

# Estrategias de reflexión para la enseñanza de movilidad de contaminantes en medio poroso

María Fernanda Serrano-Guzmán <sup>a</sup>, Diego Darío Pérez-Ruíz <sup>a</sup>, Luz Marina Torrado-Gómez <sup>b</sup>, Norma Cristina Solarte-Vanegas <sup>b</sup> & Jesús David Sandoval-Posso <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia. [maria.serrano@javerianacali.edu.co](mailto:maria.serrano@javerianacali.edu.co), [ddperez@javerianacali.edu.co](mailto:ddperez@javerianacali.edu.co)

<sup>b</sup> Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. [ltorrado@upb.edu.co](mailto:ltorrado@upb.edu.co), [nsolarte@upb.edu.co](mailto:nsolarte@upb.edu.co)

<sup>c</sup> Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia. [jesusposso@gmail.com](mailto:jesusposso@gmail.com)

**Resumen**— La intencionalidad de la educación universitaria es proveer al entorno profesionales con la capacidad de análisis para responder a las problemáticas que enfrenta la sociedad en cada disciplina. En Ingeniería Civil, uno de los retos es la comprensión del comportamiento del suelo lo que implica el aprendizaje de diferentes conceptos que requieren competencias específicas. En este artículo se presentan estrategias pedagógicas fundamentadas en la reflexión del quehacer como ingeniero alrededor de temas de movilidad de contaminantes en suelos. La estructura metodológica de cada estrategia incluye un objetivo actitudinal común, objetivo particular, recursos, composición del equipo de trabajo, tiempo y descripción de la estrategia fundamentada en pensamiento crítico, compromiso social resolución de problemas y comunicación oral. Se concluye que este diseño pedagógico puede implementarse en otras asignaturas pues facilita la transferencia de conocimiento quedando pendiente el diseño de la evaluación que mida la apropiación de conocimientos por parte de los estudiantes.

**Palabras Clave**— reflexión; estrategia; pedagogía; suelos.

Recibido: 31 de diciembre de 2017. Revisado: 6 de marzo de 2018. Aceptado: 21 de marzo de 2018.

## Reflection strategies for teaching of contaminants transport in porous media

**Abstract**— The intention of the university education is to provide professionals with the analytical capacity to respond to the problems faced by society in each discipline. In Civil Engineering, one of the challenges is the understanding of soil behavior, which implies the learning of different concepts that require specific competences. This article presents pedagogical strategies based on the reflection regarding mobility of contaminants, issues that could be useful to an engineer. The methodological structure of each strategy includes a common attitudinal objective, specific objective, resources, composition of the work team, time and description of the strategy based on critical thinking, social commitment, problem solving and oral communication. It is concluded that this pedagogical design can be implemented in other topics because it facilitates the transfer of knowledge, and that the evaluation of the knowledge appropriation by the students continues pending.

**Keywords**— reflection; strategy; pedagogy; soils.

## 1. Introducción

La tarea principal de las instituciones educativas es generar las condiciones pedagógicas y didácticas suficientes para que el

futuro profesional desarrolle su pensamiento y su autonomía intelectual, se nutra con el conocimiento y lo relacione con su contexto [1]. Esto probablemente justifique el por qué, actualmente las universidades y los centros de formación de profesionales y en general de cualificación del individuo realizan ajustes que pueden desencadenar incluso en reformas curriculares buscando responder a las demandas del entorno [2], esperando de esta forma, que los programas sean apetecidos por estudiantes con quienes se emplearán metodologías de enseñanza para que desarrollen las competencias que a futuro les permitan desempeñarse ocupacionalmente con mayor competitividad. Sin embargo, existe una gran dificultad para evaluar el grado de competencia de una persona, situación que se mide mediante tests, observaciones, entrevistas o autopercepciones [3].

En este artículo se plantean modelos de estrategias pedagógicas que le permitan al estudiante reflexionar alrededor de las implicaciones del transporte de contaminantes en suelos situación que pueden llegar a enfrentar durante el ejercicio de la ingeniería civil. Para ello se plantean estructuras metodológicas fundamentadas en la reflexión alrededor de resolución de problemas, pensamiento crítico, trabajo en equipo, comunicación oral y compromiso social, las cuales están en consonancia de manera transversal con las competencias específicas para Ingeniería Civil señaladas en el Proyecto Tuning para América Latina.

Justamente, dentro de las competencias específicas se señala la de interactuar con grupos multidisciplinarios. Por ello, un buen número de actividades en el aula se desarrollan mediante el trabajo en equipo por cuanto se busca que el estudiante se integre y colabore con otros para conseguir objetivos comunes, haciendo aportes, respetando a sus iguales y manteniendo el bienestar del grupo [3]. Sin embargo, existen otras estrategias que se realizan de manera individual por cuanto buscan, fortalecer una destreza particular en el individuo [4].

Ejemplo de ello son las exposiciones orales que dan soporte a la competencia lingüística, considerada según la retórica

**Como citar este artículo:** Serrano-Guzmán, M.F., Pérez-Ruíz, D.D., Torrado-Gómez, L.M., Solarte-Vanegas, N.C. and Sandoval-Posso, J.D., Estrategias de reflexión para la enseñanza de movilidad de contaminantes en medio poroso Educación en Ingeniería, 13(26), pp. 35-41, Julio, 2018.

clásica como “virtud oratoria” en la cual el individuo debe transmitir la información de forma correcta, clara y ordenada [5]. A nivel laboral, un individuo con buena capacidad comunicativa entretiene relaciones, contribuye a sustentar el clima organizacional y es más productivo [6] y está en capacidad de producir o comprender discursos a su contexto [7].

Por otro lado, el mundo actual está requiriendo profesionales con compromiso social, preparados para ejercer con eficiencia destrezas profesionales y conscientemente formados en sus deberes con la sociedad [8]; con pensamiento crítico fortalecido de manera que se protejan de creer lo que les dicen sin cuestionarse y capaces de reconocer que como individuos pensantes tienen la oportunidad de investigar por ellos mismos lo que conlleva al mejoramiento de la experiencia personal y social [9]. Si bien es cierto, cada programa académico tiene unas competencias específicas propias, las estrategias de reflexión planteadas para la enseñanza del transporte contaminantes le provee al futuro ingeniero civil herramientas que le permitirán un mejor desempeño durante el ejercicio ocupacional de su profesión.

## 2. Metodología

Se han seleccionado estrategias fundamentadas en las competencias que se espera adquiera el ingeniero civil alrededor del tema de transporte de contaminantes en medio poroso las cuales se sustentan en el aprendizaje+servicio. Cada estrategia metodológica preparada bajo un esquema de reflexión se compone de: objetivo de aprendizaje del curso según currículo, competencia que se espera fomentar, objetivo de la actividad, recursos necesarios, modalidad de trabajo, detalle de la actividad. Para el caso particular de este trabajo, las estrategias de reflexión presentadas para el curso de Transporte de Contaminantes en Medio Poroso tienen una habilidad actitudinal común definida por el equipo de trabajo que es:

*Desarrollar habilidades necesarias para el desempeño ocupacional del ingeniero civil en la solución de problemas asociados al pensamiento crítico frente al uso del recurso hídrico, compromiso social sobre la relación entre el agua subterránea y el agua superficial, resolución de problemas para experimentación en suelos y habilidades comunicativas para la divulgación de resultados.*

## 3. Reflexión para competencia de pensamiento crítico

El pensamiento crítico genera en el individuo habilidades cognitivas y disposiciones. Dentro de las cognitivas están la interpretación, análisis, evaluación, inferencia, explicación y autoregulación. Las disposiciones están asociadas con la naturaleza del ser humano como ser pensante que genera actitudes que le permiten mantener la mente abierta y de manera analítica, sistemática, inquisitiva y juiciosa llegar la verdad en determinado asunto, basándose en el razonamiento [10]. La estrategia aquí planteada le aporta al individuo habilidades para reflexionar, hacer juicios de valor y tomar decisiones que

desencadenan en la capacidad de emitir un juicio sancionatorio, en este caso.

**Objetivo del curso:** Realizar el balance hídrico de una cuenca.

**Objetivos de la reflexión:** Reconocer los procesos que afectan la calidad del recurso hídrico.

**Recursos:** Medios audiovisuales, hojas, computador, servicio de internet, aula de clase, lápiz, tablero.

**Modalidad:** Grupal

**Composición de los grupos:** La organización debe hacerse con grupos de números impares.

**Duración:** 45 minutos.

**Descripción:** El profesor plantea una situación hipotética de una comunidad. Como ejemplo:

Una comunidad adolece de sistema de distribución de agua para consumo. En la actualidad, los 390 habitantes distribuidos en 60 casas recogen el agua de los tejados de las viviendas durante el invierno y en la época de verano, la toman directamente de nacimientos o manantiales que llevan a la superficie el agua subterránea; en ambos periodos de tiempo, esta agua es almacenada en tanques [11]. En el último mes se han reportado 210 casos de enfermedades diarreicas relacionadas por la presencia de la bacteria *Escherichia coli* la cual al parecer había sido depositada deliberadamente en los tanques de almacenamiento. La junta de acción comunal inició una investigación para encontrar las personas responsables y exigir la reparación correspondiente. Producto de esta investigación se han señalado cinco posibles individuos con los siguientes perfiles: un comerciante de productos químicos para tratamiento de agua, un jardinero promotor de hidrosiembra para estabilización de taludes, un poeta, un deportista y un habitante de calle.

En cada equipo de trabajo, se solicita a los estudiantes que en 10 minutos indiquen en un papel dos de los cinco perfiles que pudieran pertenecer a las personas responsables de la contaminación de los tanques y además que indiquen las razones que motivaron su selección [12]. Antes de recoger las respuestas, el profesor anuncia que cada grupo tiene 5 minutos para revisar los roles y las razones y conclusiones correspondientes, y de hacer cambios si lo consideran pertinente.

El profesor escribe en el tablero los resultados y las razones y procede a totalizar la frecuencia de las selecciones de los grupos y las coincidencias en las razones.

Luego, el profesor devuelve los papeles que le fueron entregados y solicita al grupo que en 15 minutos indiquen [12]:

¿Qué criterio tuvieron para seleccionar en primera instancia los perfiles?

Cuando se le dio la oportunidad de revisar la selección hecha, ¿qué cambio realizó el grupo y cuál fue la razón para hacerlo?

¿Qué discusiones se generaron para hacer la selección o los cambios?

¿Cuáles son los detalles más significativos que los llevaron a determinar que cierto individuo podría haber contaminado las aguas?

El profesor recoge los resultados de las respuestas a estas preguntas y hace entrega de un nuevo cuestionario con las siguientes inquietudes:

Si se les informa que la Junta de Acción Comunal identificó que en el último mes una migración de patos salvajes pasó por la comunidad y las aves, en busca de agua, hicieron uso del agua de los tanques, por lo cual ninguno de los sindicatos sería responsable de la contaminación.

¿Cómo se sienten al respecto luego de haber realizado los señalamientos?

¿Por qué aceptaron tan fácilmente la decisión de la Junta de Acción Comunal respecto a los sindicatos?

¿Cuál es la enseñanza de este ejercicio?

¿En qué ocasiones del ejercicio del ingeniero civil pueden ocurrir hechos similares?

**Reflexión para el cierre de la actividad:** El profesor hace saber a los estudiantes que existen criterios discriminatorios en la sociedad en virtud de los cuales se culpa a los individuos por diferentes fallas o errores [12] sin tomar en consideración otros antecedentes. Esta actividad puede emplearse para introducir el tema de calidad de agua en los cursos de recursos hídricos.

**Evidencias de aplicación de la estrategia de reflexión:** Esta estrategia pedagógica fue adaptada para el curso de Proyectos de Construcción compuesto por 19 estudiantes, 17 de los cuales coincidieron en que prima el interés general que el particular. Este espacio de discusión sensibilizó a los futuros ingenieros sobre la importancia de priorizar inversiones en función no del número de personas beneficiadas sino en función del tipo del impacto positivo que se genera en una comunidad al momento de realizar las obras de infraestructura que verdaderamente se necesitan.

#### 4. Reflexión para competencia de compromiso social

[13] denomina el momento actual como la edad del compromiso social, en donde se supera el concepto de extensión y se le da importancia a la contextualización del conocimiento, las implicaciones de la aplicación de este conocimiento en la sociedad, la transdisciplinariedad y el fomento hacia el aprendizaje colectivo. La estrategia aquí planteada es útil para el estudiante por cuanto le orienta sobre el impacto que tienen las decisiones ingenieriles en la comunidad, en lo que a aprovechamiento de agua subterránea se refiere, y le obliga a un aprendizaje colectivo.

**Objetivo del curso:** Comprender la interacción agua subterránea -agua superficial empleando modelación con herramientas computacionales.

**Objetivos de la reflexión:** Comprender los parámetros que rigen el movimiento en medio poroso empleando un tanque (modelo de acuífero) en dos dimensiones.

**Recursos:** Tanque modelo de acuífero, manguera, sal, agua, arena, cronómetro, conductímetro, lápiz y papel.

**Modalidad:** Individual

**Duración:** 90 minutos.

**Descripción:** En el modelo en dos dimensiones de un acuífero (Fig. 1) se puede comprender la interacción agua superficial y agua subterránea por cuanto en su construcción se contempló incluir la simulación de la existencia de un acuífero

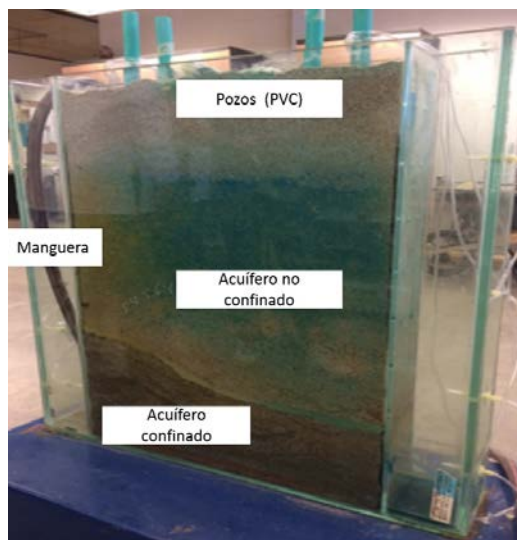


Figura 1. Esquema del acuífero  
Fuente: Autores

confinado y uno no confinado con cuatro pozos de extracción, dos en cada acuífero, y en la parte superior, una sección que representara un lago o un río [14]. A continuación, durante 60 minutos, se siguen los siguientes pasos:

- Se procede a preparar una solución salina 0.1 M de NaCl.
- Se satura el acuífero con la ayuda de la manguera
- Se mide la conductividad inicial a cada lado del acuífero
- Se añade la solución de NaCl en un lado del acuífero
- Se abren las válvulas del costado opuesto para permitir la movilidad del agua y se mide la salinidad correspondiente en cada punto empleando el conductímetro.
- Se registra además la información del tiempo, con la ayuda del cronómetro.
- Se solicita al estudiante que realice un gráfico en Excel Concentración vs. Tiempo para cada punto de salida del agua. Se sugiere también, que asuma una reacción de primer orden para que estime la constante k para cada punto.

Durante el tiempo que ocurre la movilidad del agua, indique a los estudiantes que midan la concentración que se reporta en los cuatro pozos y que registren las diferentes alturas que se presentan en los pozos a medida que se va moviendo el agua. Se sugiere entonces que realicen un mapa que represente la movilidad de la salinidad de un extremo del tanque al otro, esto para la toma de decisiones para extracción de agua para consumo ya que, si el agua se saliniza, no puede ser consumida directamente. Se destinan 10 minutos de duración para esta actividad.

Posteriormente, se orienta que planteen soluciones que desde la perspectiva de ingeniería civil se pudieran emplear para desalinizar el agua de los pozos. Se dan 10 minutos.

Luego de este tiempo, se responde de manera individual la siguiente reflexión: 1) ¿Qué factores favorecen la movilidad de la solución salina? 2) Si al tiempo que se abren las válvulas en el extremo del tanque, se inicia la extracción de agua en el acuífero no confinado, ¿en qué tiempo se saliniza este acuífero? 3) ¿Qué efectos tiene el uso de agua con concentraciones de sal en las personas, los animales, las plantas y las cosas? Se dan 10 minutos.

**Reflexión para el cierre de la actividad:** El profesor puede apoyarse en los resultados del ejercicio práctico para explicar que los sistemas de agua superficial y subterránea están interconectados, razón por la cual la afectación de la calidad del agua compromete en su totalidad al componente hídrico. Evidentemente, también sirve para explicar los conceptos de abatimiento de acuíferos y capacidad máxima de bombeo en un pozo de extracción; además, como el material del acuífero puede modificarse, es posible estudiar el comportamiento de la movilidad de contaminantes para diferentes tipos de suelos.

Por otro lado, esta actividad aporta elementos pedagógicos para un curso de ecuaciones diferenciales, ya que es posible hacer uso de los datos de movilidad del trazador de un extremo a otro del tanque para determinar variables.

**Evidencias de aplicación de la estrategia de reflexión:** Esta experiencia fue replicada en un curso de maestría de Transporte de contaminantes en medio poroso el que participaron cuatro estudiantes y el 75% asimiló las ecuaciones de Jacob y Hantusch y el 100% comprendió que el abatimiento de un acuífero tiene repercusiones en la interacción agua subterránea-agua superficial.

## 5. Reflexión para competencia habilidades comunicativas

En la medida en que el ser humano desarrolle la capacidad de comunicarse, podrá construir relaciones sólidas [6]. Resulta fundamental que el estudiante aprenda a comunicarse tanto de manera oral como escrita y que reconozca que, en el caso de la comunicación escrita, esta se torna en un monólogo, razón por la cual, debe hacerse un uso adecuado de las palabras para que el lector comprenda el mensaje que lee sin necesidad de un interlocutor que se lo explique. La reflexión en la estrategia planteada pretende que el estudiante desarrolle la capacidad de síntesis manteniendo la relación de contenido entre dos fragmentos de un texto. Esto aproxima al futuro profesional a la práctica de emitir juicios técnicos partiendo de información (pruebas de campo, inspecciones, informes de terceros, etc.) preparada por otros.

**Objetivo del curso:** Desarrollar habilidad de comunicación oral y escrita.

**Objetivos de la reflexión:** Afianzar la capacidad de síntesis para la elaboración de resúmenes partiendo de la lectura de documentos en inglés y español.

**Recursos:** Artículos de la web, computador con Word o procesador de texto.

**Modalidad:** Grupal, mínimo 2 y máximo 3 participantes.

**Duración:** 20 a 30 minutos.

**Descripción:** El docente orienta a los grupos de trabajo para que elaboren un párrafo que defina porosidad de un suelo empleando dos oraciones en las que hagan uso de 20 a 25 palabras. Se conceden 10 minutos.

Posteriormente, se solicita que cada grupo lea la definición que estructuró y se selecciona, por votación, la mejor definición. Como lo recomienda el Centro de Desarrollo Docente de la Pontificia Universidad Católica de Chile en la ventana Actividades de Reflexión A+S “ningún grupo puede votar por su propia definición” [15]. En esta actividad se destinan 5 minutos.

Una vez seleccionada la mejor definición, se solicita al grupo que proceda a leer el siguiente párrafo tomado del artículo (The effective porosity and grain size relations in permeability functions” [16]:

“...In a permeability model, porosity function, expressed by factors of porous media parameters, applies only to flow pores. Following that fact, it was named effective porosity, .... that has direct impact on the amount of driving forces and indirectly participates in the conversion of specific surface value into a value of effective mean grain which is the carrier of drag resistance. Both forces affect the moving fluid and that makes effective porosity an active factor only to pores through which the water flows...” [16]

Y, que continúen con la lectura de la opinión de [17] sobre las dificultades para la determinación de la porosidad:

“...Prediction of porosity and permeability in subsurface deposits is of prime importance to hydrologists and reservoir engineers. These variables are notoriously difficult to predict on account of the large number of factors that influence the pore-size and shape distributions during and after deposition...” [17]

Posteriormente, se indica al grupo que proceda a complementar la definición que se seleccionó con la definición aportada por los párrafos que se transcribieron de [16] y [17]. Posteriormente, se invita a que los estudiantes escriban un párrafo que contenga por lo menos tres oraciones que contengan la definición de porosidad y la complejidad para la estimación de la misma.

**Reflexión para el cierre de la actividad:** Esta actividad puede realizarse con diferentes conceptos permitiendo que el estudiante entre en contacto con nuevos temas. La iniciativa de incluir textos en una lengua diferente a la materna pone en contacto al estudiante con el lenguaje técnico en otro idioma.

**Evidencias de aplicación de la estrategia de reflexión:** Esta estrategia pedagógica fue implementada en el Semillero de Gestión de Obras. Un total de 16 estudiantes participaron, agrupados libremente para trabajar diferentes temáticas. Se realizó el acompañamiento para la síntesis sobre diferentes temas de contratación pública. Hasta el momento han sido publicados tres trabajos en revistas internacionales y se participó con cuatro ponencias en el encuentro internacional de Facultades de Ingeniería organizado por ACOFI en septiembre de 2017, así como también dos trabajos fueron socializados en el Primer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación organizado por el Sena en la ciudad de Santiago de Cali en noviembre del mismo año.

## 6. Reflexión para competencia de resolución de problemas

En el caso particular de la reflexión propuesta, esta se encamina hacia el objetivo específico señalado por el Proyecto Tuning sobre la capacidad que debe desarrollar el estudiante (futuro profesional) para implementar la tecnología más apropiada para su contexto [18].

**Objetivo del curso:** Planear ensayos de laboratorio para identificación de propiedades del suelo.

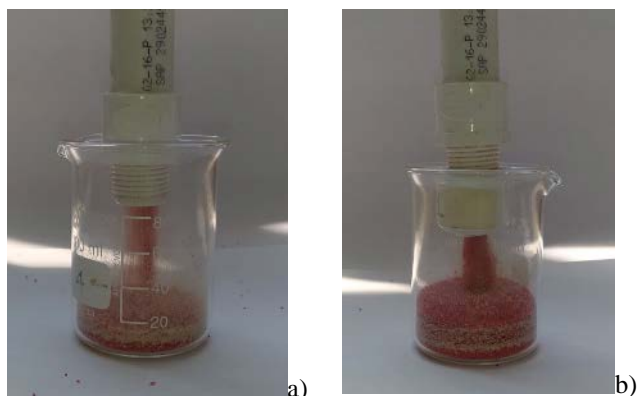


Figura 2. Llenado del *beaker* con diferentes boquillas  
Fuente: Autores

**Objetivos de la reflexión:** Desarrollar un procedimiento estandarización de llenado de una columna de suelo.

**Recursos:** vaso de precipitado, embudo, arena de diferentes tamaños y colores, tubos, tapones con perforaciones de diferentes diámetros, cronometro, lápiz, papel, computador para elaboración de reporte y uso de Matlab para análisis de imágenes, cámara fotográfica, balanza.

**Modalidad:** Grupal, mínimo 2 y máximo 3 participantes.

**Duración:** 20 a 30 minutos.

**Descripción:** El docente entrega dos tipos de suelo a cada grupo de trabajo. Se solicita que se verifique el impacto que tiene el tamaño en la acomodación del material del suelo en la columna. Se proveen los tubos para que sean empleados en el llenado del *beaker* empleando diferentes tipos de boquillas a la salida, como se indica en la Fig. 2a y 2b.

Cada grupo de trabajo llevará un registro de tiempo y de la masa que queda finalmente depositada en el recipiente. Con la relación masa/tiempo determinará la velocidad de llenado. Durante el llenado, se tomarán fotos que permitan realizar la trazabilidad del proceso de acomodación de los granos. Para ello, el profesor suministrará un código desarrollado en Matlab para que los estudiantes analicen las imágenes de cada proceso de llenado, de modo que con el procesamiento de dichas imágenes se tengan criterios técnicos para la toma de decisiones sobre el mejor método.

Una vez determinada la razón de depositación de los granos con las diferentes boquillas y analizadas las imágenes, cada grupo elabora el procedimiento a seguir para que el material granular se acomode con la menor segregación en el *beaker*.

El procedimiento elaborado es validado por el resto de los grupos, para lo cual se entregan las instrucciones para la repetibilidad de la experiencia. El profesor junto con el grupo decide en consenso el mejor procedimiento en función de la menor variación de resultados.

**Reflexión para el cierre de la actividad:** Como complemento a la actividad de la segregación del material, el profesor puede aprovechar la experiencia para explicar la incidencia del método de llenado en el resultado de la masa unitaria suelta del suelo que se está incorporando al recipiente.

**Evidencias de aplicación de la estrategia de reflexión:** Esta experiencia fue replicada con estudiantes del semillero de Gestión de Obras en donde cuatro estudiantes realizaron los

ensayos y el mejor procedimiento se empleó en una investigación que está siendo adelantada por las universidades a las cuales pertenecen los autores de este artículo.

## 7. Discusión

En la actualidad existen fuertes discrepancias sobre lo que significa la competencia por lo cual ésta es difícil de medir o evaluar [3]. Las universidades, como toda organización, de manera periódica actualizan su currícula con herramientas metodológicas que satisfagan los requerimientos del entorno [2] buscando proveer a sus egresados las necesarias competencias para que sean competitivos.

A nivel del aula de clase es posible plantear iniciativas con las cuales el futuro profesional aprenda a integrarse y a mantener un ambiente de trabajo armonioso [3] respondiendo a las necesidades de la sociedad, desempeñándose en un ambiente multiprofesional en donde cada uno hace una contribución para obtener un producto final.

Así mismo, otro tipo de estrategias buscan mejorar la comunicación oral, ya que esta debe ser clara para que cumpla el objetivo del discurso como signo en la medida adecuada [5]. Según esto, el profesional debe alcanzar la competencia lingüística, discursiva y estratégica de modo que pueda iniciar y concluir cualquier intento de comunicación que realice [7]. Igualmente, debe estar en capacidad de generar pensamiento complejo, multidimensional, que en esencia relaciona el pensamiento crítico, el creativo y el valorativo [9]. Justamente, la importancia de reflexionar sobre el pensamiento crítico le permite al futuro ingeniero comprender la situación actual (línea base) y futura (desarrollo prospectivo) de una comunidad [1].

Las estrategias de reflexión desarrolladas en este artículo se diseñaron para que el futuro profesional analice aspectos significativos del transporte de contaminantes y encuentre aplicación en su ámbito laboral [19] y pueda desarrollar valores y actitudes [20].

Aunque este estudio continúa hacia la inclusión de estrategias que permitan evaluar la apropiación a largo plazo de los conocimientos sobre el tema de transporte de contaminantes en medio poroso y tópicos asociados, los investigadores involucrados en esta experiencia pedagógica consideran que los modelos de reflexión planteados permitieron la transferencia de conocimiento sobre interacción de agua subterránea y superficial; relación entre permeabilidad y tamaño del grano; efecto del tamaño del grano en el llenado de una columna para experimentación; entre otros aspectos, lo que se corroboró mediante técnicas como la observación dinámica grupal y el guión de evaluación, que también fueron empleadas por Ferrán-Zubillaga y Guinot-Viciano (2012).

Las estrategias de reflexión descritas en este estudio son ampliamente aplicadas en la metodología aprendizaje+servicio. Algunos referentes académicos que corroboran la eficacia de esta práctica pedagógica y sus correspondientes estrategias son:

*Aprendizaje servicio como herramienta para inclusión social de los menores insertos en programas educativos en el marco residencial* [21]. Con esta metodología se logró una mejora en la capacidad de relación social de los menores, aumento de su

autoestima y del autoconcepto como miembro proactivo, lo que redundó a su vez en su imagen social. En este estudio se hace énfasis en que, para producir un cambio en el niño, se requiere el concurso del entorno en el que este niño se desenvuelve, entretejiendo unas relaciones sociales seguras y reales.

*Aprendizaje servicio para fortalecer competencias genéricas de Diversidad e Interculturalidad y Sentido Ético* [22]. Un total de 80 estudiantes, organizados en grupos de 12-15, interactuaron en tres escenarios: los salones destinados a contenidos teóricos como charlas, conferencias y talleres; los grupos de reflexión para ir integrando la teoría y la práctica; y, por último, las tutorías. Estos estudiantes eran de Comunicación, Turismo, Trabajo Social, Administración de Empresas, Administración de Empresas y Derecho, Administración de Empresas e Informática. La experiencia central buscaba desarrollar un servicio solidario en la comunidad en donde estos estudiantes se desenvolvían, centrándose la práctica pedagógica en el fortalecimiento de actitudes y valores tales como la apertura a la realidad social y la sensibilidad hacia la exclusión social. Los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos validan la idoneidad de la experiencia. Las técnicas de evaluación empleadas fueron la observación dinámica grupal, las tutorías, guión de evaluación, memoria, principalmente.

*Aprendizaje servicio en comunidades de aprendizaje* [23]: en este estudio de tipo mixto, no experimental (Ex Post-Facto) se emplea el método de la codificación abierta de la teoría fundamentada aplicando un Cuestionario de Satisfacción del Voluntariado Universitario en Comunidades de Aprendizaje y tomando como base el diario de campo de los profesionales que intervienen. Los participantes coinciden en que lograron la apropiación de conceptos teóricos, mejorar sus habilidades sociales y comunicativas y adquisición de cualidades y competencias para el ejercicio profesional.

*Aprendizaje servicio como un programa para la inclusión de personas con discapacidad, gitanos e inmigrantes* [24]. En este caso, la competencia social estuvo centrada en el “Proyecto Vida Independiente” y la competencia comunicativa en el programa de radio “Los Bandidos de la Hoya” y el “Taller de Creación Literaria.

*Aprendizaje servicio como estrategia para fomento de las competencias ciudadanas* [25]. En este caso se parte de la observación participante apoyada en una guía de observación, se aplica una rúbrica para la autoevaluación. En esencia se generaron espacios para que los niños y adolescentes que participaron analizaran un problema de su comunidad, plantearan soluciones a situaciones públicas para adquirir las competencias ciudadanas.

*Aprendizaje servicio para desarrollo de competencias en sostenibilidad* [26] mediante estrategias diseñadas para evaluar el «Compromiso ético activo con los derechos humanos y con la sostenibilidad» y el «Compromiso ético activo con los derechos humanos, la igualdad entre hombres y mujeres y la sostenibilidad» medido a través de competencias para el análisis crítico y la reflexión sistémica, para la toma de decisión colaborativa y compromiso social valorado con competencias relacionadas con el sentido de la responsabilidad hacia generaciones presentes y futuras.

## 8. Conclusiones

En la actualidad existe una amplia oferta de programas educativos que esperan ofrecer los profesionales adecuados para el medio empleando para la transferencia de conocimiento diferentes actividades que se realizan en el aula o fuera de ella, esperando que la apropiación de este conocimiento se logre en cada uno de los individuos. Las estrategias de reflexión planteadas sitúan al estudiante en problemáticas específicas de su quehacer ocupacional permitiéndole tomar posturas para la toma de decisiones que conduzcan a las mejores soluciones técnicas. Cada docente puede desarrollar su propia estrategia pedagógica cimentada en la reflexión y debe establecer la correspondiente estrategia de evaluación acorde con la dinámica de trabajo realizada, ciñéndose en todo momento a los principios misionales de la Universidad.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Pontificia Universidad Javeriana Cali y la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga que financiaron la investigación *Evaluación de parámetros para estudio de la movilidad de contaminantes en medio poroso* de la cual se derivaron las estrategias de reflexión presentadas en este trabajo.

## Referencias

- [1] Vélez-Gutiérrez, C.F., Una reflexión interdisciplinaria sobre el pensamiento crítico, *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(2), pp. 11-39, julio-diciembre, 2012.
- [2] Pérez-de Maldonado, I., Bustamante-Uzcátegui, S. y Maldonado-Pérez, M., El trabajo en equipo y el desarrollo de habilidades conversacionales en organizaciones educativas, *Omnia*, 15(3), pp. 78-96, 2009.
- [3] Ibarra-Sáiz, M., y Rodríguez-Gómez, G., Aprendizaje autónomo y trabajo en equipo: reflexiones desde la competencia percibida por los estudiantes universitarios, *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 14(4), pp. 73-85, 2011.
- [4] Tamayo, M., Besoain-Saldaña, A., Aguirre, M. y Leiva, J., Trabajo en equipo: relevancia e interdependencia de la educación interprofesional, *Revista de Saúde Pública*, 51, pp. 1-10, 2017. DOI: 10.1590/s1518-8787.2017051006816
- [5] Erren, M., La competencia comunicativa del orador, *Acta Poética*, 28(1), pp. 121-156, 2008.
- [6] Bermúdez, L. y González, L., La competencia comunicativa: elemento clave en las organizaciones, *Quórum Académico*, 8(15), pp. 95-110, enero-junio, 2011.
- [7] Viera-Bayeaux, I., Algunos criterios acerca de la competencia comunicativa, *EduSol*, 10(31), pp. 29-38, abril-junio 2010.
- [8] Muñoz-Gaviria, D.A., El compromiso social de las facultades de educación: reflexiones pedagógicas en torno a la educación y la crisis de la modernidad, *El Ágora USB*, [en línea].11(1), pp. 125-152, enero-junio 2011. Disponible en: <http://revistas.usb.edu.co/index.php/Agora/article/view/390/149>
- [9] France, D.M., de la Garza, M.T., Slade, C., Lafortune, L., Pallascio R. y Mongeau, P., ¿Qué es el pensamiento dialógico crítico?, *Perfiles Educativos*, [en línea]. XXV(102), pp. 22-39, 2003. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-26982003000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982003000400003)
- [10] Facione, P.A., Pensamiento crítico: ¿Qué es y por qué es importante? [en línea]. 2007. Disponible en: <http://www.insightassessment.com/t.htm>
- [11] Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias., Convocatoria ideas para el cambio, ciencia y TIC y para la paz. -Anexo 10 reto de ciencia y TIC Timbío Cauca, Julio 2017. [En

- [línea]. [Último acceso: 22 diciembre 2017] Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/convocatorias/mentalidad-y-cultura/convocatoria-ideas-para-el-cambio-ciencia-y-tic-para-la-paz>
- [12] Mercabá., Web Informativa de Católicos Hispano-hablantes. [En línea]. 2017. [Último acceso: 20 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.mercaba.org/Catecismo/DINAMICAS/Din%C3%A1micas%20de%20Reflexi%C3%B3n.htm>.
- [13] García-Guadilla, C., El compromiso social de las universidades. Cuadernos del CENDES, [En línea]. 25(67), pp. 129-134, enero-abril, 2008. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40306707>
- [14] Serrano-Guzmán, M.F., Pérez-Ruiz, D.D., Guzmán-Arias, D.A. y Forero-Sarmiento, J.C., Modelo físico de acuífero: su implementación para un curso de aguas subterráneas, Ciencia Docencia Y Tecnología, [En línea]. 48, pp. 209-223, 2014. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/145/14531006009/>
- [15] Centro de Desarrollo Docente., Mitad y mitades, Campus San Joaquín: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017.
- [16] Urumović, K. and Urumović Sr., K., The effective porosity and grain size relations in permeability functions, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss, 11, p. 6675-6714, 2014. DOI: 10.5194/hessd-11-6675-2014
- [17] Alberts, L. y Weltje, G.J. Predicting initial porosity as a function of grain-size distribution from simulations of random sphere packs. In: Conferences IAMG, Sessions. [online]. 2017. Available at: <http://www.kgs.ku.edu/Conferences/IAMG/Sessions/H/Papers/alberts.pdf>
- [18] Tuning América Latina., Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina, Publicación de la Universidad de Deusto, [en línea]. 2007, 432 P. Disponible en: [http://tuningacademy.org/wp-content/uploads/2014/02/TuningLAIII\\_Final-Report\\_SP.pdf](http://tuningacademy.org/wp-content/uploads/2014/02/TuningLAIII_Final-Report_SP.pdf)
- [19] Arratia-Figueroa, A., Ética, solidaridad y aprendizaje servicio en educación superior, Acta Bioethica, 14(1), pp. 61-67, 2008. DOI: 10.4067/S1726-569X2008000100008
- [20] Palomer, L., Humeres, P., Sánchez, A., González, S. y Contreras, A., Una experiencia de "aprendizaje-servicio": fomentando el desarrollo de valores en estudiantes de odontología chilenos, FEM: Revista de la Fundación Educación Médica, 16(2), pp. 91-96, junio, 2013. DOI: 10.4321/S2014-98322013000200007
- [21] de León-Sánchez, B. y Silió-Sáiz, G., El aprendizaje servicio, una herramienta para inclusión social, International Journal of Developmental and Educational Psychology, [en línea]. 3(1), pp. 843-854, 2010. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3498/349832326089.pdf>
- [22] Ferrán-Zubillaga, A. y Guinot-Viciano, C., Aprendizaje servicio: propuesta metodológica para fortalecer competencias, Portularia, XII, pp. 187-195, 2012.
- [23] Rodríguez-Gallego, M. y Ordóñez-Sierra, R., Una experiencia de aprendizaje-servicio en comunidades de aprendizaje, Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado, 19(1), pp. 314-333, abril 2015.
- [24] Liesa-Orús, M., Descripción de escenarios de aprendizaje servicio en la universidad, Revista Educação Especial, 22(35), pp. 267-280, septiembre-diciembre, 2009.
- [25] Pérez-Galván, L.M., y Ochoa-Cervantes, A.d.l.c., El aprendizaje-servicio (APS) como estrategia para educar en ciudadanía. ALTERIDAD, Revista de Educación, 12(2), 2017. DOI: 10.17163/alt.v12n2.2017.04
- [26] Vázquez-Verdera, V., El aprendizaje-servicio: una estrategia para la formación de competencias en sostenibilidad, Foro de Educación, 13(19), pp. 193-212, julio-diciembre, 2015.
- M.F. Serrano-Guzmán**, es docente de ingeniería civil en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia. Dra. en Ingeniería Civil de la Universidad de Puerto Rico, recinto universitario de Mayagüez, MSc. en Ingeniería de la Universidad de Puerto Rico, recinto universitario de Mayagüez, Esp. en Ingeniería Ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Esp. en Gerencia de Proyectos de Construcción, e Ing. Civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.  
ORCID:0000-0002-7366-6597.
- D.D. Perez-Ruiz**, es docente de ingeniería civil en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia. Dr. en Ingeniería Civil de la Universidad de Texas, Arlington, USA, MSc. en Ingeniería de Tránsito y Transporte de la Universidad del Cauca, Colombia. MSc. en Ingeniería Civil énfasis en Recursos Hídricos de la Universidad de Puerto Rico, recinto universitario de Mayagüez e Ing. Civil de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.  
ORCID: 0000-0002-9656-2803
- L.M. Torrado-Gómez**, es docente de ingeniería civil en la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. MSc. en Geotecnia de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Esp. en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles e Ing. Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, Colombia. Tecnólogo en Obras Civiles en la Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. Subgerente de la empresa INGEAS SAS.  
ORCID: 0000-0001-8941-7344.
- N.C. Solarte-Vanegas**, es Ing. civil de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, Esp. en transporte de la Universidad Nacional de Colombia, Esp. en ingeniería de caminos de montaña de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, título convalidado por el ICFES como Esp. en vías terrestres. MSc. de la Universidad del Cauca. Actualmente, directora del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga.  
ORCID: 0000-0002-2392-3663.
- J.D. Sandoval-Posso**, es estudiante de Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia. Monitor de Investigación del proyecto Evaluación de parámetros para estudio de la movilidad de contaminantes en medio poroso financiado por la Pontificia Universidad Javeriana de Cali y la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga.  
ORCID: 0000-0002-6654-8883.