terremoto estuvo asociado al desplazamiento de una falla inversa con una leve componente de rumbo sinistral (García et al. 2011). Dado que no se registró deformación superficial del terreno vinculada con el sismo, se estima que podría tratarse de una falla ciega sin expresión morfológica en superficie. Estudios recientes acerca de la neotectónica del valle de Lerma representan un aporte de importancia para ayudar a establecer con mayor precisión el riesgo sísmico de la región (García et al. 2011, 2012).

## MOVIMIENTOS EN MASA

Ejemplo fósil: Deslizamiento del Cerro El Zorrito (Valles Calchaquíes, Salta)

En el Cuaternario tuvieron lugar una serie de eventos de deslizamiento de laderas del cerro El Zorrito, localizado en cercanías de la ciudad de Cafayate, a la entrada de la quebrada Las Conchas. Los deslizamientos estuvieron favorecidos estructuras planares en la ladera del cerro, actuando como superficies de deslizamiento. Los con-

glomerados acarreados por estos procesos generaron el cierre (endicamiento) del río Las Conchas, formando así un lago que se estima duró unos 4000 años. Posteriormente, el río volvió a incidir en los depósitos, esto es se volvió a abrir paso y retomar su curso actual (Gallardo 1988; Hermanns y Strecker 1999; Kleinert et al. 1997).

Ejemplo actual: Avalancha de detritos y suelos en Tartagal (Salta)

El evento comenzó el día 9 de Febrero a las 5 de la mañana en la cuenca alta del río Tartagal, donde una copiosa lluvia desencadenó una multitud de movimientos en masa tales como avalanchas de detritos y deslizamientos, luego los sedimentos y los fragmentos de vegetación se movilizaron por las quebradas tributarias hacia el río Tartagal. La crecida llegó a la ciudad a las 9 de la mañana y se produjo un endicamiento debido a la reducción del cauce de 54 m a 14 m por la presencia del puente carretero de la avenida Packham, quedando retenidos allí, un enorme volumen de troncos y sedimentos. La presión de todo el material además arrancó y corrió el puente del ferrocarril que quedó adosado al puente de la ruta. Finalmente, el material acumulado aguas arriba del puente superó el nivel de la ruta, pasó por encima de la misma e ingresó en la ciudad inundando y arrasando con lo que hallaba a su paso, hallándose vehículos soterrados 20 km al este de la ciudad de Tartagal (Baumann et al 2009).

El factor desencadenante fue la intensa lluvia que cayó en la alta cuenca durante la madrugada del 9 de febrero. Los factores condicionantes fueron las características geomorfológicas, litológicas, estructurales, tectónicas y climáticas de la región. La gran disponibilidad de restos vegetales, entre los que se destacan troncos de gran porte caídos y desprendidos de las laderas y terrazas, constituyen además otro factor que favorece la formación de diques. La cuenca ha sido modificada por actividad antrópica desde la fundación de la ciudad en el año 1924. Las obras realizadas en la zona se relacionan con la actividad petrolera (picadas, caminos y líneas sísmicas), explotación forestal, actividad agropecuaria, oleoductos, e infraestructura urbana (Baumann et al. 2009).



## LITERATURA CITADA Y RECOMENDADA

- Astiz M., García A. 2000. Curso Internacional de Volcanología y Geofísica volcánica. Servicio de Publicaciones Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote, Madrid. 458 p.
- Baumann V., Seggiaro R., Azcurra D., García V. 2009. Inundación de detritos en la ciudad de Tartagal, provincia de Salta. Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas, Peligrosidad Geológica N°15, 26 pp.
- Carniel R. 2012. Time series analysis: dynamical evolution of spectral, deterministic and stochastic parameters for the characterization of volcanic activity, Geophysics and Geochemistry, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK. <http://www.eolss.net>.
- Costa C.H. 2004. Neotectónica. En: González M.A., Bejerman N.J. (Eds.), Peligrosidad geológica en la Argentina. Metodología de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación Especial N° 4, Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, 528 p.
- Ferrer Gijón M. 1989. Estabilidad de taludes en roca. Monografía N° 12. Serie: Temas de Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid. 118 p.
- Gallardo E.F. 1988. Geología del Cuaternario en la confluencia de los ríos Calchaquí y Santa María (Salta). Revista de la Asociación Geológica Argentina, 43 (4): 435-444.
- García V.H., Hongn F., Gatica S.N., Vera D.R., Parada M.N. 2012. Morphostructural evolution of the Medeiros hills, Lerma valley, Cordillera Oriental, Northwestern Argentina. XIII Congreso Geológico Chileno, Actas. Antofagasta (Chile).
- García V.H., Spagnotto S., Hongn F. 2011a. El sismo de Salta del 27 de Febrero de 2010. Localización, mecanismo focal, réplicas y fuente sismogénica. 9º Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, Actas en CD. Salta
- García V.H., Yagupsky D., Winocur D., Hongn F., Cristallini E.O. 2011b. Tectónica cuaternaria del valle de Lerma, Cordillera Oriental, Argentina. XVIII Congreso Geológico Argentino, Actas en CD.
- González M.A., Bejerman N.J. 2004. Peligrosidad geológica en la Argentina. Metodología de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación Especial N° 4, Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, 528 p.
- Guzmán S., Petrinovic I. 2005. Edad y relaciones tectono-magmáticas de los volcanes Los Gemelos, Valle Calchaquí, Salta. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Tomo I: 771-776.
- Guzmán S., Montero C. 2011. Los volcanes de la Puna Austral. Temas de Biología y Geología del NOA, 1: 32-39.
- Hermanns R.L., Strecker M. 1999. Structural and lithological controls on large Quaternary rock avalanches in arid northwest Argentina. Geological Society of America Bulletin, 111: 934-948.
- Hongn F., García V. 2011. Tectónica de placas: Teoría integradora de las ciencias de la Tierra. Temas de Biología y Geología del NOA, 1: 21-31.
- Kleinert K., Trauth M., Strecker M. 1997. A Pleistocene lacustrine phase in the Quebrada de Cafayate, NW Argentina: evidence for variations in Paleohydrology from multitracer analysis. Terra Nova 9: 631.
- Lockwood J.P., Hazlett R.W. 2010. Volcanoes. Global perspectives. Londres. Wiley Blackwell, 541 p.
- McCall G.J., Laming D.J., Scott S.C. 1992. Geohazards, natural and man-made. Londres. Chapman y Hall, 227 p.
- McGuire W.J. 1995. Monitoring active volcanoes-an introduction. En: W. Maguire, C. Kilburn y J. Murray (Eds.), Monitoring Active Volcanoes: Strategies, Procedures and Techniques. Londres. 421 p.
- Ortiz R. 2000. Riesgo volcánico. En: Astiz M., García A. (Eds.), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica volcánica. Servicio de Publicaciones Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote. Madrid. 458 p.
- Ortiz y García 2000. Seguimiento y pronóstico de erupciones. En: Astiz M., García A. (Eds.), Curso Internacional de Volcanología y Geofísica volcánica. Servicio de Publicaciones Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote. Madrid. 458 p.
- Perucca L., Pérez A., Navarro C. 2006. Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61(4): 567-578.
- Sandy H. 1986. Report of the working group "vulnerability and risk analysis for individual structures and Systems" of the European Association of Earthquake Engineering, in Preceedings of the 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisboa.
- Sigurdsson H. 2000. Encyclopedia of volcanoes. San Diego. Academic Press, 1417 p.
- Terzaghi K. 1950. Mechanism of landslides. Geological Society of America, Berkeley volume: 83-123.
- Varnes D.J. 1978. Slope movements and types and processes. En: E.B. Eckel (ed.), Landslides and Engineering Practice, Highway research Board, National Academy of Sciences, Reporte Especial 176: 11-33.