

MODELOS COMPUTACIONALES EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA COMO UNA HERRAMIENTA DE APOYO EN EL APRENDIZAJE EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL

Luis Lemus Mondaca, Universidad de La Serena, llemus@userena.cl
Luis Ángel Avilés Murcia, Universidad del Magdalena, laviles@unimagdalena.edu.co
Jaime Rodríguez Urquiza, Universidad de La Serena, jrodrigu@userena.cl

RESUMEN

La Ingeniería Geotécnica es una área relativamente nueva comparada con otras ramas de la Ingeniería Civil. A partir de la década de los 30' se reconoce cómo una disciplina autónoma con fundamento en la ciencia. En Chile, comienza a ser relevante a partir del terremoto de Valdivia en 1960, en donde se manifestaron diversas fallas en los suelos y estructuras, que derivó en nuevos desafíos para la ingeniería nacional. Desde aquellos años es que se comienza a enseñar en las universidades formalmente la Mecánica de Suelos, siendo parte de los programas de estudios en los ciclos de Ciencias de la Ingeniería e Ingeniería Aplicada. Por mucho tiempo, la enseñanza de la geotecnia se ha sustentado en diversos conceptos teóricos, prácticos e instancias de aprendizaje basadas en experiencias de laboratorio, otorgando a los estudiantes competencias de gran utilidad en el quehacer profesional. Sin embargo, en la actualidad, la complejidad de los proyectos y la velocidad de respuesta, exigen que los profesionales resuelvan problemas apoyados en herramientas computacionales. Es por este motivo y por el exponencial crecimiento de la capacidad de cálculo de los computadores, que, se ha masificado el uso de software en la disciplina. En este trabajo se incursiona en emergentes métodos numéricos como el Método del Punto Material (MPM) para la enseñanza con el objetivo de agilizar el entendimiento de los conceptos teóricos vinculados a la complejidad y diversidad de problemas geotécnicos.

PALABRAS CLAVES: geotecnia computacional, mecánica de suelos, métodos numéricos en ingeniería.

INTRODUCCIÓN

De manera habitual la enseñanza de la mecánica de suelos y la geotecnia en las carreras de Ingeniería Civil inicia en el tercer o cuarto año, teniendo como Pre-requisito los cursos de Mecánica de Sólidos y Mecánica de Fluidos. Walbrech (2022) indica que, en las Universidades Chilenas, se dicta entre dos y tres cursos obligatorios de geotecnia y el común denominador es que, un primer curso de Mecánica de Suelos establece los fundamentos teórico-científicos, mientras que en los cursos subsiguientes se transita hacia la aplicación de problemas prácticos mediante la instrucción de diversos métodos, principalmente semi-empíricos y analíticos. Por lo general, estas asignaturas son de régimen y de periodicidad semestral, y se llevan a cabo mediante la enseñanza clásica conductista, lo cual podría propiciar un estado pasivo de los estudiantes y desincentivar, de manera temprana, el interés en la disciplina (de Jong, 2019). Sin embargo, gracias a las actividades de laboratorio o de terreno, que se realizan paralelamente a las clases teóricas, se logra vincular varios conceptos esenciales generando un aprendizaje más significativo. Según Wesley (2012), algunas de las falencias que presenta la enseñanza de la geotecnia a nivel internacional son:

- Priorizar los métodos de cálculo por encima de los conceptos, aplicando procedimientos sin un entendimiento profundo de los principios fundamentales.

- La secuencia cronológica del contenido y los conceptos de mecánica de suelos no estarían logrando despertar el interés ni la motivación de los estudiantes, lo que eventualmente puede afectar negativamente en su aprendizaje.
- Las universidades deben diferenciar claramente entre las disciplinas de "Mecánica de suelos" e "Ingeniería Geotécnica". La primera es una ciencia teórica, mientras que la segunda es una disciplina práctica que integra la Mecánica de suelos, geología, hidráulica y otras áreas. Por lo tanto, las universidades deberían enseñar conceptos de Mecánica de suelos que sean aplicables a la Ingeniería Geotécnica.

Por otro lado, Santamarina (2015) precisa que los estudiantes de ingeniería geotécnica enfrentarán desafíos tanto actuales como emergentes, especialmente en los ámbitos de energía, cambio climático y medio ambiente. Para abordarlos, es esencial una formación sólida y rica en recursos. Los docentes deben revisar sus programas educativos para: reconsiderar el uso del empirismo; eliminar conceptos erróneos y sesgos, como enfoques obsoletos y correlaciones débiles; y promover una comprensión profunda de los fundamentos, incluyendo la naturaleza particulada de suelos, la tensión efectiva, y los procesos acoplados. Además, deben reflexionar continuamente sobre el papel del ingeniero en un mundo dinámico e impulsado por la innovación.

La ingeniería geotécnica ha evolucionado gracias a la interacción entre educación, investigación y práctica. Sin embargo, la educación geotécnica ha subestimado los principios básicos en favor de soluciones prescriptivas para problemas actuales, lo que podría retrasar avances futuros. Es crucial que los estudiantes se enfrenten a los desafíos emergentes, y que los profesores adapten sus planes de estudios para preparar a futuras generaciones y liderar el cambio en un campo en constante evolución. De acuerdo con una revisión de la literatura realizada por Rehman (2023), en las últimas dos décadas las principales tendencias en la aplicación de tecnologías para mejorar el aprendizaje (TEL) en la educación en ingeniería geotécnica (GEE) han incluido simulaciones computacionales, modelado físico, experimentación virtual en laboratorios y en campo, recursos en línea basados en Internet, así como el uso de realidad virtual y aumentada. El autor concluye que la integración de TEL en la GEE facilita la comprensión de conceptos complejos de ingeniería y mejora la preparación de los estudiantes para enfrentar las exigencias de la práctica profesional.

Bajo este contexto, diversos autores han incursionado en el desarrollo de estrategias metodológicas que permitan generar un aprendizaje significativo de los conceptos fundamentales en mecánica de suelos. Aplicaciones computacionales interactivas como laboratorios virtuales y gamificación han demostrado crear un ecosistema innovador, creativo y de interés para los estudiantes (Chrusciak et al., 2024; Crissafe et al., 2023; Bennett et al., 2020; Bennett et al., 2017; Airey et al., 2012; Sharma y Hardcastle, 2000). En esta misma línea, Afsharipour y Maghoul (2023) exploran la aplicación de modelos de realidad virtual y aumentada para la presentación y comunicación de conceptos de mecánica de suelos con animaciones tridimensionales. Por otro lado, se logra avanzar en el entendimiento de modelos constitutivos en cursos de geotecnia de pregrado y posgrado, a través de la animación computacional de alto rendimiento mediante visualización de superficies de falla y de fluencia, trayectoria de tensiones, superficie de estado límite, entre otros aspectos (Medicus et al., 2023).

Respecto del uso de la modelación computacional de problemas geotécnicos, Budge (2006) señala que existe una importante cantidad de paquetes de software de modelamiento, ya sea de código abierto o de licencia educativa gratuita, que brindan oportunidades para que los estudiantes apliquen los principios fundamentales de la mecánica de suelos, relacionados con el diseño en la ingeniería geotécnica. Asimismo, Lobo-Guerrero y Vallejo (2006) propone el uso del Método de Elementos Discretos (DEM) como un apoyo para docentes y estudiantes en cursos

básicos de geotecnia, destacando modelos de casos como el ensayo de corte directo, modo de falla en una fundación superficial y problemas de tensión-deformación en rocas. Utilizando este mismo método, El Shamy (2007) lleva a cabo una serie de experimentos computacionales a nivel de presentación visual y tareas simples a estudiantes de pregrado, tales como, análisis granulométrico, ensayo de corte directo, ensayo triaxial drenado y no drenado, y pruebas de permeabilidad. Estas experiencias logran incentivar la comprensión del mecanismo subyacente de estos experimentos y el comportamiento asociado del suelo. Actualmente, los métodos numéricos más usados en la práctica de la ingeniería son el Método de Elementos Finitos (FEM) y el Método de Diferencias Finitas (DFM), los cuales tienen la ventaja de tener una extensa batería de modelos constitutivos pertenecientes a la familia de la mecánica del continuo. No obstante, en las últimas décadas, una serie de métodos numéricos han sido desarrollados para reproducir una importante cantidad de problemas geotécnicos, que con FEM y DFM son difícilmente abordables, como, por ejemplo, los problemas con grandes deformaciones. Los principales métodos que sí tienen esta capacidad son los métodos sin malla como DEM (Discrete Element Method), SPH (Smoothed-Particle Hydrodynamics), DDA (Discontinuous Deformation Analysis) y métodos híbridos tales como MPM (Material Point Method) y PFEM (Particle Finite Element Method).

En este trabajo, se propone el uso del Método del Punto Material (MPM) como herramienta de apoyo en el aprendizaje en geotecnia para estudiantes de ingeniería civil. Actualmente, se reconoce que el MPM es un método numérico emergente utilizado en diversas líneas de investigación asociadas a problemas que presentan grandes deformaciones, y de uso reciente en el ámbito profesional.

METODOLOGÍA

El MPM integra las técnicas de partículas con las ventajas del MEF, y por ello, se puede considerar como un método híbrido o una extensión del MEF. En este enfoque, se emplea una malla fija de fondo para resolver las ecuaciones de gobierno (momentum), mientras que el continuo o material se representa mediante partículas Lagrangianas de masa fija (ver Figura 1). La información que las partículas transportan, como desplazamiento, tensión, deformación y densidad, entre otros, se proyecta en la malla a través de sus nodos en cada paso de solución, lo que permite cubrir completamente el dominio del problema y establecer las condiciones de contorno. A continuación, las ecuaciones de gobierno o equilibrio se resuelven de manera discreta en la malla Euleriana fija, lo que permite actualizar la posición de las partículas y transferir la información. En cada paso cálculo, la malla es descartada o reiniciada, ya que toda la información es transportada por las partículas, que definen el estado del subdominio que representan. La Figura 2 resume el ciclo de cálculo de este método.

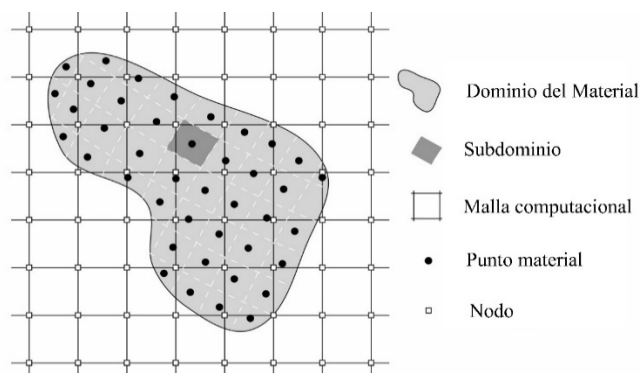


Figura N°1. Discretización espacial de un cuerpo continuo con nodos de la malla computacional y puntos materiales (modificada de Alonso et al., 2019).

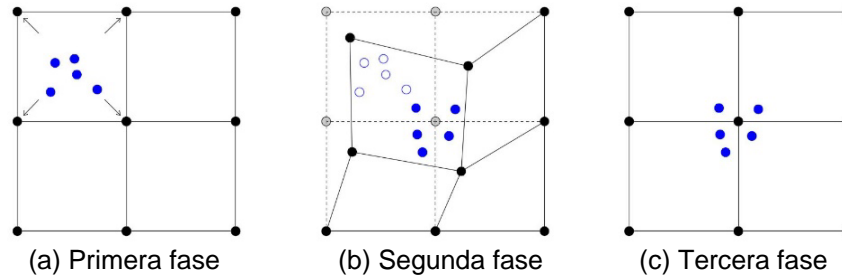


Figura N° 2. Algoritmo y fases de cálculo para un incremento de tiempo en MPM.

La propuesta metodológica radica en que el/la estudiante elabore una serie de modelos computacionales validados, para estudiar problemas tales como el ensayo triaxial, empujes de suelo, consolidación de suelos, bloques deslizantes, colapso de columna, interacción suelo-estructura en una fundación superficial, entre otros problemas. En la mayoría de estos casos se deben establecer etapas de cálculo estándar asociadas a una fase inicial de tensiones geostáticas (análisis cuasi-estático), y posteriormente, describir la fase dinámica. Del mismo modo en cómo se abordan labores de investigación utilizando el MPM, el estudiante requiere inicialmente una breve introducción al método y luego un entrenamiento en el uso de softwares de pre y posproceso, en este caso el software de preproceso corresponde a GiD (www.gidsimulation.com), el código de cálculo es Anura3D (www.github.com/Anura3D; Anura Research Community, 2023) y para el posproceso se utiliza Paraview (www.paraview.org). Los problemas que pueden abordar los estudiantes se encuentran validados y descritos de forma detallada en el manual tipo tutorial para usuario de Anura3D (Anura3D Research Community, 2023), el cual se encuentra disponible en su repositorio de GitHub.

EXPERIENCIAS EN AULA

A continuación, se presentan algunas experiencias relativas a la propuesta metodológica descrita anteriormente. En la asignatura de Mecánica de Suelos, correspondiente al décimo semestre de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de La Serena, se añade la actividad “Laboratorio de Geotecnia Computacional” a las experiencias tradicionales realizadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos del Departamento de Ingeniería en Obras Civiles. El caso corresponde al fenómeno de consolidación que se describe mediante el ensayo edométrico, cuyos resultados fueron presentados de manera visual y replicados paralelamente por los estudiantes. Este ejemplo está indicado como el primer caso a resolver en el manual del código Anura3D.

En las siguientes figuras y tablas se muestra la configuración de este caso, en términos geométricos (ver Figura N°3 y Tabla N°1) y lo que respecta a las propiedades de los materiales se detalla en la Tabla N°2. Se precisa que en este modelo coexisten dos fases, una sólida y otra líquida. La primera corresponde al esqueleto conformado por partículas sólidas, la cual tiene sus respectivas propiedades, y del mismo modo para la fase líquida, que, para este caso, se considera agua líquida a temperatura ambiente. El modelo toma en cuenta la interacción fluido-partícula mediante el acoplamiento de las ecuaciones de conservación de masa y de momentum en un medio poroso saturado. En la Figura N°3 se observa además la aplicación de una carga distribuida uniforme vertical ‘q’, la cual simula la sobrecarga en superficie que propicia el proceso de consolidación. Para este caso el valor de esta carga es de 400 kPa.

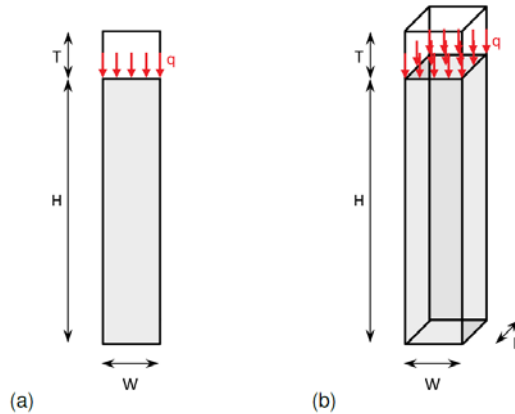


Figura N°3. Geometría de la columna de suelo sometida a consolidación en 2D (a) y 3D (b).

Tabla 1. Configuración geometría del ensayo edométrico en 2D y 3D.

Dimension	Height H [m]	Width W [m]	Depth D [m]	Empty space T [m]
2D	1.0	0.1	—	0.1
3D	1.0	0.1	0.1	0.1

Tabla 2. Propiedades del suelo y del agua para ensayo edométrico.

Parameter	Symbol	Unit	Value
Material type: saturated soil – fully coupled			
Initial porosity	n_0	—	0.4
Density solid	ρ_s	kg/m ³	2650
Density liquid	ρ_l	kg/m ³	1000
Intrinsic permeability	κ	m ²	$1.0214 \cdot 10^{-9}$
Bulk modulus liquid	K_l	kPa	$2.15 \cdot 10^4$
Dynamic viscosity liquid	μ_d	kPa/ s	$1.002 \cdot 10^{-6}$
Material model solid: linear elasticity			
Effective Poisson ratio	ν'	—	0.3
Effective Young's modulus	E'	kPa	1000

Durante el desarrollo de la actividad el estudiante reconoce que el fenómeno de consolidación ocurre en suelos finos saturados, y que la propiedad más relevante es la permeabilidad del suelo, enfoque determinante para manejar el orden de magnitud de los asentamientos en función del tiempo. En la siguientes figuras se ilustra la secuencia y los resultados del modelo realizado.

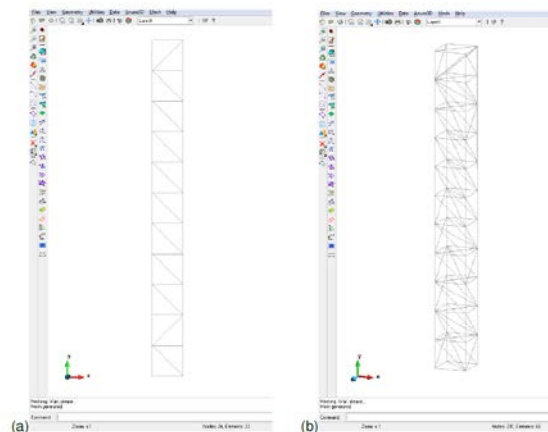


Figura N°4. Definición de la malla de elementos finitos para los casos en 2D y 3D. Fuente: Anura3D Tutorial Manual, 2019.v2.

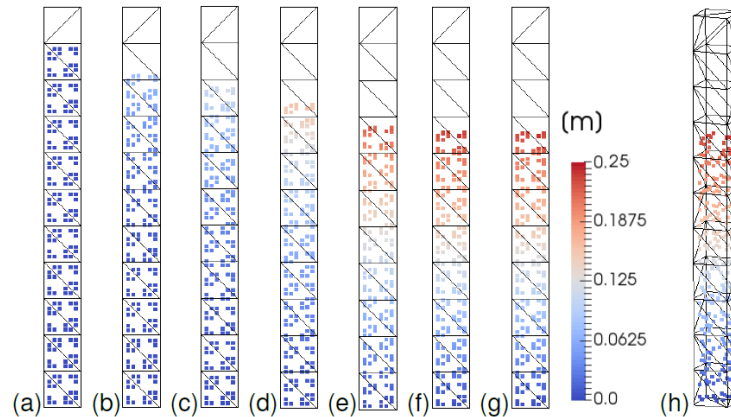


Figura N°5. Evolución en el tiempo de los desplazamientos verticales de la fase sólida caso 3D: (a) $t = 0$ s, (b) $t = 0,05$ s, (c) $t = 0,1$ s, (d) $t = 0,2$ s, (e) $t = 0,5$ s, (f) $t = 1,0$ s, (g) y (h) $t = 2,5$ s.

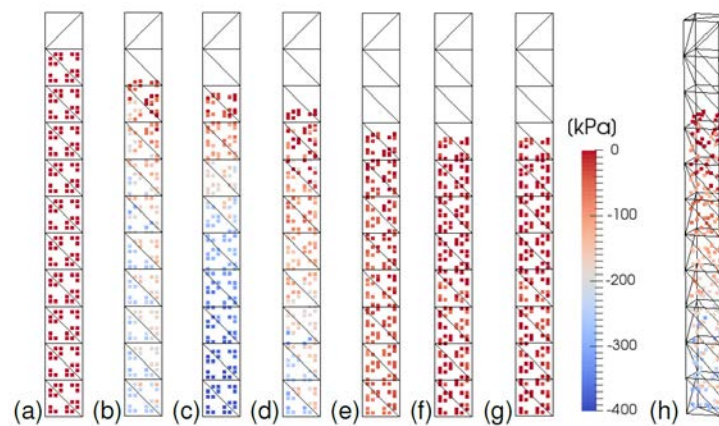


Figura N°6. Evolución en el tiempo de las presiones de poros para el caso en 3D: (a) $t = 0$ s, (b) $t = 0,05$ s, (c) $t = 0,1$ s, (d) $t = 0,2$ s, (e) $t = 0,5$ s, (f) $t = 1,0$ s, (g) y (h) $t = 2,5$ s.

Finalmente, se muestra al estudiante la capacidad del posprocesamiento respecto del seguimiento de variables de interés a lo largo del tiempo, como, por ejemplo, la evolución de la presión de poros de un determinado punto de análisis. Para ello, se selecciona el punto más bajo de la columna y se genera una gráfica en donde se aprecia la disipación de la presión de agua (ver Figura N°7).

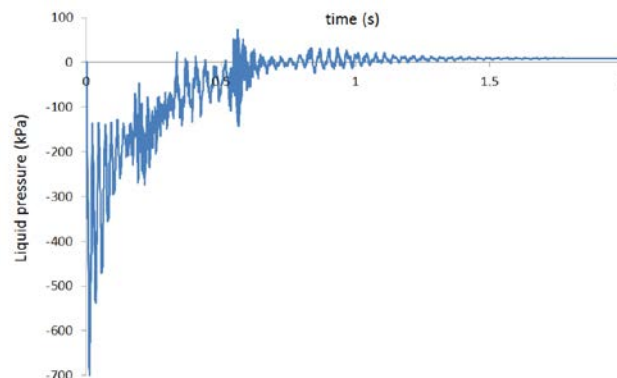


Figura N°7. Evolución en el tiempo de la presión de poros o de líquido en el punto más bajo de la columna de suelo. Fuente: Anura3D Tutorial Manual, 2019.v2.

Otro caso estudiado, en la asignatura electiva de formación profesional (EFP) denominada “Aplicaciones Computacionales en Geotecnia” se desarrolla el caso de Colapso de Columna (ver Figura N°8). Este problema consiste en simular el clásico experimento de colapso de columna de fluido o de material granular, la cual se realiza con fines de investigación asociado a la reología del material y a la calibración de modelos constitutivos, en condiciones de colapso repentino. Para el caso analizado, el suelo está en condición seca, por lo que las presiones de líquido son nulas.

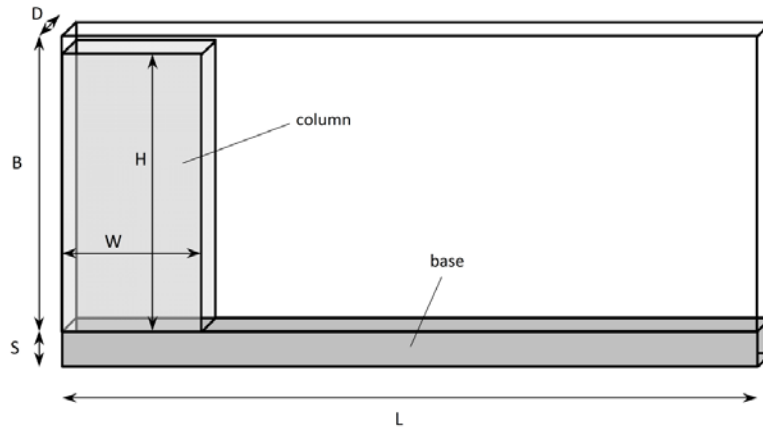


Figura N°8. Esquema modelo Colapso de Columna. Fuente: Anura3D Tutorial Manual, 2019.v2.

Se presenta el caso a los estudiantes, y se instruye en el dimensionamiento del modelo geométrico (en 2D), aplicación de las condiciones de borde, la definición de materiales, el ingreso de las propiedades, y las configuraciones de cálculo. Esto último se realiza en dos etapas, la primera consiste en establecer las condiciones iniciales geostáticas, y luego le corresponde la fase de colapso producto de que se retira de manera instantánea la ‘compuerta’ que sostiene dicha columna. A continuación, se muestran algunos modelos realizados por los estudiantes. En primer lugar, en la Figura N°9 se muestran las tensiones geostáticas horizontales en la columna de suelo.

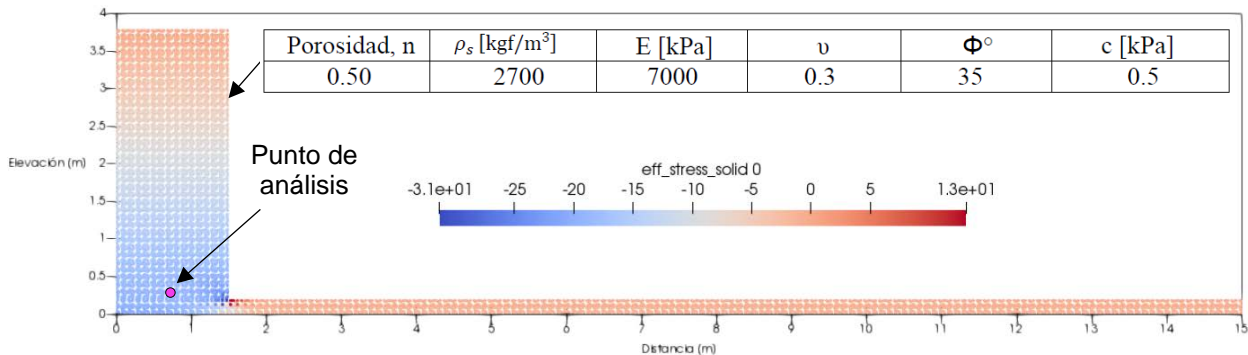


Figura N°9. Tensiones geostáticas horizontales (Fase cuasi-estática) y propiedades columna de suelo.

En este modelo, se logra identificar visualmente mediante un mapa de colores el concepto de tensiones geostáticas, además, los estudiantes pueden corroborar manualmente mediante la siguiente expresión para un suelo seco:

$$\rho_t = \rho_s(1 - n) \tag{1}$$

$$\sigma_v = \rho_t H \tag{2}$$

$$\sigma_h = k_o \rho_t H \tag{3}$$

Donde ρ_t es el peso unitario total, ρ_s es el peso unitario de los sólidos, n es la porosidad, σ_v es la tensión vertical geostática, σ_h es la tensión horizontal geostática, H es la altura de la columna, y k_0 es el coeficiente de empuje en reposo, el cual se asume de manera simplificada igual a 0,5. A partir de estas expresiones, el estudiante realiza un cuadro resumen para comprobar y evaluar el orden de magnitud de los resultados respecto del modelo numérico y del cálculo teórico-analítico. Estos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N°3. Cuadro resumen de tensiones geostáticas obtenidas mediante cálculo teórico-analítico y software Anura3D.

	Teórico	Software
σ_v [kPa]	50,31	48,53
σ_H [kPa]	22,15	19,26

Una serie de resultados se puede extraer del modelo, entre estos destacan, la evolución del frente de avance de la masa de suelo en diferentes instantes de tiempo, campo de velocidades y desplazamientos. En la Figura N°10 se puede apreciar un ejemplo del frente de avance. Adicionalmente, se puede realizar el seguimiento de los desplazamientos y velocidades en función del tiempo en distintos puntos de control, estos resultados se muestran en la Figura N°11.

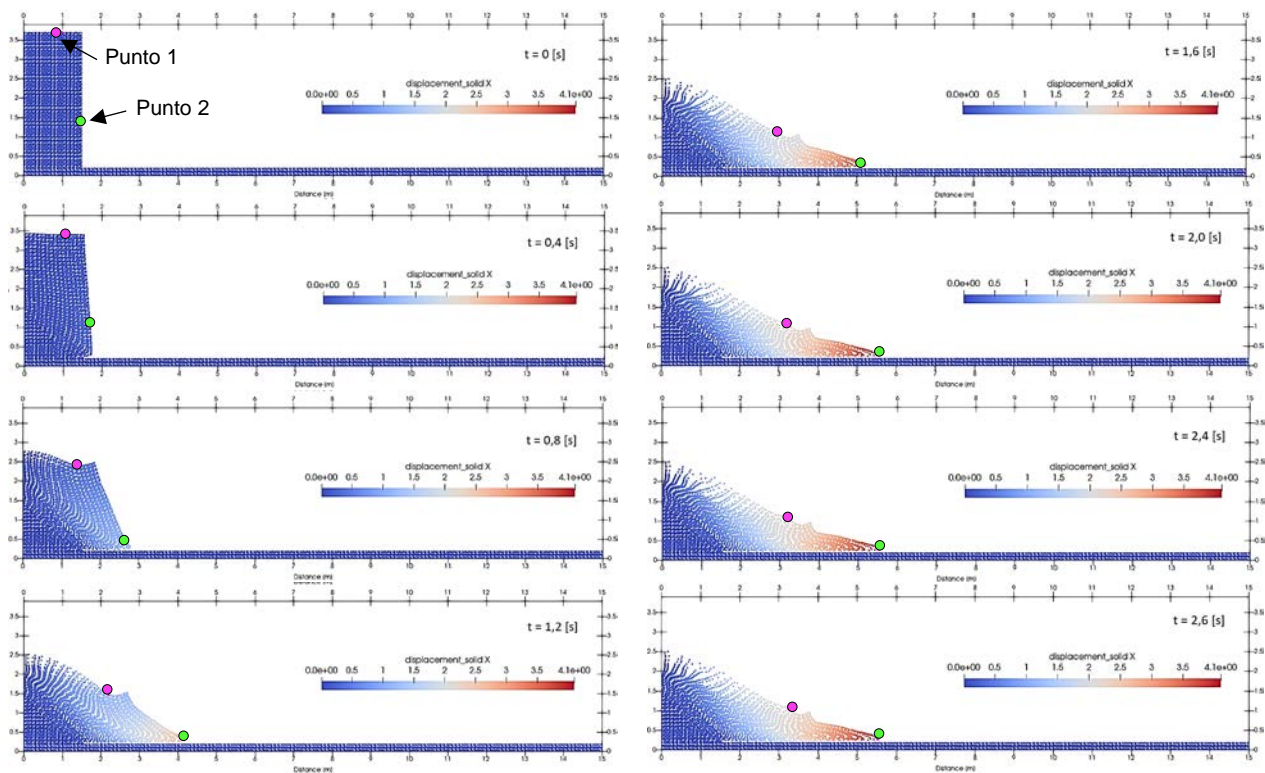


Figura N°10. Evolución del frente de avance (desplazamientos en 'x') de la columna.

Además, de la Figura N°11 se puede desprender los valores máximos para cada variable. Es así, como el estudiante puede identificar el desplazamiento máximo en cada punto visualizando que el desplazamiento se estabiliza en cierto instante de tiempo, y en el caso de las velocidades de igual manera se puede apreciar un valor máximo asociado un determinado instante.

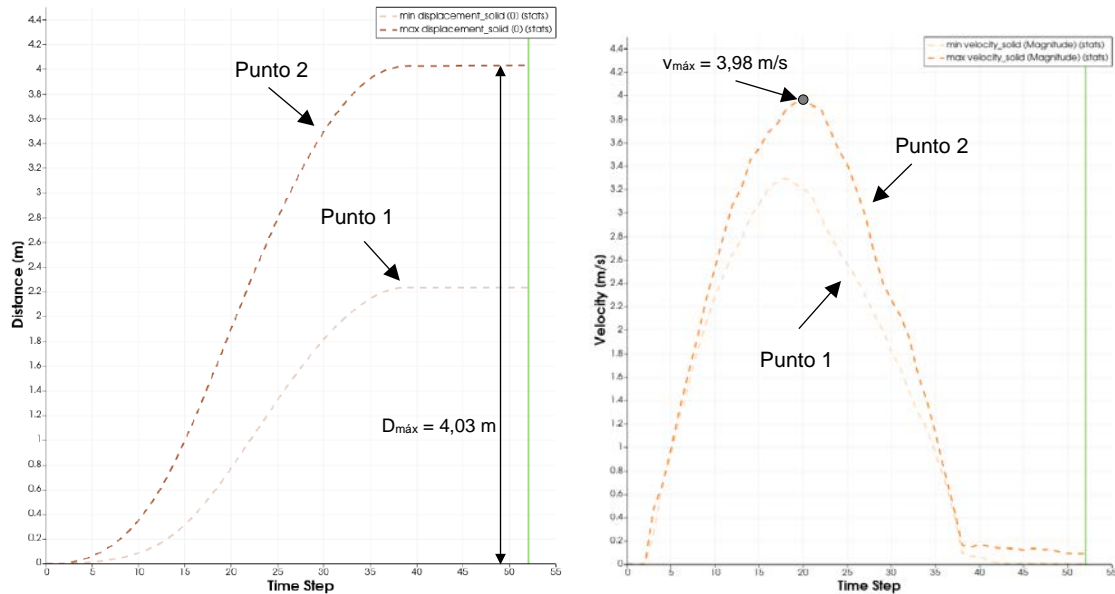


Figura N°11. Seguimiento de desplazamientos y velocidades en los puntos de control.

Otro aspecto de interés geotécnico son las comúnmente denominadas superficies de falla o de deslizamiento, que se generan por la acumulación de deformaciones por corte. En estricto rigor estas superficies son ‘bandas de corte’ que se caracterizan por tener un pequeño espesor, y el estudiante tiene la posibilidad de apreciarlas en el modelo que ha construido, tal como se ilustra en la Figura N°12.

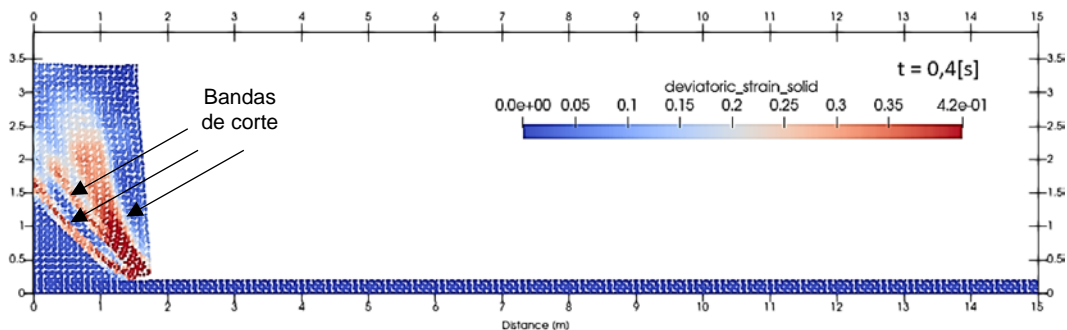


Figura N°12. Bandas de corte de cuñas de falla en el instante del colapso.

CONCLUSIONES

Tras una introducción general a la geotecnia computacional y un entrenamiento en el uso de las herramientas computacionales GiD, Anura3D y Paraview, los estudiantes robustecen el aprendizaje de los fundamentos de la mecánica de suelos y la ingeniería geotécnica, así como su vínculo con problemas aplicados. En este trabajo se presentaron herramientas para la visualización y construcción de modelos complejos que representan una importante variedad de problemas geotécnicos. El método MPM resulta ser una herramienta numérica versátil en términos de representación de casos con pequeñas deformaciones, y se sitúa fuertemente como uno de los principales métodos para la evaluación de problemas con grandes deformaciones. Es en este último aspecto que el MPM toma relevancia bajo un contexto de cambio climático y la creciente ocurrencia de eventos extremos, ya que se logra reproducir el colapso de diferentes obras geotécnicas, como, por ejemplo, deslizamientos de tierra, asentamientos por consolidación, licuación de suelos, colapso de obras de tierra o procesos de tierra sólida. Se enfatiza, además,

en la posibilidad que brindan los modelos computacionales de realizar variaciones inmediatas en los modelos para percibir directamente la influencia de los parámetros y variables en los resultados. Se pudo abordar problemas de complejo comportamiento acoplado, que actualmente son materia de cursos de posgrado, sin embargo, con una adecuada guía y utilización de eficientes herramientas computacionales, se logra llevar a cabo satisfactoriamente los modelos en aula. Para trabajo futuros en esta misma línea, resulta interesante poder replicar los modelos computacionales en el laboratorio mediante modelos físicos. La idea sería profundizar en los conceptos desde una construcción teórica, práctica-visual de modelamiento computacional, y siempre que sea posible, sensitiva desde la experiencia en laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería en Obras Civiles y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Serena por el apoyo brindado en este trabajo. El autor Luis Lemus agradece a ANID del Gobierno de Chile por la Beca de doctorado en el extranjero (CONICYT-PCHA/Doctorado Internacional/2017-72180231).

REFERENCIAS

Afsharipour, M., Maghoul, P. (2024). Towards Education 4.0 in Geotechnical Engineering Using a Virtual Reality/Augmented Reality Visualization Platform. *Geotech Geol Eng* 42, 2657–2673.

Airey, DW. et al. (2012) The use of online resources to support laboratory classes in soil mechanics. In *Shaking the Foundations of Geo-engineering Education: Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering Education 2012*, pp. 113–120.

Anura3D MPM Research Community (2019). *Anura3D MPM Software Tutorial Manual v.2019*.

Bennett V. et al. (2020). Implementing and Assessing a Game-Based Module in Geotechnical Engineering Education. *Geo-Congress 2020*.

Bennett, V., et al. (2017) Classroom implementation of game-based module for geotechnical engineering education. *Proceedings of the 124th American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition, Columbus, OH, USA*, paper no. 18142.

Budge, A. (2006). Geotechnical opportunities for computer-aided education. *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, pp. 2345- 2350.

Crissafe C. et al. (2024). Digital tools used on the teaching-learning process in geotechnical engineering. *Soils and Rocks*, 47(2):e2024004923.

Chrusciak, M. et al. (2024). The development and evaluation of an educational board game on basic geotechnical soil characterization. *Soil and Rocks*. 47(2):e2024003723.

de Jong, T. (2019). Moving towards engaged learning in STEM domains; there is no simple answer but clearly a road ahead. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35, 153-167.

El Shamy, U. (2007). DEM-Based Computational Lab for Geotechnical Engineering Education. *Geo-Denver 2007: New Peaks in Geotechnics. GSP 166 Educational Activities in Geotechnical Engineering*.

Huang, C. et al. (2023). Developing Mixed Reality Game for Enhanced Learning of Geotechnical Experiments and Geotechnical Design. *Geotechnical Special Publication, 2023-July(GSP 346)*, 408-416.

Rehman, Z.u. (2023). Trends and Challenges of Technology-Enhanced Learning in Geotechnical Engineering Education. *Sustainability*, 15, 7972.

Santamarina, J. C. (2015). Short communication: (What) To teach or not to teach – that is the question. *Geotechnical Research*, 2(4), 135-138.

Sharma S. y Hardcastle J. (2006). Geotechnical Laboratory - A Multimedia Experience. Geo-Congress 2006. Educational Issues in Geotechnical Engineering, pp.48-59.

Walbrecq, N. (2016). Conceptos de educación en ingeniería aplicados a un módulo geotécnico. *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.

Wesley, L. (2012). Rethinking aspects of theory and tradition in soil mechanics teaching. *Third International Conference on Geotechnical Engineering Education and Training*.

