

# Ciencias de la tierra e ingeniería civil: dos caras de una misma moneda

Héctor E. Massone

## Autor

HÉCTOR E. MASSONE.

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

## Recibido: Aprobado:

## Resumen

Este documento intenta volcar algunas ideas referidas a la relación entre las Ciencias de la Tierra y la Ingeniería Civil. La presentación abarca dos aspectos: por una parte, una revisión acerca de estas dos disciplinas y su relación; se postulan, de manera sintética, posibles causas que generan incomunicación entre geólogos e ingenieros y se las refiere particularmente a la formación de pregrado en la universidades públicas de Argentina. Se destaca que la convergencia entre estas disciplinas toma estado público usualmente con ocasión de acontecer desastres, por lo que el concepto de riesgo natural las involucra. La Geología desde el concepto de amenaza, y la Ingeniería Civil, desde el de daño. Se presentan tres estudios de caso en Mar del Plata (Argentina), donde esta convergencia es evidente: la inundación de sótanos en edificios céntricos; la erosión costera y los problemas vinculados a sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios.

La segunda parte del documento reflexiona acerca de aquellos aspectos que la formación de pregrado no debe soslayar, entre ellos la adquisición de nuevas habilidades que son imprescindibles para el profesional que trabaje en problemas ambientales y la toma de conciencia acerca de la interdependencia disciplinar y de la importancia de la investigación como servicio público.

## Palabras clave

Ingeniería Civil, Geología, multidisciplinaria, Educación Superior.

## Abstract

This paper tries to show some ideas concerning the relationship between the Earth Sciences and Civil Engineering. The presentation covers two aspects: first, a review on these two disciplines and their relationship; the isolation between geologists and engineers and its possible causes are referred particularly to the formation of undergraduates in Argentina's public universities. It is emphasized that the convergence between these disciplines usually takes state public when disasters happen, so the concept of the natural risk involved. Geology from the concept of hazard, and Civil Engineering related with the injury. Three case studies in Mar del Plata (Argentina), where this convergence is obvious are showed: the flooding of basements in buildings, coastal erosion and problems linked to urban solid waste disposal areas. The second part of the paper deals with those aspects that the level of training should not overlook, including the acquisition of new skills that are essential for the professional who works in environmental issues and awareness of the interdependence between disciplines and the importance of research as a public service.

## Key Words

Civil Engineering, Geology, Multidiscipline, Higher Education

# Ciencias de la tierra e ingeniería civil: dos caras de una misma moneda

Héctor E. Massone

POLITÉCNICA No. 7 | julio - diciembre de 2008, pp. 59 - 64

Este documento intenta volcar algunas ideas referidas a la relación entre las Ciencias de la Tierra (y más específicamente la Geología) y la Ingeniería Civil (y más ampliamente la Ingeniería). La presentación abarca dos aspectos: por una parte, una revisión acerca de las vinculaciones entre estas dos disciplinas, con tres estudios de caso de la ciudad de Mar del Plata (Argentina) donde es manifiesta la relación entre ellas; por otra, una reflexión relacionada con aspectos que la formación de pregrado no debe soslayar, entre ellos la adquisición de nuevas habilidades que son imprescindibles para el profesional que trabaje en problemas ambientales y la toma de conciencia acerca de la interdependencia disciplinar y de la importancia de la investigación como servicio público.

Los encargados de levantar edificaciones han sido conscientes desde hace muchos siglos de que las condiciones del terreno debían ser consideradas para que ellas no se asienten, inclinen o colapsen. La construcción antigua se realizaba con base en la experiencia del constructor y solamente fue hasta 1776, cuando Coulomb introdujo sus teorías de presión de tierras, cuando se aplicaron los métodos analíticos. Casi un siglo más tarde, en 1871, Mohr presentó una teoría de falla para materiales idealmente plásticos, que, en combinación con el trabajo de Coulomb, produjo la expresión muy conocida de resistencia cortante de suelos,  $\tau = c + \sigma \tan \phi$ . Es recientemente, en el siglo XX, con el trabajo realizado por Terzaghi, cuando la Mecánica de Suelos pasa a ser reconocida como una disciplina principal de la Ingeniería Civil; este término, y el de Geología Aplicada a la Ingeniería, fueron introducidos en su libro pionero "Erdbaumechanik auf Bo-

denphysikalischer Grundlage”, publicado en 1925. El reconocimiento internacional de esta disciplina se logró con la Primera Conferencia Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cementaciones, llevada a cabo en la Universidad de Harvard en junio de 1936. (Alva Hurtado, 1996).

A pesar de que, como indica Handy (1995) “toda estructura está soportada por suelos y/o rocas. Las que no lo están, vuelan, flotan o se derrumban”, la interacción entre geólogos e ingenieros ha sido muchas veces asimilable a caminos paralelos, sin puntos de contacto. Y esto a pesar de que Geología e Ingeniería convergen muy a menudo. El porqué de esta situación podría relacionarse con los siguientes aspectos:

- a. Dificultades surgidas de puntos de vista diferentes. Así es: mientras la visión del ingeniero es fuertemente cuantitativa, con una ligazón muy estrecha con las ciencias exactas, la del geólogo tiene más afinidad con las ciencias naturales y posee una fuerte componente espacio-temporal de los procesos analizados.
- b. Dificultades que surgen de la clásica formación de pregrado, fuertemente especializada y compartimentalizada. El proceso de especialización, tal como menciona Riojas (2003), se ha ido profundizando de manera progresiva, hasta llegar al punto actual, en el cual el contacto y el diálogo entre los campos del saber se ha tornado por demás complicado.

■ Mientras la visión del ingeniero es fuertemente cuantitativa, con una ligazón muy estrecha con las ciencias exactas, la del geólogo tiene más afinidad con las ciencias naturales y posee una fuerte componente espacio-temporal de los procesos analizados.

- c. Dificultades por falta de entrenamiento en trabajos multidisciplinarios, aspecto fuertemente vinculado al punto anterior; su puesta en práctica, si bien es reclamada a menudo, en la realidad es de difícil concreción. A poco de intentar una aproximación de este tipo, se observa que debe hacerse un gran esfuerzo para, apenas, construir un lenguaje común que permita iniciar el trabajo eficazmente; por otra parte, la especialización referida lleva también a que no existan muchos profesionales preparados para coordinar un trabajo multidisciplinario, ya que esto implica una capacidad de diagnóstico, un conocimiento generalista que no es de fácil acceso y que muchas veces hasta es mal visto por colegas “especialistas”. A esto hay que sumarle, frecuentemente, diversas cuotas de ceguera, soberbia, desconocimiento y desinterés respecto de la dinámica propia de otras áreas del conocimiento.

Tanto estos aspectos como otros que no se han detallado, tienen, a juicio de quien esto escribe, sus raíces en la formación de pregrado de geólogos e ingenieros. A modo de ejemplo, en Argentina existen 40 Universidades Públicas, de las cuales 13 dictan la carrera de Geología y 16 la de Ingeniería Civil; 8 de ellas dictan las dos carreras e incluso en la Universidad Nacional de Córdoba comparten la misma Facultad. Un relevamiento expeditivo obtenido a partir de los *websites* de las universidades, permite observar que en la carrera de Geología, en general aparece una materia del ciclo superior (obligatoria u optativa), denominada “Geotécnica”, que es una introducción a la mecánica de suelos y de rocas. Un excepción es la Universidad Nacional de Córdoba que tiene dos asignaturas: “Mecánica y tratamiento de suelos” (4 año) y “Mecánica y tratamiento de rocas” (5 año). En la carrera de Ingeniería Civil no aparece en los planes de estu-

dio ninguna materia relacionada con la geología general; sí se observan en el ciclo intermedio asignaturas (obligatorias en todos los casos analizados) relacionadas con la Hidrología Superficial, que a priori entregarían una visión muy sesgada de la dinámica natural.

Más allá de estas circunstancias, lo evidente es que, como ya se mencionó, Ingeniería y Geología frecuentemente convergen y esa convergencia alcanza estado público a menudo en episodios vinculados con desastres. A modo de ejemplo vale mencionar dos casos clásicos, abundantemente citados: el desastre de la Presa del Vaiont (Venecia, 1963) y el colapso parcial del Distrito "La Marina" (San Francisco, 1989); el primero vinculado con un deslizamiento traslacional sobre el lago, que generó una ola de aproximadamente 235 metros de altura (Gómez Lopez de Munain, 2007) y el segundo relacionado con el terremoto de Loma Prieta y la urbanización del área donde se habían depositado los escombros de la ciudad de San Francisco después del sismo de 1908 (Burby, 1998). Este puede ser un buen punto para situar las "dos caras de la misma moneda": el de los riesgos naturales (o más exactamente, riesgos asociados a procesos naturales); es bien sabido que, desde esta óptica, el concepto de riesgo se define en tanto aparecen sus dos componentes esenciales: amenaza y daño. También es claro que se trata de una problemática ambiental, ya que pone en juego la interacción sociedad-naturaleza, en la que la componente relacionada con el proceso natural, la amenaza, corresponde esencialmente al campo de la Geología, en tanto que en la vinculada con la sociedad, la Ingeniería encuentra su más próxima vinculación.

Es interesante notar, también, que si bien en estos casos Geología e Ingeniería son parte del problema, también son la llave de la solución; en muchas ocasiones "adecuar" es la palabra clave.

Como estudio de caso, se pueden analizar, para la ciudad de Mar del Plata (Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires, Argentina), tres aspectos en los que la convergencia entre Ingeniería y Geología es evidente:

#### **a. Problemas vinculados con ascensos freáticos en el área céntrica.**

Mar del Plata, con una población de 650000 habitantes, se abastece íntegramente del recurso hídrico subterráneo. El cambio en el diseño de explotación del acuífero en 1970 llevó a cesar de manera casi completa el bombeo en la zona céntrica, lo que dio inicio a un proceso de recuperación de niveles piezométricos que habían descendido más de 20 metros; esto generó y genera problemas de inundación y de corrosión en las estructuras y daños desde leves hasta severos en paredes y pisos de subsuelos de los edificios céntricos (Bocanegra *et al*, 1997). Un relevamiento efectuado en 2004 reveló la existencia de 36 edificios con graves problemas de este tipo (Coca y Piperno, 2004). Un aspecto que hoy explica parte del problema es que el período de fuertes descensos piezométricos coincidió, tanto temporal como espacialmente, con el de más fuerte incremento poblacional de Mar del Plata y, consecuentemente, con el pico de índice de construcción de edificios de propiedad horizontal (también favorecido por la sanción de una ley que promovió este tipo de desarrollo urbano).

Actualmente se está trabajando en el diseño y ejecución de una barrera hidráulica en la zona céntrica que permita recuperar la calidad del agua subterránea y, a la vez, inducir un descenso limitado de los niveles piezométricos.

#### **b. Problemas vinculados con la erosión costera**

Mar del Plata es el más importante centro turístico de verano de Argentina y, por ende, la playa es un recurso de vital importancia en su

economía. Toda la zona costera del Partido de General Pueyrredón presenta un cuadro erosivo de variada intensidad, que si bien en algunos casos se debe a causas exclusivamente naturales, en la mayoría se produce por la intervención antrópica. La causa antrópica más relevante es la interrupción de la deriva litoral de arena, que tiene una dirección sur-norte, debido a la construcción del Puerto de Mar del Plata en la primera década del siglo XX. Se ha estimado un volumen retenido de 600.000 m<sup>3</sup>/año (Bértola, 2006), que deja a gran parte de las playas de la ciudad, situadas al norte del puerto, privadas de alimentación; influyen también las obras de defensa de tipo rígido y perpendiculares a la costa, como los espigones.

Las playas conforman un sistema donde el delicado equilibrio dinámico natural, ya roto, debe ser ahora soportado por mecanismos de mitigación. En este sentido, sucesivamente se han implementado tanto diversos tipos de obras rígidas de defensa como el refulado de arena en 1998, con el que se volcaron en tres playas seleccionadas más de 2.500.000 de m<sup>3</sup> de arena obtenidas del banco formado en la boca del Puerto (Bértola, 2006). Actualmente se está trabajando en la posibilidad de ejecutar obras de defensa paralelas a la costa y a cierta distancia de la misma, con la técnica denominada de "arrecifes artificiales".

### **c. Problemas vinculados con sitios de disposición final de residuos sólidos domiciliarios.**

El actual sitio de disposición final de residuos se encuentra emplazado en un predio de unas 30 hectáreas al sudeste del área urbana de Mar del Plata y recibe unas 700 ton/día de basura que llegan a 1200 ton/día en verano (Massone *et al.*, 1998).

El predio se encuentra ubicado dentro del sistema geomórfico denominado de "llanura on-

dulada". Ésta se caracteriza por una sucesión de suaves lomadas con una pendiente media que oscila entre 0,3 y 1 % y que están estructuralmente controladas por bloques subyacentes de ortocuarcitas. Las cotas topográficas oscilan entre 25 y 65 msnm.

Litológicamente, el subsuelo está formado por espesores variables de material sedimentario clástico: limos arenosos, limos arcillosos y arcillas limosas (de edad cenozoica), que sobreyacen a bloques de roca ortocuarcítica (de edad paleozoica).

Desde el punto de vista geológico, la zona es susceptible debido a varios factores, entre ellos: proximidad del basamento rocoso fracturado, proximidad del acuífero a la superficie y ubicación sobre la ladera de la divisoria de aguas que separa las dos cuencas principales de la región. En sus inicios (1993) el predio constituyó un relleno sanitario que debía ser utilizado por un lapso de unos 3 o 4 años; las celdas fueron preparadas con suelo seleccionado y se colocó membrana impermeabilizante; se preparó, también, un sistema de recolección de líquidos lixiviados. Hoy en día sigue en actividad, y después de incendios y sucesivos problemas políticos y administrativos, se encuentra colapsado y no es más que un basurero o botadero. Además de problemas relacionados con difusión de vectores, olores y contaminación de agua superficial y subterránea, existen severos problemas de estabilidad de taludes, y se ha generado un fenómeno de "inversión de relieve", ya que la cota topográfica del tope del relleno supera la de la divisoria de aguas. Actualmente se encuentra en proceso de licitación el nuevo sitio de disposición final y se espera a inicios de 2009 comenzar el cierre del predio actual.

En los tres casos es claro que si hubiera existido mejor conexión entre Ingeniería y Geología se hubiera ayudado a evitar o minimizar estos problemas, a los que hoy la ciudad de Mar del

Plata debe dedicarle un esfuerzo económico importante y, por otra parte, pagar un costo no muy bien evaluado todavía en calidad de vida de una parte de su población.

En relación con lo antedicho, puede hacerse referencia a lo mencionado por Terzaghi (1959, en Alva Hurtado, 1996) acerca de las calificaciones necesarias para la aplicación de la mecánica de suelos de forma satisfactoria:

- 1.- Adecuado conocimiento de fundamentos
- 2.- Conocimiento adquirido por experiencia
- 3.- Sentido común
- 4.- Apropiada observación
- 5.- Iniciativa
- 6.- Imaginación

Resulta interesante hacer extensivas estas calificaciones a la aplicación de las dos disciplinas que nos ocupan y reflexionar acerca de cuántos problemas y hasta desastres acontecieron, aún con muy buena cobertura de las dos primeras, pero con escasa o muy escasa aplicación de las restantes cuatro. Y aquí es donde debemos aceptar que la solución a los problemas ambientales no es científico-tecnológica exclusivamente, y quizás, ni siquiera lo sea principalmente. Valores y actitudes son la clave y por ello la educación, en su significado más integral, es de central importancia.

Vale la pena, entonces, reflexionar acerca de la formación de nuestros estudiantes de Geología o de Ingeniería, puesto que si bien podemos hacerlos avanzar con solvencia en el punto 1 y propiciar juntamente el 2, a menudo los aspectos 3 a 6 quedan bastante relegados.

No debemos olvidar formar ingenieros y geólogos con estas calificaciones tan bien sintetizadas por Terzaghi; pero, además, hoy los problemas ambientales le plantean nuevos desafíos a esta formación, entre ellos:

- Poder visualizar los problemas con una visión sistémica, lo que muchas veces implica

■ “El desafío consiste en que la institución que juega el papel de productora de conocimiento y de posibles soluciones a los problemas de la sociedad, se piense a sí misma y se arroje a ser un espacio de construcción de esperanza para un futuro sustentable, desde una comprensión del mundo y del ser humano más integral y compleja”

tener conocimiento generalista, importante para poder llevar adelante trabajos multidisciplinares

- Atender las nuevas necesidades que aparecen al trabajar en temas sensibles a la opinión pública, como son los aspectos básicos de comunicación de riesgos y de manejo de conflictos
- Tomar conciencia y aceptar nuestros límites y nuestra dependencia de otras disciplinas.
- Considerar la investigación y el conocimiento como servicio público, lo que entre otras cosas implica la libre disponibilidad de la información ambiental.

Para finalizar, hago propias las palabras de Riojas (2003): “El desafío consiste en que la institución que juega el papel de productora de conocimiento y de posibles soluciones a los problemas de la sociedad, se piense a sí misma y se arroje a ser un espacio de construcción de esperanza para un futuro sustentable, desde una comprensión del mundo y del ser humano más integral y compleja”

## Bibliografía

- Alva Hurtado, J.E. Terzaghi y la Mecánica de Suelos, JEA, 21 pp., 1996.
- Bértola, G. Morfodinámica de playas del sudeste de la Provincia de Buenos Aires (1983 a 2004). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 13(1):65-87, 2006.
- Bocanegra, E., Massone, H., y J. Cionchi, J. Sustentabilidad y gestión de recursos hídricos subterráneos. Mar del Plata como caso de estudio. I Congreso Nacional de Hidrogeología, Actas I, 433-444. Bahía Blanca, 1997.
- Burby, R. *Cooperating with Nature. Confronting Natural Hazards with Land-use Planning for Sustainable Communities*. Joseph Henry Press, Washington, 356 pp., 1998.
- Coca, M. y Piperno, A. Inundación de sótanos por ascenso freático en el centro de Mar del Plata. Monografía núm. 17, Asignatura Riesgo Asociado a Procesos Naturales, FCEN-UNMdP, 22 pp. Inédito, 2004.
- Handy, R. *The Day the House Fell: Homeowner Soil Problems-From Landslides to Expansive Clays and Wet Basements*, 1995.
- Gómez López de Munain, R. El Desastre de Vaiont. *Jornadas Técnicas sobre estabilidad de Laderas en Embalses*. 1-30, CHE, España, 2007
- Massone, H., Martínez, D., Cionchi, J. y Bocanegra E. Suburban areas in Developing Countries and its Relation with Groundwater Pollution. Mar del Plata (Argentina) as a Study Case. *Environmental Management*, Vol. 22, Num. 2, 245-254. Springer-Verlag, 1998.
- Riojas, J. La complejidad ambiental en la Universidad. En: E. Leff (Coord.): *La complejidad ambiental*. Siglo XXI, México, 312 pp., 2003.