

INVESTIGACIÓN DE DISEÑO EDUCATIVA: UN MARCO METODOLÓGICO EN EVOLUCIÓN¹

Educative Design Research: A Methodological Framework in Evolution

Molina, M.

Universidad de Salamanca

Resumen

Esta ponencia se centra en caracterizar la investigación de diseño, un marco metodológico en evolución dentro de la investigación en ciencias del aprendizaje con cada vez mayor presencia en la literatura científica del área de Educación Matemática. Engloba estudios diversos que buscan crear y analizar nuevas posibilidades de enseñanza y aprendizaje en contextos reales. Se caracterizan por ser intervencionistas, adaptativos, multivariantes, multiniveles, orientados por teoría, generadores y cíclicos. Así mismo se destacan tres formas de conocimiento hipotético que actúan de guía en estos estudios: conjeturas, trayectorias hipotéticas de aprendizaje y principios de diseño. Tras desarrollar esta caracterización, la ponencia concluye con algunas consideraciones sobre la evaluación de la calidad de la investigación de diseño y diversas lecciones aprendidas en el proceso de publicación de resultados de investigaciones de diseño en artículos científicos.

Palabras clave: investigación de diseño, estudio de diseño, experimento de enseñanza, investigación cualitativa.

Abstract

This work focuses on characterizing design research, a methodological framework in evolution within research in learning sciences which has a growing presence in the Mathematics Education scientific literature. It encompasses diverse studies that aim to create and analyse new teaching and learning possibilities in real contexts. They are characterized by being interventionist, adaptive, multivariable, multilevel, orientated by theory, generative and cyclic. Three forms of hypothetical knowledge act as a guide in these studies: conjectures, hypothetical learning trajectories and design principles. After developing this characterization, this work is closed with some considerations about the assessment of the quality of design research and some lessons learned in the process of publishing design research results in research articles.

Keywords: design research, design studies, teaching experiments, qualitative research.

Introducción

La investigación de diseño, también llamada investigación basada en diseño, es un marco metodológico en evolución, sin límites cerrados hasta el momento, que engloba variedad de diseños de investigación. En esta ponencia me referiré a investigación de diseño educativa en tanto que tiene como objeto de estudio alguna dimensión de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Es por tanto un marco metodológico propio de las ciencias del aprendizaje.

¹ Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto con referencia SA050G19 financiado por la convocatoria de concesión de subvenciones destinadas al apoyo de grupos de investigación reconocidos de universidades públicas de Castilla y León (2018).

En comparación con otros enfoques metodológicos es relativamente nuevo, pero su inclusión en variedad de *handbook* (e.g., Luckin, Puntambekar, Goodyear et al, 2013; Green, Camilli, Ellmore y Skukauskaite, 2006) y libros sobre investigación educativa (e.g., Bikner-Ahsbahr, Knipping y Presmeg, 2015; Markauskaite, Freebody y Irwin, 2011) así como su presencia en la literatura científica educativa (e.g., Ayala-Altamirano y Molina, 2020; Fonger, Stephens, Blanton et al, 2018; Montes, Pascual, y Climent, 2021) dan evidencia de su aceptación en la comunidad de investigadores.

La investigación de diseño indaga en cómo la educación puede o debería ser creando condiciones nuevas de aprendizaje que la teoría sugiere que pueden ser productivas pero que no son comunes o no se comprenden del todo (Bakker, 2019; Design-Based Research Collective (DBRC), 2003; Shavelson, Phillips, Towne y Feuer, 2003). Son estudiosⁱ que parten de preguntas de investigación tales como ¿cuáles son las características que ha de tener un tipo de intervención para lograr un efecto pretendido?, ¿cómo determinados objetivos de aprendizaje pueden alcanzarse? o ¿cómo puede resolverse un determinado problema educativo? (Baker, 2019).

La esencia de estos estudios radica en combinar la investigación sobre los procesos de aprendizaje y enseñanza, en la que se desarrolla o evalúa teoría, con el diseño de estrategias, herramientas, entornos u otras dimensiones del proceso educativo (en adelante productos) (Swan, 2020). El diseño de ambientes de aprendizaje y el desarrollo iterativo de propuestas innovadoras o soluciones a problemas educativos son el contexto para la investigación. De este modo, se persigue incrementar la aplicabilidad del conocimiento generado en la investigación educativa. Hay un compromiso por obtener, al mismo tiempo, resultados teóricos y soluciones prácticas captando la complejidad de los contextos de enseñanza/aprendizaje (Molina, Castro, Molina y Castro, 2011).

A continuación, caracterizo la investigación de diseño combinando información procedente de la literatura metodológica educativa y mi experiencia utilizando este marco metodológico en varios proyectos de investigaciónⁱⁱ y en mi propia tesis doctoral (Molina, 2006). Posteriormente, centro la atención en tres formas de conocimiento hipotético que actúan de guía en estos estudios y describo algunas de las dimensiones que diferencian la diversidad de estudios de diseño que se engloban en este marco metodológico. Finalmente, concluyo con algunas consideraciones sobre la evaluación de la calidad de la investigación de diseño y lecciones aprendidas en el proceso de publicación de resultados de investigaciones de diseño en artículos científicos.

Características de los estudios de diseño

En la diversidad de estudios de diseño ya publicados puede observarse que se definen a partir de una serie de características compatibles con el uso de variedad de diseños de investigación (e.g., experimentos de enseñanza, estudios de caso) tanto cualitativos como cuantitativos. A su vez implican el empleo de diversidad de técnicas particulares de recogida de datos (e.g., video-grabación, entrevistas, cuestionarios). Por tanto, es más general que la mayoría de los diseños de investigación y se define como un marco metodológico. Se caracterizan por ser estudios intervencionistas, adaptativos, multivariantes, multiniveles, orientados por teoría, generadores, cíclicos. A continuación, se detallan cada una de estas características.

Intervencionistas o transformativos

Como ya se ha comentado, los estudios de diseño crean y estudian nuevas posibilidades de enseñanza y aprendizaje en contextos reales. Cambiar y comprender la situación investigada van de la mano. Idealmente ayudan a entender la complejidad de los contextos educativos a partir del diseño de sus elementos y anticipando cómo estos funcionan conjuntamente para sustentar el aprendizaje y qué impacto tienen en docentes, estudiantes y otros participantes (Cobb et al, 2003;

Swan, 2020). Para ello los investigadores participan del proceso de enseñanza o trabajan junto a docentes y otros agentes del sistema educativo.

Adaptativos

Estas investigaciones combinan el carácter abierto del diseño con las restricciones de la investigación (Cobb y Gravemeijer, 2008). No consisten en la confirmación de unos constructos teóricos previamente contruidos ni en la implementación de un producto diseñado a priori, sino en la acomodación del modelo teórico y del diseño del producto a la realidad observada. Se trabaja con dos propósitos en oposición. Por una parte, se persigue averiguar si el modelo teórico permanece viable a la vista de los datos obtenidos y si el producto cumple el propósito pretendido. Por otra, los investigadores están dispuestos a modificar el modelo y diseño a partir de la información que van obteniendo en el proceso de investigación que les conduce a una mejor comprensión del fenómeno en estudio (Confrey, 2006; Steffe y Thompson, 2000).

Multivariantes

Son estudios complejos por variedad de motivos, principalmente por ocurrir en contextos naturales donde habitualmente se produce algún tipo de aprendizaje y perseguir caracterizar la situación en toda su complejidad. En consecuencia involucran múltiples variables: algunas son variables en estudio y otras actúan como condiciones del entorno no pudiéndose o pretendiéndose controlarlas (Barab y Squire, 2004; Cobb et al., 2003; Collins, Joseph, y Bielaczyc, 2004). En este sentido se dice que es un enfoque metodológico abierto (Bakker y van Eerde, 2015).

Esta complejidad aquí descrita exige realizar recogidas de datos exhaustivas, implicando variedad de técnicas de recogida de información. De este modo, de forma retrospectiva, si se identifican variables relevantes para el fenómeno en estudio que inicialmente no fueron consideradas, estas puedan ser integradas en el análisis (Hjalmarson y Lesh, 2008; Shavelson, Phillips, Towne y Feuer, 2003).

Multiniveles

Son estudios multiniveles en diferentes sentidos. Por una parte, partiendo de la concepción de los contextos educativos como sistemas interactivos, algunos estudios de diseño abarcan varios niveles dentro de dichos sistemas. Por ejemplo, cuando se persigue un gran alcance se combina el trabajo con grupos de estudiantes de cierto nivel educativo, con docentes de dichos niveles o elementos de la estructura organizativa del centro escolar o del sistema educativo a nivel de región o país (Cobb, 2003; Henrik, Cobb y Jackson, 2014). Por otra parte, pueden distinguirse diferentes niveles según los participantes implicados en el estudio que construyen algún conocimiento: por ejemplo, el alumno construye conocimiento matemático, el docente y el investigador construyen conocimiento sobre la construcción de conocimiento matemático por parte de los alumnos, los investigadores construyen conocimiento sobre el proceso de desarrollo profesional del docente y los investigadores construyen conocimiento sobre las interacciones que se producen entre el docente y los alumnos (Confrey, 2006; Lesh y Kelly, 2000).

Orientados por teoría

La teoría se utiliza para fundamentar y diseñar los diferentes componentes de la investigación. Así mismo, durante el proceso de investigación, la teoría junto con las evidencias que se van obteniendo son clave para formular, testar, y refinar conjeturas, trayectorias de aprendizaje o principios de diseño relativos al fenómeno en estudio y los medios que lo sustentan. De este modo, durante el proceso se pone a prueba y se desarrolla el modelo teórico y los principios que guían el diseño y la indagación en el problema de investigación (Shavelson, Phillips, Towne y Feuer, 2003).

Lo habitual es utilizar variedad de teorías de forma combinada. Se asume que la resolución de problemas realistamente complejos requiere, en la mayoría de los casos, de estudios coordinados que se apoyen en múltiples perspectivas teóricas y prácticas, en diversidad de lugares y por largos periodos de tiempo, dando lugar a acumulación de conocimiento (Lesh y Sriraman, 2005).

Generadores

Son estudios generadores en múltiples sentidos: generan teoría, productos y preguntas de investigación.

Estos estudios aportan dos tipos de conocimiento empíricamente fundamentado: conocimiento teórico sobre enseñanza/aprendizaje relativo a un dominio de aprendizaje específico y conocimiento sobre el diseño. El primero de estos supone el refinamiento y desarrollo de los principios teóricos de los que parte la investigación. Es situado, integra varias teorías y tiene un propósito. Además, es un conocimiento útil, sensible al contexto, pero suficientemente general para ser utilizado en nuevas situaciones. La investigación basada en diseño debe conducir a teorías que puedan ser compartidas con los docentes y diseñadores educativos y aportarles implicaciones relevantes (DBRC, 2003).

El conocimiento relativo al diseño sirve de guía para otros diseños (Bannan-Ritland y Baek, 2008). Este conocimiento refiere a cómo y por qué se produce el proceso de aprendizaje descrito o funciona el producto diseñado. Para que una innovación curricular sea transferible a otros contextos u otras escalas se necesita explicar por qué y cómo funciona, atender a las interacciones entre los participantes y otras partes del sistema y sugerir formas en los cuales puede ser adaptado a nuevas circunstancias. Se considera que el cambio real solo es posible cuando además de conocerse qué y cómo puede hacerse algo, se conoce también por qué es así (McKenney y Reeves, 2019).

Por otra parte, estos estudios generan productos innovadores. Pueden estudiarse y obtenerse tanto productos educativos como procesos, materiales, software, programas o políticas educativas (Hjalmarson y Lesh, 2008; McKenney y Reeves, 2019).

En último lugar, destacamos la capacidad de estos estudios para generar cuestiones de investigación a abordar en trabajos posteriores o en el propio estudio. El problema de investigación está bien definido desde el primer momento, pero durante el proceso se pueden identificar cuestiones relevantes que inicialmente no eran previsibles (e.g., se detectan fenómenos o problemas en los que indagar por su relevancia). En ocasiones, también ocurre que los objetivos específicos de la investigación no se precisan inicialmente sino más adelante en el proceso cuando se ha obtenido alguna información que ayuda a clarificar el fenómeno en estudio.

Cíclicos

Estos estudios constan de dos tipos de ciclos a los que me referiré como microciclos y macrociclos. Un estudio de diseño está compuesto como mínimo por un macrociclo que se estructura en tres fases: 1) preparación y diseño, 2) implementación/intervención, 3) análisis retrospectivo. En la figura 1 se ilustra la estructura general de un estudio de diseño, distinguiendo con diferente color cada una de estas tres fases y destacando sus principales componentes.

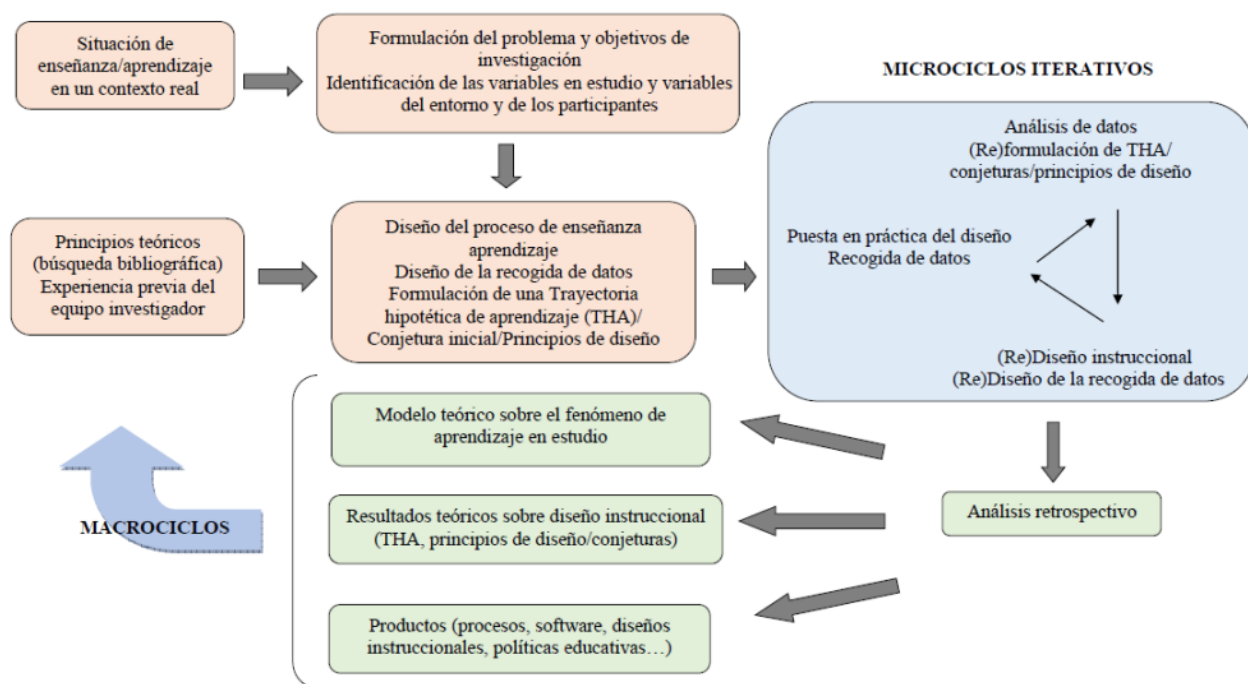


Figura 1. Esquema general de un estudio de diseño

En la primera fase, el equipo investigador define el problema de investigación que va a abordar en relación con una situación de enseñanza/aprendizaje concreta, delimita las variables a estudiar y aquellas que se van a considerar condiciones del entorno, identifica los participantes y decide qué tipo de conocimiento se quiere generar y qué se va a diseñar. Estas decisiones conducen a concretar y diseñar un proceso de enseñanza/aprendizaje y un proceso exhaustivo de recogida de datos. El equipo investigador debe también formular una primera trayectoria de aprendizaje, conjetura o principios de diseño. Para el desarrollo de esta fase se parte de principios teóricos existentes así como de la experiencia previa del equipo investigador en relación con el problema de investigación.

La segunda fase se compone de microciclos de actuación, observación, análisis y rediseño (Collins et al., 2004; Swan, 2020). Es el momento de implementar el proceso de enseñanza/aprendizaje ideado, ir refinando las ideas teóricas que subyacen al mismo en forma de trayectorias de aprendizaje, conjeturas y/o principios de diseño así como rediseñar el producto que están siendo implementado y el proceso de recogida de datos. En estos microciclos se recoge y analiza información del proceso de enseñanza/aprendizaje para informar el proceso de investigación y diseño de forma iterativa. A estos análisis de los datos recogidos que forman parte de cada microciclo se les denomina preliminares. Las cuestiones a las que da respuesta este primer análisis de los datos son típicamente de carácter práctico y están directamente relacionadas con el objetivo de promover el aprendizaje de los estudiantes participantes (Cobb, 2000). Esta fase se acaba cuando se considera recopilada suficiente información para dar respuesta a los objetivos de investigación.

En la tercera fase se da por concluida la recogida de datos y tiene lugar el análisis retrospectivo de los mismos que conduce a formular un modelo teórico del fenómeno de aprendizaje en estudio, resultados teóricos sobre el diseño instruccional y ciertos productos educativos (Cobb, 2000). Este será el análisis que dé respuesta a los objetivos de investigación planteados inicialmente. En este momento se elabora la versión final de la trayectoria hipotética de aprendizaje, conjetura o principios de diseño que han guiado el estudio. Es necesario demostrar que los resultados de aprendizaje o desarrollo en los estudiantes no se habrían producido sin su participación en el estudio, documentar cómo cada aprendizaje emerge e identificar los aspectos específicos del ambiente de aprendizaje que son necesarios para que emerja (Cobb, Jackson y Dunlap, 2014).

Se produce así un cierre del proceso de investigación que puede ser continuado en un nuevo macrociclo que parte de todo el conocimiento y productos generados para continuar avanzando en el estudio del mismo problema de investigación (o una parte del mismo) en otro contexto o en otro nivel del proceso educativo. De este modo se busca aumentar la robustez de los modelos teóricos, la aplicabilidad de los principios de diseño formulados y la relevancia de los productos innovadores generados. A lo largo de sucesivos macrociclos de investigación, el diseño se refina y se experimenta en contextos más amplios. Así se va avanzando en la comprensión de cómo funciona el diseño, la definición de los principios en los que se basa, la identificación de las adaptaciones necesarias para su implementación a mayor escala y se enriquece la teoría en la que se sustenta.

Trayectorias hipotéticas de aprendizaje, principios de diseño y conjeturas

Los principios de diseño, conjeturas y trayectorias hipotéticas de aprendizaje son puntos de inicio y guía de las investigaciones de diseño, que van siendo reformulados a lo largo de las mismas en los procesos iterativos que caracterizan este marco metodológico. Son formas de conocimiento hipotético que actúan de intermediarias entre teoría y práctica educativa (Euler, 2017, Bakker, 2019). Su generabilidad depende de un proceso iterativo en el que son puestas a prueba para determinar si funcionan en la práctica, siendo discutidas, adaptadas o incluso descartadas.

Formular unos principios de diseño, conjetura o trayectoria hipotética de aprendizaje fuerzan al investigador a ser tan explícito como sea posible sobre sus supuestos teóricos de partida, valores, experiencias y objetivos. No solo es de utilidad para comunicar el trabajo a otros investigadores, también como parte de un proceso personal de diálogo consigo mismo como investigador. A continuación, se clarifican las diferencias entre estas diferentes formas de conocimiento hipotético.

Trayectorias hipotéticas de aprendizaje

El término trayectoria hipotética de aprendizaje, propuesto por Simón (1995, 2014), es conocido por su utilidad en la planificación docente y la investigación educativa. Esta noción parte de una visión constructivista de la enseñanza de las matemáticas y presume que el aprendizaje de un individuo presenta ciertas regularidades. Es un modelo teóricoⁱⁱⁱ compuesto por tres componentes relativas tanto al aprendizaje como al proceso de enseñanza: a) el objetivo u objetivos de aprendizaje que definen la dirección, b) las actividades de aprendizaje planificadas, y c) las hipótesis sobre el proceso de aprendizaje (predicción de cómo el pensamiento y comprensión de los estudiantes evolucionará en el contexto de dichas actividades, pudiéndose presentar diferentes caminos).

Principios de diseño

Los principios de diseño^{iv} exponen un conocimiento hipotético sobre qué acciones y bajo qué circunstancias, conducirán a qué tipo de consecuencias pretendidas (Argyris, 1996), aportando al mismo tiempo justificación teórica y empírica. Se formulan en términos de acción, quedando implícito su carácter hipotético. Van den Akker (2013, p. 67) propone un formato posible para su redacción que enfatiza los componentes necesarios:

“Si quieres diseñar una intervención X [para la función Y en el contexto Z]

Entonces es recomendable darle a dicha intervención las características C1, C2, ..., Cm

Por medio de los procesos P1, P2, ..., Pn

Debido a los argumentos teóricos T1, T2, ..., Tp

Y los argumentos empíricos E1, E2, ..., Eq”

En Kali (2008) se ejemplifican de forma sencilla los principios de diseño de una investigación de diseño en el marco de un curso de filosofía de la educación. El foco de estudio en este trabajo es la evaluación por pares tomando como indicador de su calidad el grado de correlación con las evaluaciones dadas por el docente. La figura 2 muestra los principios de diseño con los que se inicia la investigación y los que van siendo incorporados en tres microciclos sucesivos del estudio de diseño realizado. En el primer diseño elaborado con base en los tres primeros principios, las evaluaciones del docente y de los estudiantes presentaron una correlación baja. Un análisis cualitativo de los datos permitió detectar que algunos estudiantes tenían dificultad para gestionar sus puntos de vista de opiniones extremas, de otros compañeros, sobre la educación. Por ese motivo se incorporaron dos principios dirigidos a ayudar a los estudiantes a diferenciar entre puntos de vista personales y otros más objetivos. En el segundo microciclo la correlación entre las evaluaciones del docente y los estudiantes mejoró, pero el análisis de datos cualitativo permitió identificar que las evaluaciones de los estudiantes habían estado influenciadas por valores políticos y culturales y que no siempre se habían respetado las normas de la clase. Por ese motivo, en una tercera iteración Kali incorporó el sexto principio que se recoge en la figura 2 que dio lugar a un aumento en la correlación entre las evaluaciones y un nivel alto en la satisfacción y aprendizaje en los estudiantes.

PRINCIPIOS DE DISEÑO DE PARTIDA 1. Involucrar a los estudiantes en el desarrollo de criterios para la evaluación por pares 2. Asegurar anonimato para evitar la parcialidad en las evaluaciones por pares 3. Hacer visible a los estudiantes la síntesis de la evaluación por pares
PRINCIPIOS DE DISEÑO AÑADIDOS TRAS LA PRIMERA ITERACIÓN 4. Permitir a los estudiantes expresar puntos de vista personales no objetivos sobre el trabajo de sus compañeros 5. Promover la discusión de los criterios de evaluación no objetivos
PRINCIPIO DE DISEÑO AÑADIDO TRAS LA SEGUNDA ITERACIÓN 6. Cuando los contenidos en evaluación son sensibles social o culturalmente, evitar calificar a los estudiantes en función de los resultados de la evaluación entre pares. En su lugar, evaluar a los estudiantes como evaluadores.

Figura 2. Ejemplo de principios de diseño sobre evaluación entre pares en un curso de filosofía de la educación (Kali, 2008)

Conjeturas

Las conjeturas en este contexto son inferencias basadas en pruebas incompletas o no concluyentes sobre cómo promover particulares formas de aprendizaje o alcanzar determinados objetivos educativos (Confrey y Lachance, 2000; Sandoval, 2014). Difieren de los principios de diseño en la forma en que son formulados: las conjeturas son explícitamente hipotéticas y predictivas en cambio los principios de diseño, como se ha mencionado, se redactan en términos de acción quedando implícito su carácter hipotético. La figura 3 muestra un ejemplo extraído de Bakker (2019) en el que se formula de forma alternativa un mismo conocimiento hipotético como conjetura y como principio de diseño.

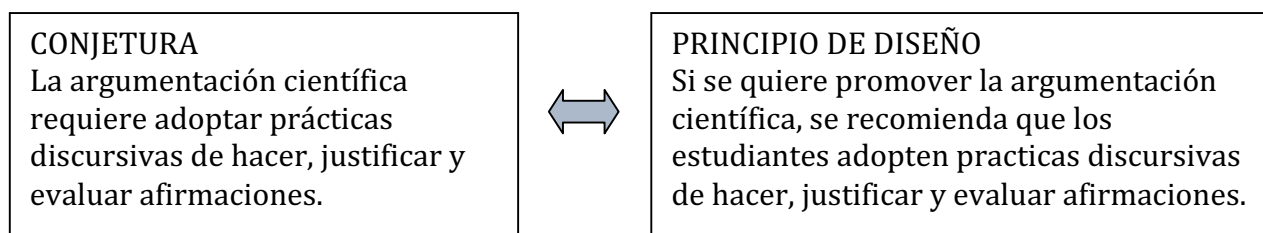


Figura 3. Ejemplos contrapuestos de una conjetura y un principio de diseño

Pueden considerarse dos tipos de conjeturas según refieran al diseño o sean teóricas. Las conjeturas sobre el diseño explicitan cómo el equipo investigador espera que los elementos del diseño materializados generen procesos mediadores en el fenómeno de enseñanza/aprendizaje en estudio. Las conjeturas teóricas refieren a cómo dichos procesos mediadores producen los resultados deseados.

Sandoval (2014) propone el mapa o mapeo de conjeturas (ver figura 4) como una forma de articular la conceptualización y desarrollo de las investigaciones de diseño. Dicho mapa explicita cómo características teóricas particulares, materializadas en un diseño, producen ciertos procesos mediadores que conducen a resultados deseables.

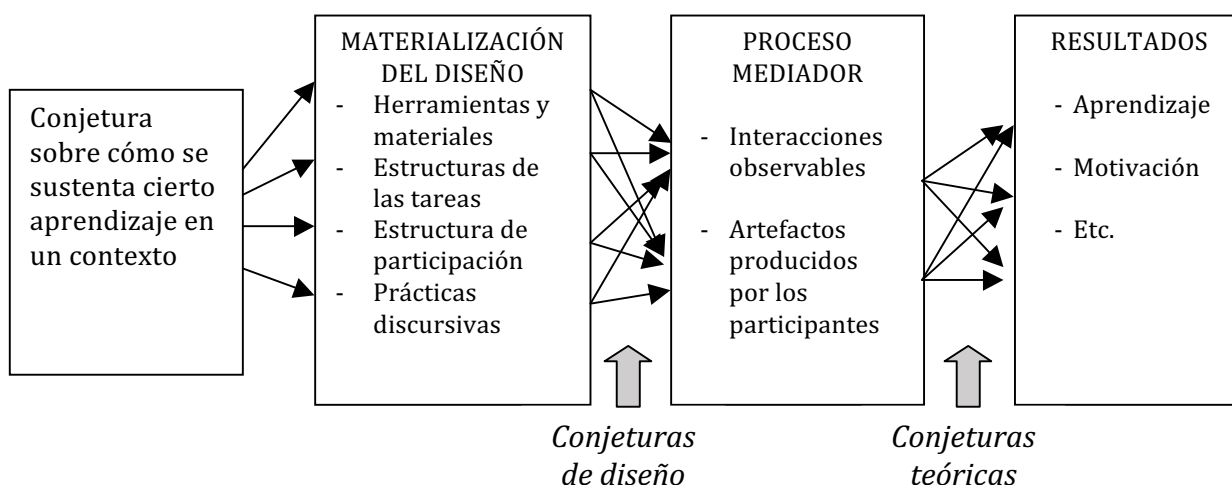


Figura 4. Componentes de un mapa de conjeturas

Variedad dentro de los estudios de diseño

En la literatura se identifican diversidad de estudios de diseño. Se diferencian en el contexto en el que se desarrollan, la pluralidad de personas involucradas, la finalidad que persiguen y los niveles del sistema educativo implicados en la investigación, entre otros elementos.

Los contextos que suelen considerarse en la investigación de diseño son, entre otros, situaciones de enseñanza/aprendizaje en las que el contenido a ser aprendido es nuevo, el conocimiento didáctico de un contenido es escaso, no hay materiales instruccionales disponibles o los que hay no son adecuados o no se dispone de conocimiento didáctico sobre cómo emplearlos, las habilidades y conocimiento de los docentes son insuficientes o existen factores complejos (e.g., sociales, políticos) que pueden afectar negativamente al proceso de enseñanza/aprendizaje (Kelly, 2013).

La participación de diversidad de personas con diferentes campos y grados de experiencia es un elemento que enriquece el proceso de diseño y diferencia estos estudios (Collins, Joseph y Bielaczyc, 2004). Por ejemplo, los estudios de diseño pueden implicar un equipo de investigadores trabajando con un solo estudiante o con un grupo de alumnos; un grupo de investigadores trabajando en un aula en colaboración con un docente que se implica completamente en el proceso

de investigación; un equipo de investigadores organizando y estudiando la educación de futuros docentes o el desarrollo profesional de docentes en activo; un grupo de investigadores y docentes en activo promoviendo conjuntamente el desarrollo de una comunidad profesional; un equipo de investigadores, docentes, directores de centros educativos y otros agentes implicados que persiguen un cambio organizativo; etc. (Cobb et al., 2003).

En cuanto a los objetivos que se persiguen, Nieveen, McKenney y Van den Akker (2006) llaman la atención sobre la diferente finalidad de los estudios de validación y los estudios de desarrollo. Los primeros abordan el diseño de trayectorias de aprendizaje para desarrollar, elaborar y validar teorías sobre el proceso de aprendizaje y las implicaciones resultantes del diseño de ambientes de aprendizaje. Por otra parte, los estudios de desarrollo persiguen solventar un problema educativo usando conocimiento teórico relevante e implicando la interacción de docentes, investigadores, expertos y demás agentes implicados.

Otro elemento que difiere en estas investigaciones es la escala en la que se plantean en relación con los diferentes niveles de los sistemas educativos. En el área de Educación Matemática las investigaciones de diseño más frecuentes son los experimentos de enseñanza (Molina et al, 2011). Estos son estudios a nivel de aula que consisten en una secuencia de episodios de enseñanza en los que participan un investigador-docente, alumnos y un investigador-observador (e.g., Molina y Castro, 2021, Ventura, Brizuela, Blanton, Sawrey, Gardiner y Newman-Owens, 2021). Son menos frecuentes los estudios de diseño que se centran en el desarrollo profesional de docentes (e.g., Montes, Pascual y Climent, 2021) o que atienden a mayor escala a los procesos que condicionan la calidad de la enseñanza de las matemáticas (Henrik, Cobb y Jackson, 2014). Henrik et al (2014) describen un estudio de estas características que busca tener impacto a la mayor escala posible en la mejora de la enseñanza de las matemáticas (llamado “Designing Learning Organizations for Instructional Improvement in Mathematics”). En este último caso los microciclos son más extensos e implican una fase en la que se informa a los líderes del sistema educativo sobre la implementación de estrategias de mejora. En este trabajo las conjeturas que guían el estudio refieren tanto al aprendizaje de los estudiantes y de los docentes como a la actividad a desarrollar por los directores de los centros, coordinadores de área en el centro y líderes del sistema educativo, entre otros agentes implicados; todo ello de forma coordinada.

Comparativa con otros métodos de investigación educativa

La investigación de diseño suele compararse con la ingeniería didáctica (e.g., Artigue, 2015; Godino et al, 2013) y la investigación acción (Bakker, 2019, Molina et al, 2011) ambos diseños de investigación con los que comparte algunas características.

Artigue (2015) caracteriza la ingeniería didáctica como una metodología de investigación en la que se concibe, implementa, observa, analiza y se evalúa un diseño instruccional dirigido al aprendizaje de un contenido específico. En cuanto a la comparativa con la investigación de diseño, cabe señalar que ambos enfoques se organizan en torno al diseño de ciertas herramientas educativas. En ambos casos dicho diseño está informado por teoría educativa y contribuye al desarrollo de dicha teoría. Así mismo, ambos enfoques rechazan procesos de validación estandarizados basados en la comparación de grupos control y experimental.

En cuanto a las características que los diferencian, la ingeniería didáctica es una herramienta para responder cuestiones didácticas en la que los enfoques preliminares, con sus diferentes dimensiones epistemológica, institucional y didáctica, son una parte esencial del proceso investigador. Impone una visión sistémica de la educación matemática y la consideración de la clase como una organización social (Artigue, 2015). En este proceso se reconoce la relevancia de la Teoría de las Situaciones como sustento teórico de este tipo de investigaciones^v. En cambio, en la investigación de diseño, se combinan variedad de teorías no existiendo vinculación con ningún marco teórico

específico ni un interés explícito por cuestiones epistemológicas (Walker, 2011). En este caso destaca la naturaleza iterativa e intervencionista y el carácter cíclico de la investigación. Este enfoque se basa en una visión de la educación matemática como ciencia de diseño cuyo objetivo es la producción controlada de herramientas educativas.

En lo que respecta a la investigación acción, comparte con la investigación de diseño su carácter intervencionista, su estructuración en ciclos iterativos y su motivación por conectar la investigación y la práctica educativa (Bakker, 2019; Molina et al, 2011). Sin embargo, tradicionalmente la investigación acción es realizada por agentes naturales de la situación considerada, persigue el desarrollo de las personas involucradas y tiene como foco un problema de su práctica y la búsqueda de guías prácticas que les ayude a resolverlo o mejorar la situación (Elliot, 1990). Si bien pueden implicar diseño, este es opcional. En cambio, en los estudios de diseño el objetivo es el desarrollo de una teoría, no de las personas intervinientes en el mismo, aunque sin duda éstas aprenderán en el transcurso del estudio. Así mismo, los investigadores no han de ser necesariamente los agentes naturales de la situación en estudio ni han de abordar una problemática existente (Molina et al, 2011).

Evaluación de la calidad

Los principales criterios de evaluación de los estudios de diseño son fiabilidad, generabilidad y utilidad.

La *fiabilidad* consiste en demostrar que el análisis retrospectivo fue sistemático y exhaustivo (Cobb, 2000) y ha permitido refutar conjeturas, principios de diseño y trayectorias hipotéticas de aprendizaje. Debe ponerse de manifiesto que los resultados obtenidos son independientes del investigador y que pueden esperarse resultados similares en circunstancias similares (Bakker, 2019). El análisis ha de describirse con el suficiente grado de detalle para que otros investigadores puedan monitorizarlo y las inferencias y afirmaciones puedan ser justificadas (Molina et al., 2011). La grabación en video y/o audio de los datos contribuye a la fiabilidad de la investigación en tanto que se evitan problemas de memoria o de falta de información en el registro del observador y, además, permite a varios investigadores analizar los mismos datos. Otras medidas a tener en cuenta son la triangulación mediante el uso combinado de diferentes fuentes de información sobre el proceso en estudio o el análisis simultáneo de datos por varios investigadores.

La *generabilidad* refiere a ser capaz de transferir resultados teóricos y/o intervenciones prácticas a otros contextos (Bakker, 2019; McKenney y Reeves, 2014). La idea es que los resultados generados son útiles para organizar y guiar nuestra experiencia sobre la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas (Steffe y Thompson, 2000). La capacidad de generalización en este tipo de trabajos no está condicionada por la representatividad de la muestra; los resultados no son generalizables desde un punto de vista estadístico. Se trata de una generabilidad teórica o analítica, íntimamente relacionada con la replicabilidad. Implica que otros serán capaces de usar los resultados que deriven de la investigación (modelo teórico, productos educativos y principios de diseño/conjeturas/trayectorias de aprendizaje) para promover el aprendizaje en otros contextos con las adaptaciones pertinentes. En concreto los macrociclos de estos estudios (al igual que estudios posteriores que se apoyen en los resultados obtenidos) contribuyen a aumentar la capacidad de generalización al permitir desarrollar el modelo teórico, el producto y/o la información relativa a este.

Finalmente, la *utilidad* se relaciona con el grado de claridad con la que se exponen las conclusiones y aportes para la enseñanza, de modo que los docentes puedan utilizarlas en la planificación y actuación en el aula. Los productos resultantes de estos estudios son juzgados en términos de su grado de innovación y utilidad (Kelly, 2006).

A estos criterios cabe añadir otras consideraciones generales de aplicación a cualquier investigación educativa que suelen guiar los procesos de revisión por pares en las revistas científicas del área. Por ejemplo, citando a Simon (2004), mencionamos las siguientes: las preguntas de investigación son pertinentes para el área de conocimiento y son coherentes con el resto de componentes de la investigación (i.e., marco teórico, diseño de la recogida de datos, análisis de los datos, etc.), el marco teórico y metodológico son explícitos y están justificados, se hace una aportación significativa al área, etc.

Publicación de estudios de diseño

Antes de poner cierre a este trabajo se destacan algunas ideas, extraídas de la experiencia publicando investigaciones de diseño, que se consideran útiles para guiar a los nuevos usuarios de este marco metodológico.

Una de las principales dificultades de elaborar publicaciones de este tipo de estudios es decidir cómo fraccionar la investigación en partes que tengan entidad y relevancia en sí mismas. En este tipo de estudios se genera una gran cantidad de información del proceso de investigación que solo puede publicarse en su totalidad en formato de libro. Algunas opciones de fragmentación de la investigación realizada son focalizar la atención en algunos descriptores concretos del aprendizaje alcanzado (e.g., tipos y concepciones de las representaciones empleadas por los estudiantes), alguna componente del producto diseñado (e.g., un tipo de tareas que han evidenciado un efecto determinado de relevancia en el proceso de aprendizaje), la información disponible sobre uno o varios sujetos cuyos datos aportan resultados de especial relevancia, los datos recogidos en una iteración concreta o con un instrumento particular, etc.

Elegida la parte a publicar, surge la duda de qué información metodológica incluir y cuál no detallar. Los revisores no familiarizados con este diseño metodológico suelen confundirlo con otros enfoques metodológicos y demandan un amplio detalle del proceso de diseño y experimentación, lo cual redundaría en un aumento considerable de la extensión de cualquier artículo. Por tanto, conviene optar por revistas que tienen unos límites de extensión más amplios o revistas especialmente interesadas en este tipo de estudios (e.g., Educational design research, Educational designer) que no requerirán tal grado de detalle.

Para describir metodológicamente un estudio de diseño, es recomendable incluir en el marco teórico las principales razones que justifican el diseño, reduciendo así la cantidad de información necesaria para describir la fase de implementación. En el apartado de resultados es necesario explicitar cómo el proceso de enseñanza o aprendizaje se desarrolla y como este está conectado con características particulares del diseño.

Si bien esta es una decisión delicada, en ocasiones no añade información o no es pertinente indicar que se ha hecho un estudio de diseño, lo que permite reducir significativamente el grado de detalle a aportar sobre la fase de implementación del estudio. Por ejemplo, este es el caso cuando solo se ha desarrollado un microciclo de la fase de implementación o cuando, en el marco de un estudio de diseño, se desarrollan investigaciones que no son en sí mismas estudios de diseño.

Conclusiones

La investigación de diseño es un marco metodológico bien caracterizado en la actualidad, como se ha puesto de manifiesto, que da cabida a diversidad de estudios que buscan tener impacto en la práctica docente tanto a través de los modelos teóricos que se obtienen como de los productos que se diseñan. Crear, experimentar y comprender nuevas posibilidades de enseñanza y aprendizaje es la inspiradora motivación que subyace en todos los casos. La combinación de teorías, de agentes implicados, de técnicas de recogida de datos e incluso de métodos de investigación son algunas de

sus fortalezas. También cabe destacar el potencial que se deriva de considerar los contextos educativos en toda su complejidad (con los problemas cotidianos del aula, colegios y comunidades educativas) y la flexible articulación de diseño e investigación en un proceso iterativo y cíclico. De este modo capturan las especificidades de la práctica y las ventajas potenciales de adaptar la teoría a su contexto de forma iterativa y refinadora (Shavelson et al., 2003). Relacionar el proceso de aprendizaje con el modo en que ha sido promovido aumenta la aplicabilidad de los resultados de la investigación.

Por otra parte, destacamos la complejidad y algunos puntos de debilidad de estas investigaciones. Son estudios complejos principalmente debido a la consideración de situaciones naturales en las que no se controlan deliberadamente muchas variables, la necesidad de coordinación entre los diversos investigadores implicados y la gran cantidad de datos que se recogen durante el proceso. Así mismo, el carácter cíclico del proceso y el continuo diálogo entre la teoría y los datos recogidos dificultan delimitar el origen del conocimiento que los investigadores adquieren a lo largo del proceso de investigación (Collins et al., 2004; Dede, 2004). En la práctica, los resultados suelen derivar de un bajo porcentaje de los datos recogidos, lo que exige una cuidada y transparente argumentación que evidencie cómo se extraen los resultados a partir de los datos (Kelly, 2004). Los criterios de fiabilidad y generabilidad discutidos previamente son la clave para que estas debilidades no mermen la calidad de la investigación desarrollada.

Referencias

- Argyris, C. (1996). Actionable knowledge: Design causality in the service of consequential theory. *The journal of applied behavioral science*, 32(4), 390-406.
- Artigue, M. (2015). Perspectives on design research: The case of didactical engineering. En A. Bikner-Ahsbabs, C., Knipping y N. Presmeg (Eds.), *Approaches to qualitative research in mathematics education. Examples of methodology and methods* (pp. 467- 496). Países Bajos: Springer.
- Ayala-Altamirano, C. y Molina, M. (2020). Meanings attributed to letters in functional contexts by primary school students. *International journal of science and mathematics education*, 18(7), 1271–1291.
- Bakker, A. (2019). *Design research in education*. New York: Routledge.
- Bakker, A. y Van Eerde, D. (2015). An introduction to design-based research with an example from statistics education. En A. Bikner-Ahsbah, C., Knipping y N. Presmeg (Eds), *Approaches to qualitative research in mathematics education* (pp. 429-466). New York: Springer.
- Bannan-Ritland, B. y Baek, J. Y. (2008). Investigating the act of design in design research: The road taken. En A. E. Kelly, R.A. Lesh y J. Y. Baek (Eds.), *Handbook of design research methods in education. Innovations in science, technology, engineering and mathematics learning and teaching* (pp. 299-319). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Barab, S. y Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Bikner-Ahsbabs, A., Knipping, C. y Presmeg, N. (2015). *Approaches to qualitative research in mathematics education. examples of methodology and methods*. Países Bajos: Springer.
- Clements, D. H., Wilson, D. C. y Sarama, J. (2004). Young children's composition of geometric figures: a learning trajectory. *Mathematical thinking and learning*, 6(2), 163-184,
- Cobb, P. (2000). The Importance of a situated view of learning to the design of research and instruction. En J. Boaler (Ed.), *Multiple perspectives on mathematics teaching and learning* (pp. 45- 82). Londres: Ablex Publishing.
- Cobb, P., Confrey, J. diSessa, A, Lehrer, R. y Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational researcher*, 32(1), 9-13.

- Cobb, P. y Gravemeijer, K. (2008). Experimenting to support and understand learning processes. En A. E. Kelly, R. A. Lesh y J. Y. Baek (Eds.), *Handbook of design research methods in education. Innovations in science, technology, engineering and mathematics learning and teaching* (pp. 68-95). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cobb, P., Jackson, K. y Dunlap, C. (2014). Design research: An analysis and critique. En L. D. English y D. Kirshner (Eds.), *Handbook of international research in mathematics education* (pp. 481-503). New York: Routledge.
- Collins, A., Joseph, D. y Bielaczyc, K. (2004). *Design research: theoretical and methodological issues. Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- Confrey, J. (2006). The evolution of design studies as methodology. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 135-152). New York: Cambridge University Press.
- Confrey, J. y Lachance, A., (2000). Transformative teaching experiments through conjecture-driven research design. En A. E. Kelly y R. A. Lesh (Eds.), *Handbook of research design in mathematics and science education* (pp. 231-265). New Jersey: LEA.
- Dede, C. (2004). If design-based research is the answer, what is the question? A commentary on Collins, Joseph, and Bielaczyc; diSessa and Cobb; Fishman, Marx, Blumenthal, Krajcik, and Soloway in the JLS Special Issue on Design-Based Research. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 105-114.
- Design-Based Research Collective (DBR). (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Elliot, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Madrid: Morata.
- Euler, D. (2017). Design principles as bridge between scientific knowledge production and practice design. *EDeR – Educational design research*, 1(1), 1-15.
- Fonger, N. L., Stephens, A., Blanton, M., Isler, I., Knuth, E., Gardiner, A. (2018). Developing a learning progression for curriculum, instruction, and student learning. *Cognition and Instruction*, 36(1), 30-55.
- Green, J. L., Camilli, G., Ellmore, P. B. y Skukauskaite, A. (2006). *Handbook of complementary methods in education research*. Washington, DC: American Educational Research Association.
- Godino, J. D., Batanero, C., Contreras, A., Estepa, A., Lacasta, E. y Wilhelmi, M. R. (2013). *La ingeniería didáctica como investigación basada en el diseño*. Disponible en http://enfoqueontosemiotico.ugr.es/documentos/JDGodino_2013_Ingenieria_didactica.pdf
- Henrick E., Cobb P. y Jackson K. (2015). Educational design research to support system-wide instructional improvement. En A. Bikner-Ahsbahs, C. Knipping y N. Presmeg (Eds.), *Approaches to qualitative research in mathematics education. Advances in mathematics education* (pp. 497-530). Dordrecht: Springer.
- Hjalmarson, M. A. y Lesh, R. (2008). Design research. Engineering, systems, products, and processes for innovation. En L. D. English (Ed.), *Handbook of international research in mathematics education* (pp. 520-534). Londres: Routledge.
- Kelly, A.E. (2004). Design research in education: Yes, but is it methodological? *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 115-128.
- Lesh, R. y Sriraman, B. (2005). Mathematics education as a design science. *ZDM*, 37(6), 490-505.
- Kelly, A. E. (2006). Quality criteria for design research. En J. Van de Akker, K. P. E. Gravemeijer, S. McKenney y N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 107-118). Londres: Routledge.
- Kelly, A. E. (2013). When is Design Research Appropriate? En T. Plomp y N. Nievee (Eds.), *Educational design research. Part A: An introduction*. (pp. 134-151). Enschede, Países Bajos: SLO.
- Lesh, R.A. y Sriraman, B. (2005). Mathematics education as a design science. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 37, 490-505.

- Lesh, R. A. y Kelly, A. E. (Eds.) (2000). Multitiered teaching experiments. En A. E. Kelly y R. A. Lesh (Eds.), *Handbook of research design in mathematics and science education* (pp. 197-230). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Luckin, R., Puntambekar, S., Goodyear, P., Grabowski, B., Underwood, J. y Winters, N. (2013). *Handbook of Design in Educational Technology*. Abingdon: Routledge.
- Markauskaite L., Freebody, P. y Irwin, J. (2011). *Methodological choice and design*. Países Bajos: Springer.
- McKenney, S. y Reeves, T. C. (2014). Educational Design Research. En J. M. Spector, M.D. Merrill, J. Elen y M.J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 131-140). New York: Springer.
- McKenney, S. y Reeves, T. C. (2019). *Conducting educational design research*. New York: Routledge.
- Molina, M. (2006). *Desarrollo de pensamiento relacional y comprensión del signo igual por alumnos de tercero de primaria*. Granada: Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada.
- Molina, M. y Castro E. (2021). Third grade students' use of relational thinking. *Mathematics*, 9(2), 187.
- Molina, M, Castro, E., Castro E. y Molina, J. L. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 75–88.
- Montes, M., Pascual, M. I. y Climent, N. (2021). Una aproximación a la formación especializada en matemáticas de maestros egresados. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 24(1), 83–104.
- Shavelson, R. J., Phillips, D. C., Towne, L. y Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. *Educational researcher*, 32(1), 25-28.
- Sandoval, W. A. (2014). Conjecture mapping: An approach to systematic educational design research. *Journal of the learning sciences*, 23(1), 18-36.
- Simon, M. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education*, 26(2), 114-145.
- Simon, M. (2004). Raising Issues of Quality in Mathematics Education Research. *Journal for Research in Mathematics Education*, 35(3), 157-163.
- Simon, M. (2014). Hypothetical learning trajectories in mathematics education. En S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (pp. 272-275). Países Bajos: Springer.
- Steffe, L. (2004). On the construction of learning trajectories of children: The case of commensurate fractions. *Mathematical thinking and learning*, 6(2), 129-162.
- Steffe, L. y Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: underlying principles and essential elements. En A. E. Kelly y R. A. Lesh (Eds.), *Handbook of research design in mathematics and science education* (pp. 267-306). Mahwah: NJ: Laurence Erlbaum Associates.
- Swan, M. (2020). Design research in mathematics education. En S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (pp. 192-195). Dordrecht: Springer.
- Van den Akker, J. (2013). Curricular development research as specimen of educational design research. En T. Plomp y N. Nieveen (Eds.), *Educational design research. Part A: An introduction* (pp. 53-70). Países Bajos, Enschede SLO.
- Ventura, A. C., Brizuela, B. M., Blanton, M., Sawrey, K., Gardiner, A. M y Newman-Owens, A. (2021). A learning trajectory in Kindergarten and first grade students' thinking of variable and use of variable notation to represent indeterminate quantities. *The Journal of Mathematical Behavior*, 62, artículo 100866.

Walker R. (2011) Design-based research: Reflections on some epistemological issues and practices. En: Markauskaite L., Freebody P., Irwin J. (Eds), *Methodological choice and design. Methodos series (Methodological prospects in the social sciences)*, vol 9. Dordrecht: Springer.

ⁱ Los estudios que se realizan bajo este marco reciben múltiples denominaciones tales como experimento de diseño, experimento basado en diseño, estudio de diseño, investigación de desarrollo (del currículo), experimentos formativos, investigación de implementaciones basadas en diseño (Bakker, 2019; MacKenney y Reeves, 2014). En este trabajo se emplean de forma sinónima los términos genéricos estudio de diseño e investigación de diseño.

ii En <http://www.pensamientoalgebraico.es> se describe gran parte de esta experiencia.

ⁱⁱⁱ Pueden consultarse ejemplos de trayectorias hipotéticas de aprendizaje en Clements, Wilson y Sarama (2004) y Steffe (2004), entre otros.

^{iv} Una base de datos de principios de diseño accesible en <http://www.edu-design-principles.org/dp/designHome.php> recopila principios de diseño de diferentes investigaciones con el propósito de que sean puestos a prueba en otros contextos.

^v En la actualidad desde la Teoría Antropológica de lo Didáctico la ingeniería didáctica está siendo desarrollada para adaptarse a los actuales intereses de investigación (Artigue, 2015).