

# LA INVESTIGACIÓN BASADA EN DISEÑO COMO SUSTENTO DE AMBIENTES DE APRENDIZAJE PARA EL AULA DE MATEMÁTICA

**Silvia Vrancken, Adriana Engler, Daniela Müller**

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. (Argentina)

svrancke@fca.unl.edu.ar, aengler@fca.unl.edu.ar, dmuller@fca.unl.edu.ar

## Resumen

En este reporte se presenta un proyecto de investigación planteado con el propósito de renovar los ambientes de aprendizaje para el aula de matemática, que permitan favorecer aprendizajes significativos y el desarrollo del pensamiento matemático de los estudiantes. El interés por diseñar nuevos productos para el aula y la necesidad de aportar conocimiento teórico sobre esos diseños y los resultados de su implementación, llevaron a seleccionar como marco metodológico la investigación basada en el diseño y los experimentos de enseñanza. Se realiza una revisión teórica sobre estos enfoques, analizando su pertinencia y alcances, así como sus principales características y fases.

**Palabras clave:** aprendizaje, enseñanza, ambientes, universidad, matemática

## Abstract

This report presents a research project that is aimed at renewing the learning environments for the mathematics classroom, which allow promoting students' meaningful learning as well as the development of their mathematical thinking. The interest in designing new products for the classroom and the need for a theoretical knowledge about these designs, and the results of their implementation led to choose as the methodological framework, a research based on the design and teaching experiments. A theoretical review is performed based on these aspects, analysing their relevance and scope, along with the main characteristics and phases.

**Key words:** learning, teaching, environments, university, mathematics

## ■ Introducción

Como docentes de matemática en una carrera no matemática y como investigadoras en educación matemática, una preocupación permanente está relacionada con mejorar los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Se espera que los estudiantes puedan construir conocimiento significativo y funcional que les dé la posibilidad de enfrentar las situaciones más diversas en su vida cotidiana y profesional.

Es importante propiciar las condiciones que puedan hacer del aula de matemática un ambiente que favorezca la construcción de conocimiento y el desarrollo del pensamiento matemático. Es necesario que

se fomenten procesos de exploración a través de estrategias de enseñanza para que los estudiantes desarrollen experiencias de aprendizaje.

Se plantea la necesidad de generar esos ambientes de aprendizaje, de forma sistémica y organizada, en los que los estudiantes participen de manera activa, teniendo en cuenta la problematización de los saberes matemáticos y las formas de ponerlo en uso, que permitan dar sentido y significado a la actividad matemática.

Conocedoras de la importancia de fundamentar las innovaciones en el aula con los aportes de la investigación, resulta imprescindible explicar cómo, por qué, en qué contextos y condiciones funcionan en la práctica. Esto llevó a plantear el proyecto “Nuevos ambientes de aprendizaje que promueven el desarrollo del pensamiento matemático en Ingeniería Agronómica”. Su objetivo principal es incorporar ambientes de aprendizaje al aula de matemática, que permitan la renovación de la enseñanza favoreciendo aprendizajes significativos y el desarrollo del pensamiento matemático de los estudiantes.

En este trabajo se presenta una breve descripción del marco teórico de la investigación planteada y luego, como punto central del trabajo, se realiza una revisión teórica sobre la metodología seleccionada para llevar adelante el proceso de investigación, la investigación basada en el diseño y los experimentos de enseñanza. Se analiza la pertinencia y los alcances de este enfoque, así como sus características y fases.

### ■ Marco teórico

En el marco de la Educación Matemática se han realizado en las últimas décadas un número considerable de investigaciones con el propósito de explorar y entender cómo los seres humanos construyen conocimiento matemático. Si bien las mismas tratan múltiples problemáticas, aparece como punto en común el reconocimiento de la importancia de promover el desarrollo del pensamiento.

Al describir el pensamiento matemático, Cantoral, Farfán, Cordero, Alanís, Rodríguez y Garza (2003), destacan su desarrollo en el enfrentamiento cotidiano de los seres humanos a múltiples tareas, explicando:

...el pensamiento matemático no se encuentra enraizado ni en los fundamentos de la matemática, ni en la práctica exclusiva de los matemáticos, sino que trata de todas las formas posibles de construir ideas matemáticas, incluidas aquellas que provienen de la vida cotidiana.  
(p. 19)

De esta manera se asume que la construcción de conocimiento matemático tiene muchos niveles y profundidades y el pensamiento matemático se desarrolla a lo largo de la vida de los individuos. Incluye, por un lado, pensamiento sobre conceptos matemáticos, y por otro, procesos avanzados del pensamiento, como la abstracción, la justificación, la visualización, la estimación o razonamientos bajo hipótesis.

Entonces, el pensamiento matemático debe operar sobre una red compleja de conceptos avanzados y elementales, articulados bajo diferentes contextos de representación, para construir y reconstruir significados con un carácter local y eventualmente temporal.

Se coincide con Cantoral, Montiel y Reyes (2014), quienes expresan que las teorías que estudian y analizan los fenómenos de enseñanza y de aprendizaje de la matemática comparten la postura de que “el significado, el pensamiento y el razonamiento son producto de la actividad social” (p. 22). De esta manera, las interacciones sociales son el motor que estimula la actividad de los individuos de construir significados. Los autores reconocen la importancia de la actividad social en la construcción de conocimiento, pero asumida ésta en relación a los usos del conocimiento matemático. Esto significa que la escuela o la universidad “debe proveer de conocimientos funcionales, esto es, de herramientas matemáticas importantes en sí mismas y para interactuar con el entorno que les rodea: poner en uso el conocimiento matemático.” (p. 22)

Desde esta posición, se considera que, aunque la matemática es universal, su enseñanza no lo es, sino que se ubica en escenarios sociales y culturales específicos. Esto implica, que al momento de planificar propuestas para el aula, deberán tenerse en cuenta las realidades tanto de quien enseña como de quien aprende, atendiendo al escenario donde se contextualizan los saberes específicos.

Por otro lado, para que haya enseñanza y aprendizaje, es necesario que el conocimiento sea un objeto importante en la interacción entre el profesor y sus alumnos. Generalmente se enfrenta a los alumnos a situaciones ficticias o sin relación con sus áreas de interés, con la vida cotidiana o con las ciencias. Esto provoca falta de disposición por parte de los estudiantes, ya que no existe una motivación para adquirir los conocimientos.

Los diseños didácticos que buscan el desarrollo del pensamiento matemático deben tener en cuenta no sólo el cómo enseñar, sino también el qué enseñar. Cantoral, Montiel y Reyes (2014) expresan que las situaciones de aprendizaje que se planteen en el aula deben fundamentarse en la problematización del saber. Esto significa asumir, en primer lugar, la legitimidad de toda forma de saber, ya sea popular, técnico o culto. Este saber se “...construye, reconstruye, significa y resignifica, se lo ubica en el tiempo y el espacio, se lo explora desde la óptica de quien aprende, de quien inventa, de quien lo usa... para que, en definitiva, se lo rediseñe con fines didácticos.” (p. 97)

En este contexto, la investigación plantea la incorporación de nuevos ambientes de aprendizaje, concibiéndolos como escenarios construidos para favorecer de manera intencionada las situaciones de aprendizaje. Se pretende llevar adelante un proceso sistémico y planificado, fundamentado en la teoría, que permita producir materiales para la enseñanza, presencial o virtual, tales como módulos de aprendizaje, unidades didácticas u otros recursos educativos. Las innovaciones irán más allá de los contenidos, ya que se planean como experiencias que permitan al estudiante actuar y reflexionar sobre su propia actividad. El proceso abarcará desde la revisión de los objetivos de aprendizaje, pasando por el diseño, desarrollo, implementación y evaluación de las propuestas, hasta la evaluación de todo el proceso de aprendizaje.

### ■ Metodología de investigación

Como procesos en construcción, los ambientes de aprendizaje demandan una constante mirada que posibilite calificar su desarrollo y su dinámica. Esto requiere la selección de una metodología de investigación que

favorezca la generación de conocimientos y el desarrollo de estrategias que enriquezcan la práctica en el diseño e implementación de estos ambientes.

Por otro lado, vincular el conocimiento matemático a los contextos de uso de ese conocimiento, exige reflexionar sobre la naturaleza del conocimiento matemático necesario para la enseñanza. Esto plantea preguntas como cuál es el conocimiento matemático que debemos presentar a los alumnos, cómo se aprende ese conocimiento, qué contextos y qué tipo de tareas favorecen el aprendizaje.

Se suma además la necesidad y el interés, como docentes e investigadores, de conocer qué sucede en el aula cuando los alumnos adquieren conocimiento.

Estos cuestionamientos ponen de manifiesto la necesidad de relacionar constantemente la investigación y la práctica.

En este contexto, surge la investigación de diseño como un enfoque metodológico sensible a la complejidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje y, por lo tanto, adecuado para analizar qué ocurre y cómo ocurren estos procesos.

La investigación de diseño es un enfoque o paradigma de investigación de naturaleza cualitativa. Se trata de una familia de aproximaciones metodológicas desarrollada en el campo de las ciencias del aprendizaje.

Según Plomp (2013), la investigación basada en el diseño es el estudio sistemático de diseñar, desarrollar y evaluar intervenciones educativas (como programas, estrategias o los materiales de enseñanza y aprendizaje, productos y sistemas), como soluciones a problemas complejos de la práctica educativa, que al mismo tiempo tiene por objetivo avanzar en el conocimiento sobre las características de estas intervenciones y sobre los procesos de diseño y desarrollo de las mismas, con el propósito de desarrollar o validar teorías.

Los estudios de diseño se dirigen principalmente a comprender los procesos de enseñanza y de aprendizaje en los que el propio investigador se encuentra implicado. Se destaca en esta perspectiva la idea de aprendizaje situado, es decir, la influencia del contexto, así como la relación fundamental entre los procesos individuales y sociales que se producen en el aula.

Según Molina, Castro, Molina y Castro (2011), la investigación de diseño “persigue comprender y mejorar la realidad educativa a través de la consideración de contextos naturales en toda su complejidad, y del desarrollo y análisis paralelo de un diseño instruccional específico” (p.75). Su objetivo es: “...analizar el aprendizaje en contexto mediante el diseño y estudio sistemático de formas particulares de aprendizaje, estrategias y herramientas de enseñanza, de una forma sensible a la naturaleza sistémica del aprendizaje, la enseñanza y la evaluación” (p. 76).

Se caracteriza por la interdependencia entre el diseño instruccional y la investigación, buscando ayudar a crear y ampliar el conocimiento sobre el desarrollo e implementación de ambientes de aprendizaje innovadores. De esta manera, se refiere directamente a problemas de la práctica y, al mismo tiempo, conduce al desarrollo de conocimiento utilizable sobre el diseño, instrumentación y sostenimiento de entornos de aprendizaje innovadores.

Molina et al. (2011) señalan: “El diseño de ambientes de aprendizaje sirve como contexto para la investigación y, a su vez, tanto los análisis continuados que se van realizando como el análisis retrospectivo de la misma informan sobre el diseño permitiendo su mejora” (p. 76).

Acorde a estas características, la metodología debe permitir la documentación del aprendizaje matemático colectivo de la clase y el registro del desarrollo del razonamiento matemático individual de los estudiantes a medida que participan en los procesos en el aula.

Según Confrey (2006, citado en Molina et al., 2011, p. 76) es importante analizar:

...qué recursos y conocimiento previo ponen en juego los alumnos en las tareas, cómo interaccionan los alumnos y profesores, cómo son creadas las anotaciones y registros, cómo emergen y evolucionan las concepciones, qué recursos se usan, y cómo es llevada a cabo la enseñanza a lo largo del curso de la instrucción; todo ello mediante el estudio del trabajo de los alumnos, grabaciones de vídeos y evaluaciones de la clase.

Esta naturaleza de la investigación de diseño lleva a que el proceso de investigación incorpore siempre procesos sistemáticos de diseño educativo. Las actividades de análisis, diseño, evaluación y revisión iteran con carácter cíclico hasta lograr un equilibrio entre lo pretendido y lo logrado (Plomp, 2013).

Así, la investigación basada en el diseño intenta superar la brecha entre las investigaciones desligadas de la práctica educativa y las innovaciones realizadas de manera no rigurosa. Si bien la teoría que se genera a partir de una investigación de diseño es humilde, teniendo en cuenta que se desarrolla para un dominio específico, debe ser lo suficientemente amplia como para ser aplicada en otros contextos, como las aulas de otras escuelas o de otras ciudades o países. En estos casos, aclaran Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer y Schauble (2003), se puede hablar de transferibilidad.

Entre las limitaciones de las investigaciones de diseño, Molina et al. (2011) señalan las dificultades que surgen de la complejidad del análisis del mundo real, lo que lleva a que se manipule un gran número de variables, que muchas veces no pueden ser controladas. Otro problema es la coordinación de la participación de varios investigadores en la recogida de datos, la complejidad de la comparación entre diseños y la dificultad de delimitar el origen del conocimiento que los investigadores manejan a lo largo de la investigación, debido al diálogo continuo entre la teoría y la práctica.

Otra dificultad se relaciona con el proceso de recogida y manejo de gran cantidad de datos, así como la naturaleza de su procedencia. La recolección de datos incluye generalmente el trabajo de los estudiantes, evaluaciones antes y después de la instrucción, grabaciones de audio y video de toda la clase, entrevistas con estudiantes y profesores. Su análisis debe combinar tanto aspectos cualitativos como cuantitativos.

En este paradigma, una de las metodologías más utilizadas la constituyen los experimentos de enseñanza, cuya característica principal es la ruptura de la diferenciación entre docente e investigador, motivada por el propósito de experimentar de primera mano el aprendizaje y razonamiento de los alumnos (Steffe y Thompson, 2000).

Desde el enfoque de la investigación de diseño, un experimento de enseñanza consiste, de forma general, en una secuencia de episodios de enseñanza en los que los participantes son normalmente un investigador-docente, uno o más alumnos y uno o más investigadores-observadores (Steffe y Thompson, 2000).

Cobb et al. (2003) señalan que existen distintos tipos de experimentos de diseño, de los cuales, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación planteada en este trabajo, interesan:

- Experimentos de diseño uno a uno (profesor-experimentador y estudiante). Un equipo de investigación conduce una serie de sesiones de enseñanza con un pequeño número de estudiantes, con el objetivo de crear a pequeña escala un entorno para el aprendizaje en el aula ordinaria, de manera que pueda ser estudiado con mayor profundidad y detalle.
- Experimentos en el aula. Un equipo de investigación colabora con un profesor, que puede ser miembro del equipo de investigación, para asumir la responsabilidad de la enseñanza.

En conformidad con la investigación de diseño, un experimento de enseñanza contempla un ciclo de investigación en tres fases (Gravemeijer, 2004):

*Fase 1: Diseño y planificación de la instrucción* que comprende:

- La definición de los objetivos de aprendizaje que delimitan las metas a alcanzar.
- El diseño de tareas.
- La explicitación de una trayectoria hipotética de aprendizaje. Esto implica una predicción de cómo el pensamiento y la comprensión de los estudiantes pueden evolucionar cuando resuelven las tareas propuestas.

La noción de trayectoria hipotética de aprendizaje es central en la investigación de diseño. Incluye, según Bakker y Van Eerde (2015), objetivos de aprendizaje, puntos de partida de los estudiantes con información sobre conocimientos previos, problemas matemáticos y suposiciones sobre los potenciales procesos de aprendizaje de los estudiantes y sobre cómo el docente podría apoyar estos procesos.

Simon y Tzur (2004) explican que la determinación de las tareas de aprendizaje y las hipótesis sobre el proceso de aprendizaje son interdependientes. Las tareas se eligen teniendo en cuenta las hipótesis sobre el proceso de aprendizaje. Las hipótesis sobre el proceso de aprendizaje se basan en las tareas propuestas. Se fundamenta en las siguientes suposiciones (Simon y Tzur, 2004, p. 93, la traducción es propia):

- La generación de una trayectoria hipotética de aprendizaje se basa en la comprensión del conocimiento actual de los estudiantes involucrados.
- Una trayectoria hipotética de aprendizaje es el vehículo para planificar el aprendizaje de conceptos matemáticos particulares.
- Las tareas matemáticas aportan herramientas para promover el aprendizaje de conceptos matemáticos particulares y son, por lo tanto, una parte clave del proceso de instrucción.
- Debido a la naturaleza hipotética e inherentemente incierta de este proceso, el docente se involucra regularmente en la modificación de todos los aspectos de la trayectoria hipotética de aprendizaje.

*Fase 2: Experimentación en el aula* o en un entorno virtual de las tareas diseñadas. En esta fase, los investigadores y los profesores utilizan actividades y métodos de enseñanza que, según la trayectoria hipotética de aprendizaje, parecen más apropiados en cada momento.

*Fase 3: Análisis retrospectivo.* El equipo docente e investigador observa y analiza la experiencia, apoyando los análisis desde las referencias teóricas que fundamentan la trayectoria hipotética de aprendizaje. En esta fase se trata de investigar si los materiales diseñados permiten generar la actividad esperada, y si la actividad cognitiva y social desarrollada por los estudiantes se corresponde o no con lo previsto en la primera fase.

Una característica importante de esta metodología es que sus componentes prospectivos y reflexivos no se separan en la formulación de hipótesis, antes y después de un experimento de enseñanza. Al implementar los experimentos, los investigadores confrontan el aprendizaje hipotético, es decir, sus conjeturas (la parte prospectiva) con sus observaciones, el aprendizaje real (la parte reflexiva). La reflexión se puede realizar al final de cada clase, aún si el experimento de enseñanza es más largo, y puede llevar a cambios en el plan para las siguientes clases (Cobb et al., 2003).

El análisis e interpretación se realiza de manera colaborativa entre todas las componentes del equipo docente e investigador y puede dar lugar a realizar modificaciones en las tareas propuestas a los estudiantes. El producto de esta forma de trabajar es:

- una secuencia de actividades y formas de llevarla a cabo,
- un nuevo conocimiento sobre cómo parece funcionar la instrucción, y
- una información que se transforma en material docente.

De esta manera, se espera que el alumno construya conocimiento, que e investigador-docente construya conocimiento sobre la construcción de conocimiento por parte de los alumnos y que los demás investigadores construyan conocimiento sobre ambos y sobre sus interacciones (Molina et al., 2011).

Por todo esto, consideramos que los experimentos de enseñanza constituyen una metodología de investigación acorde a este proyecto, ya que permite interrelacionar la investigación sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje y la práctica en el aula, a través del diseño e implementación de ambientes de aprendizaje.

### ■ Consideraciones finales

Los asuntos relacionados a la Educación Matemática toman actualmente cada vez mayor importancia. Los requerimientos de la sociedad exigen al profesional una visión científica amplia y su formación en relación a aspectos formativos de la matemática y a las formas de pensamiento que le faciliten estar preparado para interpretar la realidad.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, con esta investigación se pretende incorporar nuevos ambientes de aprendizaje para el aula de matemática, que permitan la renovación de la enseñanza favoreciendo aprendizajes significativos y el desarrollo del pensamiento matemático de los estudiantes.

Por esto, los resultados más importantes surgirán de la generación e implementación de distintas actividades de aula, en las que se utilicen nuevas formas de aplicar, transferir y relacionar conocimientos. Se espera desarrollar recursos de calidad que permitan trabajar los contenidos de la asignatura de manera conjunta o complementaria al trabajo en el aula, presencial o virtual, y que sean pertinentes para las capacidades, los estilos de aprendizaje, las experiencias, las concepciones previas y las habilidades de los alumnos.

Del análisis de las relaciones entre la enseñanza y el aprendizaje surgirán indicadores importantes. Cuando el profesor se encuentra ante sus alumnos en la clase, se espera que enseñe un conocimiento específico y que los estudiantes aprendan. Sin embargo, si no comprendemos la manera en que opera su pensamiento matemático, no podremos lograr que el aprendizaje sea significativo. Proyectamos analizar sus producciones ante las tareas matemáticas, de manera de comprender el proceso de construcción de conocimiento, teniendo en cuenta que en esa labor, su pensamiento está en permanente constitución.

Se espera provocar un impacto significativo en el mejoramiento de la enseñanza y en especial del aprendizaje de distintos contenidos curriculares de matemática en el primer año de la universidad en carreras de Ingeniería mediante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.

Toda investigación basada en las perspectivas teóricas vigentes, que busque reflexionar y debatir sobre distintos aspectos de la formación matemática, en pos a mejorar los procesos de enseñanza y de aprendizaje, resulta una contribución importante a las metas de la educación actual.

#### ■ Referencias bibliográficas

- Bakker, A. y Van Eerde, D. (2015). An Introduction to Design-Based Research with an Example From Statistics Education. En A. Bikner-Ashbash, y N. Knipping (Eds.). *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education. Examples of Methodology and Methods*. (pp. 429-466). Bremen, Germany: Springer.
- Cantoral, R.; Farfán, R.; Cordero, F.; Alanís, J.; Rodríguez, R. y Garza, A. (2003). *Desarrollo del pensamiento matemático*. México: Trillas.
- Cantoral, R; Montiel, G. y Reyes, D. (2014). Hacia una educación que promueva el desarrollo del pensamiento matemático. *Revista Pedagógica Escri/viendo*, 11(24), 17-26.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. y Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*. 32(1). p. 9-13.
- Gravemeijer, K. (2004) Local instruction theories as means of support for teachers in reform mathematics education. *Mathematical thinking and learning*, 6(2), 105-128.
- Molina, M.; Castro, E.; Molina, J. y Castro, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 29(1), 75-88.
- Plomp, T. (2013). Educational Design Research: An Introduction. En Plomp, T. y Nieveen, N. (Eds.). *Educational Design Research. Part A: An introduction*. (pp. 10-51). Enschede, the Netherlands: Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO).
- Simon, M. y Tzur, R. (2004). Explicating the role of mathematical tasks in conceptual learning: an elaboration of the hypothetical learning trajectory. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 91-104.
- Steffe, L. y Thompson, P. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. In R. Lesh & A. Kelly (Eds.), *Research design in mathematics and science education* (pp. 267-307). Hillsdale, NJ: Erlbaum.