

LA INGENIERÍA DIDÁCTICA COMO INVESTIGACIÓN BASADA EN EL DISEÑO¹

Juan D. Godino¹, Carmen Batanero¹, Ángel Contreras², Antonio Estepa², Eduardo Lacasta³ y Miguel R. Wilhelmi³

¹Universidad de Granada; ²Universidad de Jaén; ³Universidad Pública de Navarra

RESUMEN:

En este trabajo analizamos las características de dos enfoques de investigación en educación matemática: la "investigación basada en el diseño" (IBD) y la "ingeniería didáctica" (ID), con la finalidad de estudiar su posible articulación. La problemática abordada en ambos enfoques es el diseño y evaluación de intervenciones educativas, que proporcionen recursos basados en la investigación para la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Así mismo, las investigaciones basadas en estos enfoques tratan de contrastar teorías existentes, o caracterizar nuevos fenómenos didácticos. Se concluye que la ID podría verse como un caso particular de la IBD, ligada a la "Teoría de situaciones didácticas", y que la IBD constituye una generalización de la misma que puede adoptar otros marcos teóricos como fundamentos para el diseño de las experiencias de enseñanza.

Palabras claves: articulación de teorías, ingeniería didáctica, diseño didáctico, educación matemática, experimentos de enseñanza, recursos didácticos

1. INTRODUCCIÓN

La visión de la Didáctica de las Matemáticas como una "ciencia de diseño" es resaltada por diversos autores (Wittman, 1995; Hjalmarson y Lesh, 2008; Lesh y Sriramn, 2010). Estos últimos autores reflexionan sobre la finalidad de la investigación en educación matemática, planteando estas cuestiones:

¿Deberían los educadores matemáticos considerarse a sí mismos como psicólogos educativos aplicados, psicólogos cognitivos aplicados, o científicos sociales aplicados? ¿Se deberían ver como científicos, al igual que en el campo de la física, o de otras ciencias puras? ¿O más bien como ingenieros u otros científicos orientados al diseño, cuya investigación se apoya sobre múltiples perspectivas prácticas y disciplinares – y cuyo trabajo está guiado por la necesidad de resolver problemas reales, además de la de elaborar teorías relevantes? (Lesh y Sriramn, 2010, p. 124).

Estos autores consideran la educación matemática en este último sentido, o sea, como una ciencia orientada al diseño de procesos y recursos para mejorar la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

¹ Versión ampliada en español de la comunicación presentada en el CERME 8 (Turquía, 2013) con el título, "Didactic engineering as design-based research in mathematics education". Disponible en, http://cerme8.metu.edu.tr/wgpapers/WG16/WG16_Godino.pdf

Por otro lado, dentro de la Didáctica General o de otras didácticas específicas se han desarrollado una variedad de modelos y teorías de diseño educativo dirigidas a la práctica y descripción de métodos educativos, así como de las situaciones en las que dichos métodos deberían utilizarse. “Una teoría de diseño educativo es una teoría que ofrece una guía explícita sobre la mejor forma de ayudar a aprender y desarrollarse. Los tipos de conocimientos y desarrollos pueden ser cognitivos, emocionales, físicos y espirituales” (Reigeluth, 2000, p. 15).

El interés reciente en la literatura anglosajona por las investigaciones basadas en el diseño (publicación de handbooks y números monográficos de revistas de alta difusión) y su reflejo en educación matemática complementa el ya tradicional en la literatura francesa sobre “ingeniería didáctica” (Artigue, 1989), que viene desarrollando importantes contribuciones desde la década de los 80, aunque es prácticamente ignorado en la literatura anteriormente citada. Ello implica un cierto aislamiento de la “ingeniería didáctica” francesa respecto de los trabajos desarrollados en otros países con objetivos similares. La finalidad de este trabajo es establecer algunas conexiones entre ambos enfoques o paradigmas de investigación planteándonos las cuestiones siguientes:

- ¿Se puede incluir a la ingeniería didáctica dentro de la familia de las investigaciones basadas en el diseño?
- ¿Qué tipo de sinergias se pueden establecer entre estos paradigmas de investigación?

El problema es relevante, puesto que la comparación y articulación de marcos teóricos es un tema tratado por distintos autores y foros de discusión, como en el Grupo de Trabajo del CERME “Diferentes aproximaciones teóricas y perspectivas de investigación en Educación Matemática” (Prediger, Arzarello, Bosch, & Lenfant, 2008). Bikner-Ahsbahr and Prediger (2010) hacen un llamamiento para explotar la diversidad teórica como una fuente de enriquecimiento y considera esta diversidad como un desafío y punto de partida para hacer avanzar el desarrollo teórico mediante la articulación de teorías.

En las siguientes secciones abordamos este estudio, comenzando con la identificación de las características básicas de ambos paradigmas para su posterior comparación racional. En las dos secciones siguientes se hace una síntesis de las características de las investigaciones basadas en el diseño (Collins, Joseph, & Bielaczyc, 2004; Kelly, Lesh & Baek, 2008), y de la metodología de ingeniería didáctica (Artigue, 1989; 2009; 2011). Seguidamente identificaremos similitudes, diferencias y posibles complementariedades en la problemática abordada, los principios teóricos, metodología y tipos de resultados pretendidos.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS INVESTIGACIONES BASADAS EN EL DISEÑO

La investigación basada en el diseño² (IBD) (Brown, 1992; Kelly, Lesh y Baek, 2008) es una familia de aproximaciones metodológicas en el estudio del aprendizaje en contexto. Utiliza el diseño y el análisis sistemático de estrategias y herramientas instruccionales, tratando que el diseño instruccional y la investigación sean interdependientes, sobreentendiéndose que la investigación incluye no solo la fase de diseño, sino también la experimentación en contextos de clase y la evaluación de

² También denominadas investigaciones de diseño o experimentos de diseño.

resultados. Trata de superar la brecha entre las investigaciones científicas desligadas de la práctica educativa de las innovaciones realizadas de manera poco, o nada rigurosas. Asume que la investigación educativa separada de la práctica puede no tener en cuenta la influencia de los contextos sobre la naturaleza compleja de los resultados, o no identificar adecuadamente las restricciones y factores condicionantes. "Argumentamos que la investigación basada en el diseño puede ayudar a crear y ampliar el conocimiento sobre el desarrollo, implementación y sostenimiento de entornos de aprendizaje innovadores" (DBRC, 2003, p. 5).

Este colectivo de autores usan la expresión "métodos de investigación basados en el diseño" (design-based research methods) para diferenciar su enfoque del diseño experimental clásico en la enseñanza, atribuyéndole cinco características:

1. Los fines centrales del diseño de entornos de aprendizaje y el desarrollo de teorías o "proto-teorías" del aprendizaje están entrelazados.
2. El desarrollo y la investigación tienen lugar mediante ciclos continuos de diseño, implementación y análisis.
3. La investigación basada en diseño debe llevar a teorías que puedan ser compartidas con los profesores y diseñadores educativos para comunicarles implicaciones relevantes.
4. La investigación debe explicar cómo funcionan los diseños en entornos reales. No solo debe documentar el éxito o fracaso sino también informar sobre las interacciones que refinan nuestra comprensión de las cuestiones de aprendizaje implicadas.
5. El desarrollo de tales implementaciones se basa en métodos que se pueden documentar y que permitan conectar los procesos de intervención con los resultados de interés. (DBRC, 2003).

La IBD, como paradigma metodológico, especifica cómo conducir estudios de diseño, es decir, investigaciones de cierta duración sobre interacciones educativas provocadas por un conjunto diseñado de tareas curriculares usualmente innovadoras y/o de tecnología educativa. Generalmente lo que se diseña es un "entorno de aprendizaje" completo con tareas, materiales, herramientas, sistemas notacionales, y otros elementos, incluyendo medios para secuenciar y apoyar el aprendizaje (Reimann, 2011, p. 38). No suele haber separación estricta entre el desarrollo y contraste de la teoría; más bien las dos están interconectada de una manera que recuerda a la "grounded theory" (Glaser & Strauss, 1967) aunque en el caso de la IBD no hay un interés particular en evitar el uso de teorías previas; por el contrario se estimula la construcción de teoría que incorpore elementos más allá de las observaciones: "La noción de 'teoría' juega un papel importante en la IBD; apartándose de algunas variantes de la investigación cualitativa, aspira a producir descripciones explicativas en lugar de descriptivas" (Reimann, 2011, p. 39). Los experimentos se diseñan para desarrollar teorías, no simplemente para comprobar empíricamente "qué funciona" (Cobb et al., 2003, p. 9). La mayoría de dichos experimentos se conceptualizan como estudios de casos orientados a apoyar el aprendizaje de grupos de estudiantes en un dominio de contenido particular. La intención teórica es identificar y describir patrones en el pensamiento del estudiante y relacionarlos con los medios utilizados para apoyar y organizar su desarrollo.

Se consideran tres fases en la realización de un experimento de diseño (Cobb y Gravemeijer, 2008): 1) Preparación del experimento; 2) Experimentación para apoyar el aprendizaje; 3) Análisis retrospectivos de los datos generados durante la realización del experimento. Describimos a continuación sucintamente dichas fases:

Fase 1: Preparación del experimento

Sería la fase previa al experimento, en la que hay que considerar cuatro aspectos, según Cobb y Gravemeijer:

- *Clarificar los fines instruccionales:* Aunque los objetivos instruccionales puedan venir marcados por las directrices curriculares, no se deben aceptar de una manera incuestionada, sino que se adopta una postura intervencionista: "intentamos problematizar el problema matemático particular que se considera desde una perspectiva disciplinaria, identificando las ideas organizadoras centrales" (p. 69).
- *Documentar los puntos instruccionales iniciales:* no sólo el razonamiento inicial de los estudiantes (conocimientos previos) sobre los que el diseñador debe construir su propuesta, sino las restricciones instruccionales existentes para lograrlo.
- *Delimitar una trayectoria de aprendizaje previsto:* Se trata de formular hipótesis contrastables sobre los cambios significativos en el razonamiento de los estudiantes y sobre los medios de apoyar y organizar estos cambios: "Típicamente, estos medios de apoyo incluyen los considerados por los desarrolladores de materiales tales como tareas instruccionales y recursos asociados (p. e., recursos manipulativos y basados en los ordenadores)" (p. 70). También es esencial prever el modo de implementar las tareas y herramientas en la clase, y reconocer las normas y la naturaleza del discurso de la clase como factores condicionantes de los aprendizajes.
- *Situar el experimento en un contexto teórico:* Cuando se prepara un experimento, es crítico enmarcarlo explícitamente como caso paradigmático de un fenómeno más amplio. Por ejemplo, se puede enmarcar como un caso de negociación de normas generales de la clase o normas sociomatemáticas; de una orquestación productiva o de apoyo a la equidad en el acceso de los estudiantes a ideas matemáticas significativas. Además, una serie de experimentos pueden servir como contexto para el desarrollo y refinamiento de marcos interpretativos o en la generación, selección y evaluación de alternativas de diseño.

Fase 2: Experimentación (implementación o puesta en práctica):

El objetivo de un experimento de diseño no es demostrar que la trayectoria prevista de aprendizaje funciona, sino mejorarla mediante contraste y revisión de conjeturas sobre el proceso de aprendizaje previsto y los medios específicos para apoyarlo. "El fin global es contrastar y probar la trayectoria de aprendizaje formulada en la fase de preparación" (p. 75). De nuevo se tienen en cuenta varios aspectos:

- *Recogida de datos:* Las decisiones sobre los tipos de datos que se necesitan generar en un experimento dependen de la intención teórica. Estas decisiones son críticas para el éxito de un experimento, porque frecuentemente en el análisis retrospectivo los datos deben permitir abordar cuestiones teóricas más amplias de las que el entorno de aprendizaje bajo investigación es un caso paradigmático.
- *Marcos interpretativos:* El equipo de investigación hace interpretaciones sobre la marcha de la actividad de los participantes y el entorno de aprendizaje. Estas interpretaciones informan el diseño y las decisiones instruccionales y por tanto conforman profundamente el esfuerzo de diseño.

- *Ciclos de diseño y análisis*: Aunque se tenga una agenda pedagógica prevista, esa agenda está sujeta a modificaciones continuas en el acto de enseñar en cualquier punto del experimento: "En la mayoría de los casos, cuando se realizan una serie de experimentos y se pone en acción una secuencia de macro-ciclos de diseño y análisis, el fin primario es desarrollar una teoría instruccional específica del dominio" (p. 76).
- *Teorías instruccionales específicas del dominio (o contenido)*: Los productos de una serie de experimentos de diseño típicamente incluyen secuencias de actividades y recursos para apoyar un aprendizaje particular, junto con una teoría instruccional específica del dominio, que sustenta las secuencias instruccionales y constituye su fundamento: "Una teoría instruccional específica de un dominio (domain-specific, instructional theory) está constituida por un proceso de aprendizaje justificado que culmina con el logro de objetivos de aprendizaje significativos así como los medios usados para apoyar ese proceso de aprendizaje" (p. 77)

Fase 3: Realización de análisis retrospectivos

El análisis retrospectivo pretende situar el aprendizaje y los medios mediante los cuales fue apoyado en un contexto teórico más amplio enmarcándolo como un caso paradigmático de un fenómeno más global. Se realiza sobre los siguientes aspectos del experimento:

- *Gramática argumentativa*: Se refiere al esquema de argumentación que caracteriza esta metodología particular, "la lógica que guía el uso de un método y que apoya el razonamiento sobre sus datos" (Kelly, 2004, p. 118). Dicha lógica consiste en poner en relación los aprendizajes sobre un contenido específico con los medios usados para lograrlos; desarrollar empíricamente una "grounded theory"³ sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes en ese dominio y los medios mediante los cuales puede ser apoyado. Hay que asegurar que los aprendizajes se han logrado como resultado de las acciones emprendidas: "La investigación de diseño se orienta a producir una forma diferente de conocimiento que implica crear y mejorar los medios de apoyar el aprendizaje y comprender cómo trabajan. En el contexto de esta empresa de investigación, la conceptualización del entorno de aprendizaje como compuesto de variables independientes externamente manipulables resulta inadecuada" (p. 86).

Los recursos instrucciones se pueden usar de maneras diversas, y este uso influye en los aprendizajes. Las modalidades de uso se establecen conjuntamente entre el profesor y los estudiantes, dependen de las tareas, de cómo son aplicadas en la clase, así como de las normas y el discurso de la clase. Estas normas no se pueden manipular directamente por el investigador, sino que se constituyen conjuntamente por el profesor y los estudiantes en el curso de sus intervenciones. Por ello no es suficiente describir los medios materiales sino que hay que informar de la manera en que se han usado.

En resumen, la gramática argumentativa para la investigación de diseño implica: a) Demostrar que los participantes han desarrollado las formas particulares de razonamiento observadas por su participación en el experimento; b) Documentar la emergencia de cada forma sucesiva de razonamiento como una reorganización

³ Teoría que surge del análisis de los datos.

del razonamiento previo y c) Especificar los aspectos de la ecología del aprendizaje que fueron necesarios, y no contingentes, para apoyar la emergencia de estas formas sucesivas de razonamiento.

- *Confiabilidad*: Los análisis retrospectivos son confiables en la medida en que el método de análisis es sistemático e implica refutación de conjeturas, los criterios utilizados son explícitos (para que otros investigadores puedan supervisar los análisis) y las afirmaciones y proposiciones finales pueden ser justificadas a partir de las diversas fases del análisis, incluyendo las fuentes de datos originales. También se asume que los análisis han sido criticados por otros investigadores, algunos de los cuales están familiarizados con los entornos en los que los datos fueron recogidos.
- *Repetibilidad (reproducibilidad)*: Los investigadores de diseño se proponen desarrollar diseños o innovaciones que puedan ser usadas para apoyar el aprendizaje productivamente en otros entornos. La intención es informar a otras personas cuando adapten el diseño a los entornos en los que están trabajando para que distingan entre los aspectos necesarios y los contingentes del diseño. “Esta visión implica que, cuando se hacen los análisis retrospectivos, uno de los fines es delimitar los aspectos del proceso de aprendizaje que potencialmente se pueden repetir en diferentes contextos” (p. 88).
- *Generalizabilidad*: Está estrechamente relacionada con la repetibilidad e implica que otros investigadores serán capaces de usar los productos de un experimento de diseño para informar sus esfuerzos para apoyar el aprendizaje en otros entornos: “El enmarque de los actividades y sucesos en el entorno de aprendizaje como ejemplar o prototípico es lo que da como resultado la generalizabilidad” (p. 89).

Según Collins, Joseph y Bielacyz (2004), los experimentos de diseño, incorporan dos elementos críticos para guiarnos en la mejora de la práctica educativa: el foco del diseño y la evaluación de sus elementos críticos. Estos experimentos complementan otros métodos experimentales, como los estudios de tipo etnográfico, las investigaciones clínicas, estudios cuasi-experimentales o experimentales para evaluar los efectos de variables independientes sobre variables dependientes. Pero también plantean desafíos, que podrían ser comunes a otras investigaciones sobre la enseñanza tales como:

- Dificultades que surgen de la complejidad de las situaciones del mundo real y su resistencia al control experimental.
- El manejo de grandes cantidades de datos que surgen de la necesidad de combinar análisis etnográficos y cuantitativos.

3. LA INGENIERÍA DIDÁCTICA

La noción de ingeniería didáctica se introdujo en la didáctica de la matemática francesa a comienzos de la década de los 80 para describir una manera de abordar el trabajo didáctico comparable al trabajo del ingeniero. Para realizar un proyecto el ingeniero se apoya en los conocimientos científicos de su dominio, acepta someterse a un control científico, pero al mismo tiempo, está obligado a trabajar sobre objetos mucho más complejos que los de la ciencia, y por tanto puede abordar problemas que la ciencia no puede tomar a su cargo todavía (Artigue, 1988, p. 283).

La ingeniería didáctica desde su origen está fundamentalmente ligada a las intervenciones didácticas (experimentaciones) en las clases, tomando la forma de secuencias de lecciones; estas realizaciones se entienden como la encarnación o puesta a prueba de un trabajo teórico (Artigue, 2011, p. 20). Esto es, se trata del diseño y evaluación de secuencias de enseñanza de las matemáticas teóricamente fundamentadas, con la intención de provocar la emergencia de determinados fenómenos didácticos, al tiempo que se logra elaborar recursos para la enseñanza científicamente experimentados.

Si se considera el estado de desarrollo del campo didáctico en Francia al comienzo de los 80, no es extraño que el cuadro teórico natural de la ingeniería didáctica fuese la Teoría de Situaciones Didácticas (TSD) Brousseau (1986; 1997). De hecho, la ingeniería didáctica ha sido la metodología de investigación didáctica privilegiada en Francia. "L'ingénierie didactique est un objet imprégné de valeurs qui sont celles de la TSD" (Artigue, 2011, p. 21). Como características principales de la ingeniería didáctica en su sentido originario se destacan:

- Basada en intervenciones didácticas en clase, es decir, sobre la concepción, realización, observación y análisis de secuencias de enseñanza.
- La validación es esencialmente interna, fundada en la confrontación entre el análisis a priori y a posteriori (y no validación externa, basada en la comparación de rendimientos de grupos experimentales y de control).

Perrin-Glorian (2011, p. 59) considera que la ingeniería didáctica desde los primeros trabajos "es más que una metodología de investigación: se pretende también una transposición didáctica viable en la enseñanza ordinaria". Es decir, que la ingeniería didáctica como producto es tan importante como la de método. Posiblemente esto no es así en el caso de las investigaciones de Brousseau (a pesar de que tales investigaciones tenían lugar en un contexto de clases reales como las que diseñaba y experimentaba en la escuela Jules Michélet de Burdeos), pero sí lo era en Douady y Perrin-Glorian que trataban, en primer lugar, de indagar una progresión que permitiera mejorar la enseñanza, estando por tanto relacionadas con observaciones naturalistas.

La ingeniería didáctica aborda estudios de casos en los que se distinguen las siguientes fases (Artigue, 1989): a) Análisis preliminares; b) Concepción y análisis a priori de situaciones didácticas; c) Experimentación; d) Análisis a posteriori y evaluación.

Análisis preliminares

Para trabajar en una ingeniería didáctica son necesarios análisis preliminares respecto al cuadro teórico didáctico general y sobre los conocimientos didácticos adquiridos y relacionados con el tema. Los análisis preliminares más frecuentes son (Artigue, 1998 p. 38):

- El análisis epistemológico de los contenidos contemplados en la enseñanza
- El análisis de la enseñanza tradicional y sus efectos.
- El análisis de las concepciones de los estudiantes, de las dificultades y obstáculos que determinan su evolución.
- El análisis del campo de restricciones donde se va a situar la realización de la ingeniería didáctica.

Todo lo anterior se realiza teniendo en cuenta los objetivos específicos de la investigación.

Concepción y análisis a priori

Tradicionalmente, este análisis a priori comprende una parte descriptiva y una predictiva; se centra en las características de una situación a-didáctica que se ha diseñado y se va a proponer a los alumnos:

- Se describen las elecciones locales (relacionándolas con las globales) y las características de la situación didáctica que de ellas se desprenden.
- Se analiza qué podría aprender en esta situación un estudiante en función de las posibilidades de acción, decisión, control y validación de las que dispone, una vez puesta en práctica, cuando trabaja independientemente del profesor.
- Se prevén los comportamientos posibles y se trata de demostrar cómo el análisis realizado permite controlar su significado y asegurar, que, si se producen los comportamientos esperados, sean resultado de la puesta en práctica del conocimiento pretendido por el aprendizaje.

Este análisis a priori se debe concebir como un análisis del control del sentido. De forma muy esquemática, si la teoría constructivista sienta el principio de la participación del estudiante en la construcción de sus conocimientos a través de la interacción con un medio determinado, la Teoría de las situaciones didácticas, que sirve de referencia a la metodología de la ingeniería didáctica, ha pretendido, desde su origen, constituirse en una teoría del control de las relaciones entre el sentido y las situaciones.

Experimentación, análisis a posteriori y validación

A la fase de experimentación sigue la de análisis a posteriori que se basa en el conjunto de datos recogidos a lo largo de la experimentación, que incluyen las observaciones de las secuencias de enseñanza, y las producciones de los estudiantes en clase o fuera de ella. Estos datos se completan con frecuencia con otros obtenidos mediante cuestionarios, entrevistas individuales o en pequeños grupos, aplicadas en distintos momentos de la enseñanza o durante su transcurso. Y, como ya se ha indicado, en la confrontación de los dos análisis, el a priori y a posteriori, se fundamenta la validación de las hipótesis formuladas en la investigación.

La evolución de la ingeniería didáctica está ligada a la evolución de la propia teoría de situaciones, o a la aplicación de otros modelos teóricos más o menos derivados de la TSD, como es el caso de la Teoría Antropológica de lo Didáctico (TAD) (Chevallard, 1992), o de los trabajos realizados sobre las prácticas de los profesores.

Perrin-Glorian distingue dos tipos de ingenierías didácticas según el objetivo primario de la investigación: 1) La ingeniería didáctica para la investigación (IDR), pretende producir resultados de investigación con experimentaciones montadas en función de la pregunta de investigación, sin preocuparse por una eventual difusión más amplia de las situaciones utilizadas; 2) Ingeniería didáctica para el desarrollo y la formación (IDD), cuyo objetivo a corto plazo es la producción de recursos para los profesores o para la formación de profesores. Esta autora se pregunta, ¿En qué casos se puede continuar hablando de ingeniería didáctica?, y responde de la siguiente manera:

"Hablamos de ingeniería didáctica si, en el cuadro de una investigación, hay construcción e implementación de una (o varias) clases, en el tiempo escolar, de una secuencia de sesiones y si hay un control teórico de la construcción y de la realización de las sesiones. El cuadro teórico es puesto a prueba al mismo tiempo que las situaciones elaboradas así como su realización. Evidentemente el control teórico es relativo a la cuestión de investigación y al cuadro (o cuadros) teóricos utilizados" (Perrin-Glorian, 2011, p. 70)

Aunque la “ingeniería didáctica” no es un objeto uniforme como consecuencia de los cambios que se han ido introduciendo, se observa la permanencia de ciertas sensibilidades: sensibilidad epistemológica (se exprese o no en términos de situación fundamental), importancia concedida a la construcción de tareas, preocupación por la organización de un medio que ofrezca un fuerte potencial adidáctico, el papel clave jugado por el análisis a priori y la visión interna de los procesos de validación. Como resultado la ingeniería didáctica se ha convertido en un objeto de contornos difusos (Artigue, 2011, p. 23).

4. COMPARACIÓN Y ARTICULACIÓN DE LOS DOS ENFOQUES METODOLÓGICOS

En esta sección tratamos de establecer un puente entre la "ingeniería didáctica" (ID) desarrollada en Francia desde la década de los 80 y las investigaciones de diseño en educación. Ya Hjalmarson y Lesh (2008) comparan estas investigaciones con la ingeniería:

Nuestra visión del diseño en la investigación educativa se basa, en parte, en las semejanzas y paralelismos entre la educación y la ingeniería como campos que simultáneamente buscan avanzar el conocimiento, resolver problemas humanos, y desarrollar productos para su uso en la práctica (Hjalmarson y Lesh, 2008, p. 526).

Para estos autores la ingeniería implica primariamente el diseño y desarrollo de productos que operan en sistemas e incluye el proceso de diseño así como los productos tangibles del diseño:

El paralelismo entre el diseño de ingeniería y el diseño educativo comienza con la naturaleza de los sistemas donde los productos del diseño se usan. Los sistemas no están fijados incluso aunque a menudo sean estables. Los sistemas requieren innovación, responder a innovación (p. e., un currículo, un elemento de tecnología), y son cambiados mediante la innovación (Hjalmarson y Lesh, 2008, p. 107).

Se sobreentiende que el uso en el campo de la educación de la expresión “investigación basada en el diseño” (IBD), y la comparación con la ingeniería como tecnología del diseño se restringe al “diseño instruccional”, que viene a ser sinónimo de “diseño didáctico”. El diseño didáctico en educación matemática, “Incluye todos los tipos de investigaciones sobre ‘intervenciones controladas’ en los procesos de planificación, impartición y evaluación educación matemática concreta. También incluye el problema de la reproducibilidad de resultados de tales intervenciones” (Winslow, 2009, p.2).

Hay, sin embargo, una diferencia sustancial entre la IBD y la ID, cuyo enfoque metodológico está estrechamente ligado al marco interpretativo que aporta una "teoría didáctica de nivel intermedio", como es la TSD. Su estrecha relación con la TSD le proporciona criterios explícitos, tanto en la fase de diseño, como de implementación y de análisis retrospectivo, así como una orientación hacia el contraste y desarrollo de la propia teoría. Por el contrario, aunque la investigación basada en el diseño tiene objetivos similares, no toma partido por marcos teóricos específicos, ni tiene en principio vinculación directa con un marco teórico explícito. Se trata, por tanto, de una familia o categoría de perspectivas de investigación educativa aglutinadas por su interés o foco en el diseño, implementación y evaluación de intervenciones educativas en contextos naturalistas y sin interés explícito en las cuestiones epistemológicas:

Un aspecto muy notable de la literatura de investigación basada en diseño es la ausencia de discusión de cuestiones epistemológicas. En el reciente Handbook of design research methods in education (Kelly et al., 2008), por ejemplo, la palabra 'epistemología', incluso no aparece como un término en el índice, y, aunque la palabra no está completamente ausente de la literatura general de IBD, no hay ninguna discusión seria de cuestiones epistemológicas (Walker, 2011, p.53).

Por el contrario, en la ID las cuestiones epistemológicas son centrales, pues lo son en la TSD que le sirve de base. Para Brousseau (1997) la didáctica de la matemática es concebida como una “epistemología experimental de las matemáticas”. La orientación general del diseño de situaciones didáctica es la búsqueda de situaciones-problema que den sentido al conocimiento matemático pretendido (situación fundamental). Mientras que en la IBD se aspira a buscar recursos (generales) para mejorar el aprendizaje, pero no existe la concepción de la “situación fundamental” ni explícitamente se supone la especificidad de las tareas para el aprendizaje de cada contenido (aunque implícitamente pudiera contemplarse).

Mientras que en la IBD se trata de diseñar y buscar recursos instruccionales, en la ID se va más allá, tratando de analizar las características de estos recursos (y en general, todo lo que constituye el medio); es particularmente importante la idea de situación adidáctica, en que el estudiante se encuentra involucrado en la resolución de un problema, independientemente del profesor y en la dialéctica entre situaciones didácticas y adidácticas.

Aunque los dos enfoques son preferentemente cualitativos (o mixtos), una diferencia importante es el establecimiento de las hipótesis a priori (antes de experimentar el diseño) en la ID, mientras que en la IBD se adopta preferentemente una postura cualitativa, suponiendo que las teorías emergen de los datos. Aunque las fases de la metodología son muy similares, hay mayor influencia de la teoría previa en la ID; se pretende explícitamente una validación (aunque interna) de las hipótesis previas, y el análisis previo al diseño es más detallado y completo.

En la Tabla 1 sintetizamos la comparación que hemos realizado entre la IBD y la ID, teniendo en cuenta los tres elementos esenciales que propone Radford (2008) como constituyentes de una teoría: cuestiones paradigmáticas, principios y métodos. Identificamos también los tipos de resultados que se espera obtener como consecuencia de su aplicación.

Tabla 1. Comparación de la IBD y la ID (TSD)⁴

	IBD	ID (TSD)
Cuestiones paradigmáticas	¿Cómo mejorar el aprendizaje matemático en contextos escolares realistas de manera fundamentada? ¿Qué recursos instruccionales usar para mejorar la enseñanza y aprendizaje?	¿Qué tipo de situaciones-problemas dan sentido a un saber matemático específico? (situaciones fundamentales) ¿Qué características debe tener el medio para lograr un aprendizaje autónomo del alumno de un saber específico? (dialéctica entre situaciones adidácticas y didácticas)

⁴ Introducimos la notación ID (TSD) para indicar la dependencia de la “ingeniería didáctica” de la Teoría de Situaciones Didácticas. Esto ayudará a expresar posibles generalizaciones de la ingeniería didáctica al cambiar la teoría-base en la que se apoye el diseño didáctico correspondiente.

Supuestos teóricos	El diseño se apoya en diversos marcos interpretativos Las teorías emergen de los datos	La TSD guía la formulación de hipótesis sobre el diseño y los resultados esperables Los datos contrastan la teoría
Metodología	<i>Tipo:</i> Mixta (cualitativa/cuantitativa) <i>Fases:</i> - Preparación del experimento - Experimentación - Análisis retrospectivo	<i>Tipo:</i> Mixta, con énfasis positivista (nomotético) <i>Fases:</i> (guiadas por la teoría-base) - Fase preliminar - Concepción y análisis a priori - Experimentación - Análisis a posteriori - Validación
Resultados	Recursos instruccionales Teorías locales emergentes	Contrastación de hipótesis derivadas de la teoría-base Situaciones fundamentales Recursos instruccionales

Las cuestiones paradigmáticas que hemos formulado en el caso de la ID (TSD) son en cierto modo similares a las de la IBD, aunque orientadas y concretadas a la luz de la teoría que le sirve de base. Las “situaciones fundamentales” son modelos o representaciones de los saberes matemáticos, esto es, caracterizaciones de un saber mediante las cuestiones o proyectos a los cuales da respuesta. La posición epistemológica socio-constructivista sobre el conocimiento matemático en el que se centra la ingeniería didáctica, no postula explícitamente su relatividad institucional. Esta relatividad ha sido resaltada posteriormente en la TAD (Chevallard, 1992; 1999) y el EOS (Godino, 2002; Godino, Batanero y Font, 2007) asumiendo que la “razón de ser” de los saberes pueden fluctuar de una institución a otra o de su construcción original en la historia de las matemáticas respecto de su uso actual.

En consecuencia, se podría entender la IBD como una ampliación de la ID (TSD); mientras la primera no tiene un marco teórico único o preferente, la ID se apoya sobre una teoría de nivel intermedio (la TSD) que le proporciona criterios para la elaboración de situaciones matemáticas (búsqueda de situaciones fundamentales para los diversos conocimientos matemáticos) y también para la implementación y conducción de situaciones didácticas que procuren el aprendizaje autónomo de los estudiantes. Desde el punto de vista metodológico la fase de estudio preliminar que se propone en la ID (TSD) puede ser una distinción motivada y orientada por la teoría-base hacia el análisis epistemológico del propio saber matemático objeto de enseñanza.

5. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

Como hemos indicado la problemática de la IBD consiste en elaborar recursos instruccionales para la mejora de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, en contextos escolares naturalistas, basados en la investigación. Puesto que la investigación de las intervenciones educativas depende de manera crítica de los marcos teóricos que se utilicen para fundamentar el diseño, implementación e interpretación de los resultados, dependiendo de la teoría-base, o falta de teoría, se tendrá una IBD diferente. Por tanto, debemos entender la IBD como una familia de metodologías o enfoques de investigación educativa. Teniendo en cuenta que el objetivo es elaborar un producto basado en la investigación (currículo, secuencia de lecciones, software educativo, etc.),

como proponen Hjalmsen y Lesh, este tipo de investigaciones educativas se pueden considerar como una modalidad de indagación ingenieril.

La ingeniería didáctica francesa) que tiene una tradición mayor, aborda una problemática similar, y es apoyada en una teoría-base explícita, de nivel intermedio, como es la TSD, por lo que podemos considerarla como un antecedente de la familia de las IBD (en el tiempo), o bien un caso particular de la misma. Es claro también que el diseño didáctico se está realizando apoyándose en modelos teóricos diferentes de la TSD, produciéndose diversas variedades de investigaciones basadas en el diseño. Estas variedades compartirán algunos elementos de la cuaterna (cuestiones paradigmáticas, supuestos teóricos, metodologías y tipos de resultados pretendidos), pero pueden diferir en otros, como se indica, a título de ejemplo, en el esquema de la figura 1 para el caso del diseño didáctico basado en la Teoría Antropológica (TAD), el Enfoque Ontosemiótico (EOS), la Educación Matemática Realista (EMR) (Freudenthal, 1991; Heuvel-Panhuizen, & Wijers, 2005), o el Estudio de Lecciones en Japón (ELJ) (Fernandez, & Yoshida, 2004).

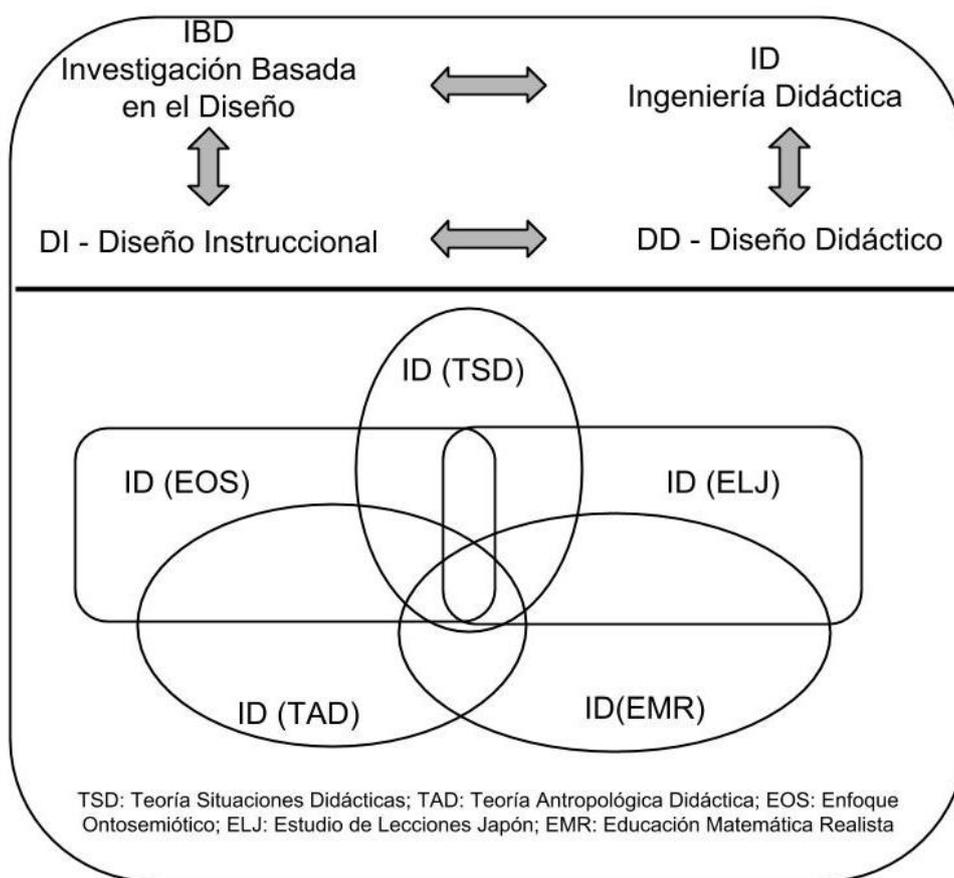


Figura 1. Variedades de investigaciones basadas en el diseño

Todas estas modalidades de ingeniería didáctica (o diseño didáctico) comparten una problemática similar. No obstante, será necesario esclarecer con más detalle que el realizado en este trabajo las consecuencias metodológicas derivadas del cambio en la teoría-base en que se apoye cada ingeniería particular, así como explicitar los tipos de resultados que puedan dar lugar en cada una de ellas.

Reconocimiento

Trabajo realizado parcialmente en el marco de los proyectos de investigación EDU2010-14947, Ministerio de Ciencia e Innovación y EDU2012-31869, Ministerio de Economía y Competitividad (Madrid).

REFERENCIAS

- Artigue, M. (1989). Ingenierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9 (3), 281–308.
- Artigue, M. (2009). Didactical design in mathematics education. En C. Winslow (Ed.), *Nordic Research in Mathematics Education. Proceedings from NORMA08* (p.7 - 16). Rotterdam: Sense Publishers.
- Artigue, M. (2011). L'ingénierie didactique: un essai de synthèse. En C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck & F. Wozniak (Eds.), *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 225-237). Grenoble: La pensée sauvage.
- Bikner-Ahsbahr, A., & Prediger, S. (2010). Networking of theories - an approach for exploiting the diversity of theoretical approaches. In B. Sriraman, & L. English (Eds.), *Theories of mathematics education: Seeking new frontiers* (pp. 483-506). New York: Springer
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7 (2), 33-115.
- Brousseau, B. (1997). *Theory of didactical situations in mathematics*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2 (2), 141-178.
- Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique: perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 12 (1), 73-112.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19 (2), 221-266.
- Cobb, P., Confrey, J., Disessa, A., Lehrer, R. y Schauble, L. (2003). Design experiment in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.
- Cobb, P. & Gravemeijer, K. (2008). Experimenting to support and understand learning processes. In 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.
- Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design research: theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13 (1), 15-42.
- DBRC (The Design Based Research Collective) (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Disessa, A. A. & Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 77-103.

- Fernandez, C., & Yoshida, M. (2004). Lesson study: A case of a Japanese approach to improving instruction through school-based teacher development. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting mathematics education*. China Lectures. Dordrecht: Kluwer.
- Glaser, B. y A. Strauss (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New York: Aldine Publishing Company,
- Godino, J. D. (2002). Un enfoque ontológico y semiótico de la cognición matemática. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 22 (2/3), 237-284.
- Godino, J. D. Batanero, C. & Font, V. (2007). The onto-semiotic approach to research in mathematics education. *ZDM. The International Journal on Mathematics Education*, 39 (1-2), 127-135.
- Heuvel-Panhuizen, M. van den & Wijers, M. (2005). Mathematics standards and curricula in the Netherlands. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 37 (4), 287-307.
- Hjalmarson, M. A. & Lesh, R. (2008a). Design research. Engineering, systems, products, and processes for innovation. En L. D. English (Ed.), *Handbook of International Research in Mathematics Education* (pp. 520-534). New York: Routledge.
- Hjalmarson, M. A. & Lesh, R. A. (2008b). Engineering and design research. Intersections for education research and design. In Kelly, A.E., Lesh, R.A. & Baek, J. Y. (Eds.) (pp.96-110).
- Kelly, A. E., Lesh, R. A. & Baek, J. Y. (Eds.) (2008). *Handbook of design research in methods in education. Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching*. Mew York, NY: Routledge
- Lesh, R. y Sriraman, B. (2010). Re-conceptualizing mathematics education as a design science. En B. Sriraman y L. English (eds), *Theories of mathematics education. Seeing new frontiers* (pp. 123-146). Heidelberg: Springer.
- Perrin-Glorian, M. J. (2011). L'ingénierie didactique à l'interface de la recherche avec l'enseignement. Développement de ressources et formation des enseignants. En C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck & F. Wozniak (Eds.), *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 57-78). Grenoble: La pensée sauvage.
- Prediger, S., Bikner-Ahsbahs, A., & Arzarello, F. (2008). Networking strategies and methods for connecting theoretical approaches: first steps towards a conceptual framework. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 40 (2), 165-178.
- Radford, L. (2008). Connecting theories in mathematics education: challenges and possibilities. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 40(2), 317-327.
- Reigeluth, C. M. (2000). ¿En qué consiste una teoría de diseño educativo y cómo se está transformando? En C. M. Reigeluth (Ed.), *Diseño de la instrucción. Teorías y modelos. Un nuevo paradigma de la teoría de la instrucción* (pp. 15-40). Madrid: Santillana
- Reimann, P. (2011). Design-based research. In L. Markauskaite et al. (eds.) *Methodological choice and design* (pp. 37-56). Springer.
- Spector, J. M. (2001). Philosophical implications for the design of instruction. *Instructional Science* 29,381-402.

- Shavelson, R. J., Phillips, D.C., Towne, L. & Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. *Educational Researcher*, 32(1), pp. 25-28.
- Walker, R. (2011). Design-based research: Reflection on some epistemological issues and practices. In L. Markauskaite et al. (eds.) *Methodological choice and design* (pp. 51-56). Springer.
- Winslow, C. (2009). Nordic research in mathematics education: From norma08 to the future. En C. Winslow (Ed.), *Nordic Research in Mathematics Education. Proceedings from NORMA08* (p.1 - 4). Rotterdam: Sense Publishers.
- Wittman, E. C. (1995). Mathematics education as a 'design science'. *Educational Studies in Mathematics*, 29 (4), 355-374.