

# Laboratorios virtuales desde la perspectiva de resolución de problemas: Caso de la asignatura de mecánica de suelos •

Julio Esteban Colmenares <sup>a</sup>, Norma Rocio Héndez <sup>b</sup> & Jorge Celis <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. [jecolmenaresm@unal.edu.co](mailto:jecolmenaresm@unal.edu.co)

<sup>b</sup> Grupo de Investigación STEM+B, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. [nrhendezp@unal.edu.co](mailto:nrhendezp@unal.edu.co)

<sup>c</sup> Grupo de Investigación STEM+B, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. [jecelisg@unal.edu.co](mailto:jecelisg@unal.edu.co)

## Resumen—

Para concebir y diseñar un laboratorio virtual que aporte a la comprensión, apropiación y aplicación de los fundamentos teóricos y conceptuales abordados en la asignatura mecánica de suelos (impartida en los programas de pregrado en ingeniería civil e ingeniería agrícola), es importante discutir sobre aquellos aspectos que caracterizan un laboratorio y los entornos pedagógicos que promuevan y favorezcan el aprendizaje de los estudiantes. En este artículo se presenta una revisión del estado del conocimiento sobre los atributos de un laboratorio orientado al aprendizaje y sobre la estructura de un laboratorio virtual, destacando para ello la función que el laboratorio desempeña en el aprendizaje de los estudiantes y el tipo de evaluación adecuada para hacer seguimiento, así como para evaluar la efectividad del proceso de aprendizaje.

**Palabras Clave—** laboratorio virtual, aprendizaje, mecánica de suelos, ingeniería civil, ingeniería agrícola.

Recibido: 18 de Junio de 2016. Revisado: 5 de Julio de 2016.  
Aceptado: 11 de Julio de 2016.

## Virtual Labs from the perspective of problem solving: Case of soil mechanics' course

### Abstract—

In order to conceive and design a virtual laboratory, which contributes to the understanding, appropriation and application of theoretical concepts taught in the soil mechanics course (usually taught in undergraduate programs of civil and agricultural engineering), it is important to discuss those aspects which characterize a laboratory and the learning environments promoting and encouraging the student learning process. This article reviews the state of the art about the attributes of a laboratory-oriented learning environment and the structure of a virtual laboratory. Special attention is paid to the role of the virtual lab in student learning and the type of evaluation needed to track and to measure the effectiveness of the learning process.

**Keywords—** virtual laboratory, learning, soil mechanics, civil engineering, agricultural engineering.

## 1. Introducción

La asignatura mecánica de suelos impartida en los programas de pregrado en ingeniería civil e ingeniería agrícola de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá)<sup>1</sup> busca que los

estudiantes conozcan, comprendan y apliquen los fundamentos teóricos y conceptuales sobre las propiedades mecánicas del suelo [1]. De los 3 créditos académicos asignados a la asignatura, alrededor de un 15 por ciento del trabajo académico está destinado a la realización de laboratorios, en los cursos de esta asignatura que se desarrollan en la Sede Bogotá<sup>2</sup>. El propósito de estos laboratorios es aportar al conocimiento, comprensión y puesta en práctica de los conceptos abordados en las clases presenciales mediante la aplicación de protocolos estandarizados para llevar a cabo unos ensayos establecidos previamente. Los estudiantes deben realizar alrededor de 5 laboratorios durante el semestre, el cual está compuesto por 16 semanas. Recientemente, algunos investigadores han señalado que los laboratorios virtuales son una poderosa herramienta que contribuye al aprendizaje de los estudiantes en general [2]-[4] y de los estudiantes de ingeniería civil [5], [6] en particular. Este artículo presenta una definición sobre el laboratorio virtual en el campo de la ingeniería civil, los aspectos que son básicos para su diseño y el tipo de evaluación para valorar el aprendizaje de los estudiantes así como su efectividad en el desarrollo de la asignatura de mecánica de suelos.

El artículo está organizado como sigue. En primer lugar se ofrece una definición sobre los laboratorios virtuales en ingeniería civil resaltando para ello los atributos que son considerados fundamentales en la formación de los estudiantes. Posteriormente, se describen los aspectos a tener en cuenta para el diseño de un laboratorio virtual y se describen las características de los laboratorios que se proponen para la asignatura mecánica de suelos. Finalmente se establece el tipo de evaluación que se implementará en los laboratorios virtuales.

## 2. Laboratorios virtuales para la formación en ingeniería

Durante las últimas décadas, la formación de estudiantes de ingeniería ha venido sufriendo importantes transformaciones.

**Como citar este artículo:** Colmenares, J.E., Héndez, N.R. y Celis, J., Laboratorios virtuales desde la perspectiva de resolución de problemas: Caso de la asignatura de mecánica de suelos, Rev. Educación en Ingeniería, 11 (22), 97-103, Julio, 2016

<sup>1</sup> Según el Acuerdo 27 de 2015 del Consejo de la Facultad de Ingeniería Sede Bogotá, la asignatura mecánica de suelos hace parte del componente de formación profesional, es una asignatura obligatoria con 3 créditos, de los 9 de la agrupación de geotecnia. Para cursar esta asignatura, los estudiantes deben haber aprobado la asignatura mecánica de sólidos.

<sup>2</sup> Según el Acuerdo 033 de 2007 del Consejo Superior Universitario, un crédito académico es equivalente a 48 horas de trabajo académico, que incluyen el tiempo de dedicación presencial y el trabajo independiente del estudiante. La asignatura de mecánica de suelos, tiene un total de 144 horas de trabajo académico; semanalmente, durante las 16 semanas del semestre, son 4 horas presenciales y 5 horas de trabajo independiente.

Entre las transformaciones más destacadas cabe señalar las nuevas formas para abordar los problemas de ingeniería –desde una visión disciplinar hasta una interdisciplinaria- y la necesidad de que la formación sea más fundamental en pregrado, antes que especializada la cual actualmente es objeto de la educación a nivel postgradual [7].

La formación en ingeniería, en un sentido amplio, apunta a que los estudiantes comprendan teorías y conceptos, interpreten datos obtenidos de experimentos, y desarrollen habilidades tan importantes para el ejercicio profesional como la indagación, el análisis, la identificación y la resolución de problemas [8] mediante el uso de la teoría [7], técnicas y herramientas [9].

A pesar del reconocimiento de estas capacidades, algunos estudios señalan que las principales debilidades de los recién egresados se relacionan con: la comunicación, la toma de decisiones, la resolución de problemas, y, más crítico aún, la falta de habilidades para aplicar y poner en contexto sus conocimientos [10]. Por ello, se argumenta que la educación en ingeniería ha enfocado la formación en la apropiación de conceptos, pero no está preparando a los futuros ingenieros para integrar el conocimiento a las técnicas para la solución de problemas en ingeniería [8]. En este marco, se hace el llamado a revisar la formación que están recibiendo los estudiantes sobre todo en aspectos tan básicos para el ejercicio profesional como la solución de problemas [8], [10].

Realizar prácticas durante la formación es una de las maneras en que se puede afrontar la falta de capacidad para solucionar problemas en el campo de la ingeniería. En los escenarios de práctica se pone en juego la capacidad para aplicar principios fundamentales, conceptos y teorías; además se busca que los estudiantes acudan a conocimientos previos, se establezcan conexiones entre ellos y se dinamice el aprendizaje en contextos similares a aquellos en los que será aplicado posteriormente durante el ejercicio profesional [11].

Las prácticas de laboratorio hacen parte de ese grupo de dinámicas de formación que tienen un carácter eminentemente práctico. Allí, en condiciones controladas, se vincula la teoría con miras a solucionar un problema práctico (p.e. la evaluación de una propiedad del suelo para realizar cálculos posteriores sobre su comportamiento mecánico). Un laboratorio –sea físico o virtual- es por principio un escenario que por sus características, y los instrumentos que se emplean, es apropiado para desarrollar experimentos y pruebas las cuales pueden estar orientadas a descubrir, comprobar o demostrar fenómenos, leyes o principios. Mediante la realización de pruebas o experimentos, en un laboratorio, se propone someter a estudio fenómenos reales, controlando las variables que intervienen en ellos o que los afectan.

Los laboratorios son pertinentes para desarrollar comprensiones más profundas de los hechos con los cuales se trabaja [12], favorecen el aprendizaje por descubrimiento [10] y son idóneos para el desarrollo de competencias que permitan a los futuros ingenieros proponer soluciones ingeniosas a problemas relacionados con la manipulación de objetos y magnitudes físicas [13]. Sin embargo, en muchos casos, el tiempo dedicado a los laboratorios dentro del currículo se ha venido reduciendo [5], [13], [14] debido entre otros, a la limitación de espacios físicos dispuestos por las instituciones

educativas para los laboratorios, y a los elevados costos de operación y mantenimiento en los cuales incurren. En este contexto, la adopción de laboratorios virtuales se convierte en una buena alternativa no sólo porque los estudiantes pueden experimentar en ellos las veces necesarias y en el tiempo que consideren, sino también porque su mantenimiento y operación son menos costosos [10].

Un laboratorio virtual es la representación de un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o técnico, producido por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real [15]. Los laboratorios virtuales incluyen herramientas de aprendizaje que integran diversas tecnologías web, bases de datos, herramientas especializada para crear la visualización de un ambiente experimental [2] que los estudiantes pueden utilizar en cualquier momento, y las veces que así lo deseen, para realizar ensayos y experimentos. De esta definición cabe relieves los siguientes aspectos: (i) el laboratorio virtual cuenta con un acervo de información que se encuentra disponible a través de la aplicación o software en que ha sido desarrollado, (ii) permiten ser utilizados varias veces por los estudiantes hasta que ellos puedan apropiarse y en especial poner en práctica los conceptos con la intención de solucionar un problema.

Algunas de sus ventajas, además de las antes señaladas, son: la independencia, la interacción, la flexibilidad y la diversidad [2]. A diferencia de un laboratorio presencial, en el que se manipulan directamente los materiales e instrumentos físicos, o de uno remoto, en el cual se hacen manipulaciones a distancia, en uno virtual no existen tales elementos físicos sino simulaciones de ellos y de los fenómenos con los cuales se va a experimentar [10].

Si bien el uso de los laboratorios se considera pertinente e incluso necesario para la formación en diversas áreas del conocimiento, incluyendo las ingenierías, también se ha cuestionado su alcance, dado que, el diseño muchas veces únicamente fortalece el desarrollo de habilidades instrumentales, en ocasiones desligadas de los constructos teóricos de una asignatura o disciplina, y no se enfoca al fomento de otras formas de pensamiento superior más orientadas a las necesidades actuales de formación del profesional en ingeniería [14], [16].

### **3. Ejes conceptuales para el diseño de un laboratorio para la asignatura de mecánica de suelos**

Se proponen tres ejes conceptuales, interdependientes entre sí, para el diseño pedagógico de un laboratorio para la asignatura de mecánica de suelos: 1) el aprendizaje de los estudiantes desde una perspectiva de la autonomía, la responsabilidad y la toma de decisiones para solucionar un problema determinado; 2) el alcance de los laboratorios en términos del tipo de aprendizaje que se espera desarrollar y la relación entre los conocimientos, previos y por desarrollar, en función de la solución de los problemas; 3) el formato del laboratorio, que puede ser presencial, remoto o virtual.

El primer eje se refiere al aprendizaje de los estudiantes en los laboratorios y está enfocado desde dos perspectivas. La primera asume el aprendizaje como un proceso orientado por prácticas guiadas, paso a paso, donde el principal propósito es que los estudiantes lleven a cabo un conjunto de actividades. La segunda concibe los laboratorios como prácticas autónomas cuya principal función no es otra que comprender y aplicar conocimientos que han sido adquiridos en la mayoría de los casos durante el desarrollo mismo de la asignatura.

Desde la perspectiva de prácticas guiadas, se indican al estudiante las actividades a realizar para desarrollar el laboratorio y, en la mayoría de los casos, el profesor sabe previamente los resultados que se van a obtener después de terminar las actividades sugeridas. Aunque los estudiantes realizan procedimientos y manipulan recursos y equipos, su papel frente al aprendizaje no es realmente activo; el rol del estudiante conlleva baja participación y compromiso, su autonomía es mínima. Por lo anterior, este tipo de práctica encaja con una perspectiva tradicional del aprendizaje, conocida como bancaria o transaccional que consiste en que el estudiante sigue unas pautas que se han establecido para llegar a una meta definida por el profesor. La perspectiva de las prácticas guiadas lleva a que el diseño de un laboratorio sea centrado en la labor del profesor [17] quien establece los pasos que los estudiantes deben seguir antes que enfocarse en el aprendizaje del estudiante y en especial del desarrollo de su autonomía para solucionar problemas. De ahí que la evaluación en este tipo de aproximaciones se realiza corroborando el cumplimiento de las instrucciones y la manipulación de instrumentos y materiales [18]. Este tipo de laboratorios responden a la formación de la ingeniería del siglo XX [8] y no a las demandas que en la actualidad se hacen a los profesionales de la ingeniería.

La perspectiva de los laboratorios como prácticas autónomas implica que los laboratorios deben ser centrados en el aprendizaje de los estudiantes al exponerlos a prácticas en las cuales ellos deben tomar decisiones durante todo o algún momento del proceso para resolver una pregunta o un problema acudiendo para ello a la realización de experimentos y al respectivo análisis de la información obtenida de ellos. Si bien los estudiantes manipulan materiales y equipos y ejecutan procedimientos al igual que en la perspectiva de prácticas guiadas, la diferencia radica en que los estudiantes lo hacen en función de sus decisiones a partir del problema propuesto, y no como producto del seguimiento minucioso y ordenado de instrucciones. Esta perspectiva que promueve la autonomía está alineada con posturas constructivistas de aprendizaje según las cuales el aprendizaje se desarrolla a través de la interacción con la experiencia y a los estudiantes se les debe otorgar una mayor responsabilidad en su proceso de aprendizaje. El diseño del laboratorio, en este caso, está centrado en identificar y proveer la información, recursos y elementos necesarios para que los estudiantes puedan alcanzar los logros de aprendizaje por medio del desarrollo de una tarea, sin que esto implique determinar con antelación todos los momentos y acciones a realizar. De igual manera, se deben definir acertadamente las preguntas o problemas que guiarán la práctica. Las preguntas o problemas deben ser retadoras para los estudiantes y deben incentivarlos a

poner en práctica los conceptos y teorías abordadas. La evaluación, en este caso, está orientada a valorar el nivel de aplicación de conceptos, toma de decisiones y análisis realizados en la solución de problemas.

Aunque los laboratorios tradicionales, diseñados como prácticas guiadas, han recibido cuestionamientos recurrentes por sus limitaciones para lograr aprendizajes significativos en los estudiantes, es común encontrarlos en contextos educativos para la enseñanza de diferentes disciplinas como muestran diversos estudios [12], [14], [17], [19], [20]. De otro lado, existe literatura acerca de laboratorios diseñados como prácticas autónomas [10], [14], [21], [22], por ejemplo, a través de la implementación de estrategias de evaluación enfocadas al desarrollo del pensamiento científico y de las capacidades investigativas [17], [23], [24] o el uso de la perspectiva del aprendizaje basado en problemas [16], [21], [25]. A primera vista se podría suponer que el solo hecho de incluir laboratorios en el plan de estudios implica una postura no tradicional del aprendizaje, en tanto se presumen como actividades prácticas en las cuales los estudiantes tienen un rol activo. Sin embargo, según el diseño y la implementación que se haga de los laboratorios, el papel activo puede estar dado solo en función *del hacer y no del aprender*.

Además de tener claridad en el enfoque del aprendizaje, a la hora de diseñar un laboratorio, es importante determinar como segundo eje para su diseño: cuál es su alcance esperado en relación con el tipo de aprendizaje a promover y la relación que se debe establecer entre los conocimientos previos de los estudiantes y los que se espera sean desarrollados. Los laboratorios pueden tener diferentes usos y propósitos dentro de un ambiente de aprendizaje. Por ejemplo, pueden encaminarse al fortalecimiento de conocimientos, al desarrollo de habilidades o a la movilización de actitudes, a todos ellos de manera integrada, o a algunos de ellos exclusivamente. En este sentido, algunos autores enfatizan en que los laboratorios ofrecen posibilidades de desarrollo de diferentes tipos de habilidades [5], [12], [14], [19], [20], [26] mientras que otros indican que los laboratorios permiten potencializar habilidades y facilitar la adquisición de conceptos y conocimientos [12], [16], [17], [19]. Algunos como [15], [16], [19] indican que los laboratorios favorecen la movilización de actitudes o disposiciones por parte de los estudiantes frente a la disciplina de estudio, por ejemplo, una actitud favorable hacia la ciencia.

El alcance de un laboratorio está determinado por los logros de aprendizaje que se esperan alcanzar. [27] construyó un listado de 13 objetivos fundamentales de los laboratorios en ingeniería clasificados en tres grandes dominios: cognitivo, psicomotor y conciencia sensorial y afectivo. Los aspectos a los que hacen alusión los 13 objetivos son: instrumentación, modelos, experimentación, análisis de datos, diseño, aprender de los errores, creatividad, psicomotricidad, seguridad, comunicación, trabajo en equipo, ética en el laboratorio y conciencia sensorial.

Otra clasificación más reciente de los alcances de aprendizaje y los aspectos evaluados en diversos laboratorios educativos fue propuesta, por [17], a partir del estudio de varias investigaciones sobre la implementación de laboratorios en contextos educativos. En su publicación, asocia su clasificación

con las metas de los laboratorios según el NRC (2006) y las prácticas que el NRC (2012) considera esenciales para los estudiantes de ciencias e ingenierías. En este caso, se establecen seis categorías: conocimiento y comprensión, habilidades para la investigación, habilidades prácticas, percepción, habilidades analíticas y comunicación social y científica [17].

En la revisión de los estudios, [17] encontró que la categoría que se evalúa con mayor frecuencia es la de conocimiento y comprensión lo que es acorde con las dinámicas tradicionales de la enseñanza que privilegian los conceptos y los contenidos teóricos incluso a través de ejercicios prácticos, dejando en segundo lugar, habilidades necesarias para el ejercicio profesional de la ingeniería en la sociedad actual como la capacidad para utilizar la teoría e información para solucionar problemas.

Ambas clasificaciones hacen alusión a la práctica misma, ya sea como aspectos psicomotrices [27] o como habilidades prácticas [17]. No se puede desconocer que en la formación en ingeniería es indispensable desarrollar habilidades prácticas para la manipulación de instrumentos y materiales, así como fortalecer la capacidad para realizar correctamente experimentos [9]. Sin embargo, utilizar los laboratorios únicamente con ese fin puede ser sinónimo de prodigar estrategias que implican altos costos (en tiempo, espacio, mantenimiento, gestión, etc.). Quedarse en ese nivel, como menciona [14], hace que los laboratorios sean una oportunidad perdida dentro del proceso de formación que, en muchas ocasiones, se centra en lo procedimental y pueden incluso estar desarticulados de la asignatura o del mismo plan de estudios.

Si bien los alcances de un laboratorio pueden ser múltiples y diversos, su definición clara y concreta en el diseño es indispensable, evitando así que haya un exceso de logros a conseguir que exijan una gran complejidad en el diseño o que desborden los propósitos de la asignatura o la capacidad real de la práctica. Los logros del laboratorio se establecen en función de los propósitos de la asignatura y el perfil de egreso propuesto en el programa, de los recursos disponibles y de las posibilidades de evaluación existentes.

El tercer eje para el diseño de los laboratorios es la modalidad. En relación con este aspecto, se diferencian tres modalidades: (i) laboratorios presenciales, que se desarrollan con la asistencia de los estudiantes a un espacio determinado en el que se encuentran los equipos o instrumentos necesarios para realizar el ensayo o experimento; (ii) laboratorios remotos en los que se tiene acceso a los equipos o instrumentos a través de un software que permite controlar uno o varios equipos y datos sin que se tenga que estar en el mismo lugar en que ellos están; (iii) laboratorios virtuales que no hacen uso del espacio, instrumentos o recursos físicos sino que utilizan herramientas de software para simularlos y buscar una experiencia similar a la que se logra en los presenciales [10].

Algunos estudios comparan unas modalidades frente a las otras [2], [3], [5], [17], [22], [26], [28] y presentan las ventajas y desventajas. Las principales críticas frente a los laboratorios virtuales están relacionadas con la falta de contacto real con los instrumentos y la diferencia entre experimentar una situación real a una simulada, lo que puede llegar a afectar el comportamiento que tiene el estudiante frente al problema o

proceso. Se critica además, el diseño de la herramienta, dado que éste puede posibilitar la interacción de los estudiantes o ponerlos en un rol únicamente de observador. Por otro lado, se cuentan entre sus ventajas, la reducción de costos y riesgos según el tipo de práctica a realizar, la disponibilidad permanente de la práctica para repetirla cuantas veces se considere necesario, la posibilidad de adaptar la realidad para simplificar el aprendizaje y según el diseño de la herramienta virtual la posibilidad de conocer por medio de un registro todo el proceso que sigue el estudiante con el fin de tener mayores elementos para realizar su retroalimentación. También se menciona la interacción y diversidad que ofrecen, y permiten a los estudiantes apreciar minuciosamente la relación que se establece entre diferentes variables.

Las diferencias encontradas entre unas modalidades y otras no resultan concluyentes para descartar el uso de alguno. Seleccionar el más apropiado depende del tipo de conocimiento que se quiere conseguir [3]. Varios autores [3] [14], [17] consideran que es mejor integrar las modalidades, teniendo en cuenta que al implementarlas en un mismo contexto de aprendizaje, se pueden contrarrestar las debilidades de una con las ventajas de la otra y que además, en muchas ocasiones, la preferencia por una u otra modalidad tiene relación con el tipo de estudiante y de práctica propuesta. Significa entonces que la modalidad en sí misma no determina el tipo de práctica ni su éxito.

#### 4. Laboratorios de mecánica de suelos

En los laboratorios de la asignatura de mecánica de suelos normalmente se realizan diferentes ensayos tales como consolidación, compresión confinada, compresión triaxial, corte directo y conductividad hidráulica. En ellos, los estudiantes suelen seguir paso a paso los procedimientos establecidos en las normas y protocolos para obtener así una serie de resultados en relación con las propiedades mecánicas de los suelos, recolectan datos y responden preguntas relacionadas con dichas propiedades.

Con miras a que los laboratorios contribuyan al aprendizaje de los estudiantes, en especial en la comprensión y aplicación de conceptos y fundamentos y herramientas en la solución de problemas en mecánica de suelos, se propone que los laboratorios se fundamenten en la responsabilidad y la autonomía, que exista coherencia entre los logros de aprendizaje que se buscan alcanzar en la asignatura de mecánica de suelos y los laboratorios y se haga una articulación entre los laboratorios presenciales y los virtuales.

En este contexto, se entiende que el aprendizaje sobre las propiedades mecánicas de los suelos y la resolución de problemas relacionados con estos, se logra a partir de prácticas autónomas y no de prácticas guiadas a modo de receta. Con esto se espera que los estudiantes desarrollen aprendizajes significativos para lo cual es necesario que el estudiante asuma un rol participativo [19], [29], en términos cognitivos y no solo del hacer; y que la experiencia tenga un impacto que genere recordación [12]. Para lograrlo, es indispensable que la planeación de la asignatura contemple la relación entre los

momentos teóricos y los momentos de laboratorio, y no permitir que dicha conexión se dé al azar [12], [22].

El alcance que tendrán los laboratorios de la asignatura mecánica de suelos se ha determinado en función de los objetivos de la asignatura. Siguiendo la clasificación de [17], y con el ánimo de focalizar los resultados de los laboratorios, se han definido tres categorías: conocimiento y comprensión, habilidades investigativas y habilidades analíticas. Esta última requiere de manera insoslayable la integración de las otras dos; y su ausencia, se considera crítica pues está asociada con capacidades de orden superior. Se han descartado las habilidades prácticas, dado que justamente se espera evitar el foco exclusivamente en los procedimientos y también se descartan los aprendizajes de las categorías de percepción sobre la disciplina y la comunicación social y científica, por no ser de alta relevancia en la asignatura de mecánica de suelos, sin querer significar que no son relevantes en el proceso de escolarización de los estudiantes.

Se propone trabajar a partir de problemas [12], [16], [21], [25], [30] que puedan ser resueltos a través de las prácticas de laboratorio realizadas, o cuyas soluciones puedan ser identificadas utilizando pruebas de laboratorio. Cuando se habla de problemas, este artículo lo hace desde la perspectiva del aprendizaje basado en problemas en donde estos se consideran situaciones más o menos reales o muy parecidas a la realidad, de los que no se tiene una respuesta previa y que se consideren interesantes o novedosos para los estudiantes. Entre más cercanos sean a la realidad los problemas, más se favorecerá el análisis y la aplicación del conocimiento teórico por parte de los estudiantes.

Los laboratorios tendrán la posibilidad de complementarse con laboratorios que se realizarán en modalidad virtual, de manera que los estudiantes puedan controlar el desarrollo de sus prácticas, evitando las limitaciones de tiempo y espacio que son comunes en los laboratorios presenciales. Estarán soportados en herramientas de libre acceso como GeoSim que cuenta con simulaciones con las que se ofrece información sobre los instrumentos de laboratorio, los procedimientos de los ensayos, la interpretación, los errores asociados con las técnicas de medición [5] y con varios tipos de ensayo, apropiados para la asignatura, y no suponen el desarrollo de nuevos aplicativos de simulación. En este caso, los laboratorios virtuales rediseñados se articularán con los que serán desarrollados en forma presencial y con las sesiones teóricas por medio de las dinámicas planteadas y la modelación para la resolución de problemas.

La Tabla 1 contiene, a modo de ejemplo, algunos elementos que servirán como insumo para la construcción de los problemas sobre los cuales trabajarán los estudiantes:

## 5. Evaluación de los laboratorios

Los derroteros de la evaluación están dados por el alcance definido para los laboratorios en el marco del contexto general de la asignatura. A partir de estos, se requiere determinar las técnicas e instrumentos a través de los cuales se corroborará el aprendizaje. Algunas técnicas de evaluación que pueden ser utilizadas son los mapas conceptuales sobre la práctica y sus

Tabla 1  
Matriz de logros de aprendizaje y tipos de ensayo. Ejemplo.

Conocimientos	Habilidades de investigación	Habilidades analíticas	Tipos de ensayo
Ciclo hidrológico Fuerza de infiltración Velocidad de infiltración Permeabilidad Anisotropía de los suelos Conductividad hidráulica Cohesión de los suelos	Plantear problemas en los que la conductividad hidráulica sea una variable a estudiar. Identificar la influencia de otras variables en la conductividad hidráulica.	Identificar el tipo de ensayo apropiado según el tipo de suelo y las estructuras de capas de los suelos. Valorar el conocimiento de la conductividad hidráulica para resolver problemas de suelos.	Conductividad hidráulica
Invariantes de esfuerzos Compresibilidad del suelo y del agua Tensión capilar Envoltorio de resistencia	Identificar problemas en los que se obtenga información pertinente a partir del ensayo triaxial. Identificar los datos que el ensayo puede ofrecer para resolver el problema.	Identificar las condiciones críticas para cada tipo de ensayo. Analizar e interpretar los datos recolectados en función de la solución a un problema.	Comprensión triaxial

Fuente: Los autores.

conocimientos asociados [12], [23]; los exámenes con preguntas relacionadas con la interpretación de datos o el uso de los datos para resolver preguntas de investigación [17]; los informes de laboratorio [5], [17], [31] que incluyan, la evidencia de la toma correcta de datos, el análisis de tendencias y el sentido de las gráficas y la construcción de conclusiones [31]; o la construcción de informes a partir de la V epistemológica o V de Gowin [23], [24].

Teniendo en cuenta las categorías en las que están clasificados los aprendizajes esperados de los laboratorios de mecánica de suelos, el instrumento que permite dar cuenta de los aprendizajes de manera integral es un informe de laboratorio, que puede incorporar otras técnicas. A través de este, se espera evidenciar la integración entre los conocimientos, las habilidades relacionadas con la investigación y las habilidades relacionadas con el análisis, teniendo en cuenta que no es un informe sobre una práctica de laboratorio, sino sobre la solución de un problema utilizando para ello prácticas de laboratorio.

En el proceso de solución de los problemas, el estudiante concreta el problema, establece una ruta y los recursos para solucionarlo, identifica las prácticas que requiere, los datos que necesita y el tipo de análisis que hará con ellos. Estos aspectos deben quedar plasmados en el informe para su evaluación. De esa manera, el informe contiene las secciones que se presentan en la Tabla 2. Además del instrumento, la implementación de la evaluación afecta su resultado. Por lo tanto, es necesario que los estudiantes conozcan los objetivos de las prácticas [18], de manera que puedan enfocar su proceso; comprendan el formato de informe y los criterios que se tendrán en cuenta para la evaluación.

Tabla 2  
Secciones del informe de laboratorio

Secciones del informe de laboratorio	Principales resultados de aprendizaje que el informe permite evaluar		
	Conocimientos y comprensión	Habilidades de investigación	Habilidades de análisis
Identificación del problema o preguntas	X	X	
Hipótesis sobre el problema	X	X	
Ruta para resolver el problema	X	X	X
Mapa conceptual	X		X
Presentación del procedimiento realizado		X	X
Recolección y registro de datos		X	X
Análisis de datos		X	X
Respuesta al problema o a las preguntas			X

Fuente: Los autores.

## 6. Conclusiones

Los laboratorios virtuales son una herramienta útil en la formación de los estudiantes de ingeniería en general, y de los de ingeniería civil en particular. Diseñados adecuadamente, estos laboratorios pueden ser efectivos en el aprendizaje de los estudiantes al contribuir a la comprensión y aplicación de los fundamentos teóricos y conceptuales en la solución de problemas en la asignatura de mecánica de suelos.

Dos retos sustanciales deben ser afrontados en el diseño de los laboratorios virtuales en la mecánica de suelos. El primero consiste en la identificación de aquellos problemas asociados con las propiedades mecánicas de los suelos, que para su solución involucren el desarrollo de diferentes ensayos. Una apropiada identificación de los problemas resulta de primer orden, pues los estudiantes podrán involucrar diferentes conceptos tratados en la asignatura (y en otras), y propondrán una ruta para abordarlos utilizando para ello diferentes técnicas y datos. Al utilizar un problema que abarque varios conceptos e implique, por parte de los estudiantes, hacer varios ensayos acudiendo a diferentes técnicas y datos, la complejidad del aprendizaje podrá aumentar teniendo como resultado una buena comprensión de los conceptos y el desarrollo de habilidades para solucionar problemas prácticos en mecánica de suelos.

El segundo reto está relacionado con el diseño de los laboratorios, lo cual pasa indiscutiblemente por tener una definición exacta de los resultados de aprendizaje que se espera alcancen los estudiantes al finalizar la asignatura, el papel que juegan los laboratorios en la consecución de los resultados de aprendizaje, la articulación entre las diferentes mediaciones pedagógicas y los laboratorios y las estrategias de evaluación empleadas a lo largo de la asignatura, así como las de los mismos laboratorios.

El diseño de los laboratorios depende inexorablemente del diseño mismo de la asignatura. En este caso, los laboratorios

hacen parte de los medios que son establecidos dentro de la asignatura para contribuir al alcance de los resultados de aprendizaje. Por ello es adecuado afirmar que el diseño de los laboratorios virtuales parte de una revisión crítica de la manera en que está organizada la asignatura.

## Referencias

- [1] Colmenares, J.E., Programa de la asignatura Mecánica de Suelos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2015.
- [2] Hou, Y. and Wang, F., Web-based virtual laboratory for Mechanical Engineering, in The 5th International Conf. on Computer Science & Education, Hefei, pp. 1601-1604, 2010, DOI: 10.1109/ICCSE.2010.5593775
- [3] de Jong, T., Linn, M. y Zacharia, Z., Physical and virtual laboratories in science and engineering education, *Science*, 340, pp. 305-308, 2013. DOI: 10.1126/science.1230579
- [4] Rosado, L. y Herreros, J.R., Aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la física, en Congreso TAAE Tecnología Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, [En línea]. 2004. Disponible en: <http://taee.euitt.upm.es/actas/2004/papers/2004S1A03.pdf>
- [5] Penumadu, D. and Prashant, A., Virtual simulator for advances geotechnical laboratory testing, in Conf. Geo Congress 2006. [Online]. 2006. DOI: 10.1061/40803(187)270
- [6] Tomás, R., Cano, M., Santamaría, J.C. and Hernández-Gutiérrez, L.E., New approaches for teaching soil and rock mechanics using information and communication technologies, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 191, pp. 1644-1649, 2015.
- [7] Colmenares, J.E. y Celis, J., Hacia una formación más fundamentada y flexible en ingeniería civil, *Revista Educación en Ingeniería*, 11(21), pp. 4-8, 2016.
- [8] Celis, J., Camacho, A., León-Arenas, A. y Duque, M., Dime cómo enseñas y te diré qué tanto aprenden los estudiantes. Los aprendizajes y las prácticas de aula en algunas Facultades de Ingeniería en Colombia, Bogotá: ACOFI, ICFES, UniAndes, UniNorte, 2014.
- [9] Engineering Accreditation Commission, Criteria for accrediting engineering programs., [Online]. November 2004. Available at: <http://www.abet.org/wp-content/uploads/2015/05/E001-15-16-EAC-Criteria-03-10-15.pdf>.
- [10] Gibbins, L. and Perkin, G., Laboratories for the 21st Century in STEM Higher Education, Loughborough: Loughborough University, 2013.
- [11] Zareba, M., Schuh, A. and Camelio, J., Accelerated problem solving sessions in university laboratory settings, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(3), pp. 517-526, 2013. DOI: 10.1007/s10845-011-0558-9
- [12] White, R., The link between the laboratory and learning, *International Journal of Science Education*, 18(7), pp. 761-774, 1996. DOI: 10.1080/0950069960180703
- [13] Duque, M., Gauthier, A. y Martínez, A.C., Una alternativa para la realización de laboratorios docentes en ingeniería, *Revista de Ingeniería*, 10, pp. 73-78, 1999. DOI: 10.16924/2Friua.v0i10.589
- [14] Elhabashy, A., Abdelhamid, S., Reid, K. and Camelio, J., Factors affecting better use of laboratory, in 7th First Year Engineering Experience (FYEE). [Online]. 2015. Available at: <http://fyee.org/2015/papers/5080.pdf>
- [15] Maurel, M.d.C., Dalfaro, N.A. y Soria, H.F., El laboratorio virtual: Una herramienta para afrontar el desgranamiento, en Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. [en línea]. 2014. Disponible en: <http://www.oei.es/congreso2014/memoriactei/677.pdf>
- [16] Prieto, A., Díaz, D., Monserrat, J., Barcenilla, H., Villarroel, M. y Álvarez-Mon, M., Metodología APB 4x4 aplicada a la docencia práctica en laboratorios de ciencias experimentales, de La metodología basada en problemas en la enseñanza universitaria, Murcia, Universidad de Murcia, pp. 211-227, 2008.

- [17] Brinson, J., Learning outcome achievement in non traditional (virtual and remot) versus traditional (hands on) laboratories, *Computers and Education*, 87, pp. 218-237, 2015. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.07.003
- [18] Canu, M. y Duque, M., Laboratorios remotos ¿qué interés pedagógico?, en *Encuentro internacional de educación en ingeniería ACOFI 2015*, Cartagena, 2015.
- [19] Barolli, E., Laburú, C.E. y Guridi, V.M., Laboratorio didáctico de ciencias: Caminos de investigación, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 88-110, 2010.
- [20] Hofstein, A. and Mamlok-Naam, R., The laboratory in science education: The state of the art, *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), pp. 105-107, 2007.
- [21] Felder, R.M. y Brent, R., Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria, *Journal of Engineering Education*, 1(92), pp. 7-25, 2003. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2003.tb00734.x
- [22] Stefanovic, M., Tadic, D. y Nestic, S., An assesment of distance learning laboratory objectives for control engigeering education, *Computer application in engineering education*, pp. 191-202, 2013. DOI: 10.1002/cae.21589
- [23] Flores, J., Caballero, M.C. y Moreira, M.A., El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje, *Revista de Investigación*, 33(58), pp. 75-111, 2009.
- [24] Chamizo, J.A. e Izquierdo, M., Evaluación de las competencias de pensamiento científico, *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 51, pp. 9-19, 2007.
- [25] Bledsoe, K. and Flick, L., Concept development and meaningful learning among electrical engineering students engaged in a problem-based laboratory experience, *Journal of Science Education and Technology*, 21(2), pp. 226-245, 2012. DOI: 10.1007/s10956-011-9303-6
- [26] Keller, H.E. and Keller, E.E., Making real virtual labs, *The Science Education Review*, 9(1), pp. 2-11, 2005.
- [27] Feisel, L.D. y Rosa, A.J., The role of the laborastory in undergraduate engineering education, *Journal of Engineering Education*, 94(1), pp. 121-130, 2005.
- [28] Aktam-Takin, N. and Vatansever, F., A web-based virtual power electronics laboratory., *Computer Application in Engineering Education*, 24, pp. 71-78, 2016. DOI: 10.1002/cae.21673
- [29] Haque, M.E., Interactive animation and visualization in a virtual soil mechanics laboratory, en *Frontiers in Education Conf. 31th Annu.*, Reno, 2001, pp. TIC - 5-9.
- [30] Rodríguez, J., Project based learning experiences in the space engineering education at Technical University of Madrid, *Advances in Space Research*, 56, pp. 1319-1330, 2015. DOI: 10.1016/j.asr.2015.07.003
- [31] Agudelo, J.D. y García, G., Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión, *Latin American Journal of Physics Education*, 4(1), pp. 149-152, 2010.

**J. Celis**, recibió el título de Sociólogo en 2001, el título de MSc. en Sociología en 2003 de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia y el título de MSc. en Estudios Comparados e Internacionales en Educación en 2015 de la Universidad de Estocolmo, Estocolmo, Suecia. Ha trabajado como consultor para COLCIENCIAS, Ministerio de Educación Nacional, Banco Mundial, entre otros. Ha sido investigador en las Universidades Nacional de Colombia y Los Andes. Sus intereses investigativos incluyen: formación doctoral; inserción de doctores al sector productivo; transferencia tecnológica; educación media. ORCID: 0000-0003-0410-5953

**J.E. Colmenares**, es Ing. Civil en 1989 y MSc. en Geotecnia en 1996, de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; MSc y DIC en 1997 y Dr. of Philosophy en 2002 del Imperial College de la Universidad de Londres, Reino Unido. Es profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, en donde desarrolla actividades académicas desde 1992. Sus intereses de investigación están concentrados en el estudio experimental del comportamiento mecánico de los suelos, la mecánica de suelos no-saturados y en la enseñanza de la Ingeniería. ORCID: 0000-0002-1485-0327

**N.R. Héndez**, es Psicóloga en 2004 de la Universidad Santo Tomás, Bogotá; Esp. en Desarrollo Humano con Énfasis en Procesos Afectivos y Creatividad en 2007 de la Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”, Bogotá; y MSc. en Investigación en Didáctica, Formación y Evaluación Educativa en la Universidad de Barcelona, Barcelona, España. Es miembro de SOLACyT Capítulo Colombia. Ha sido asesora pedagógica de diferentes proyectos de educación superior y extensión en la Universidad Nacional de Colombia, Universidad Católica y Universidad Central. Sus intereses investigativos incluyen: incorporación de TIC para la enseñanza y el aprendizaje; formación científica; formación docente, educación superior. ORCID: 0000-0002-5339-4408