



**Fotografía**  
*Lina Marcela Almaciga Camargo*

# LA INVESTIGACIÓN BASADA EN EL DISEÑO Y EL DESARROLLO CURRICULAR EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

## Design-Based Inquiry in Science Education and Curriculum Development in Science Education

## A pesquisa baseada em design e o desenvolvimento curricular na educação em ciências

Boris Fernando Candela Rodríguez\* 

Fecha de recepción: 03 de diciembre de 2022.  
Fecha de aprobación: 19 de abril de 2023.

### Cómo citar

Candela Rodríguez, B. F. (2023). La investigación basada en el diseño y el desarrollo curricular en la educación en ciencias. *Bio-grafía*, 16(31), 128-141. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.16.num31-19727>

### Resumen

Este manuscrito tiene como propósito describir los principales elementos epistémicos y metodológicos que subyacen al enfoque de la investigación basada en el diseño y el desarrollo curricular. Estos han comenzado a ayudar a disminuir la ruptura existente entre la literatura proveniente del campo de indagación de la educación en ciencias y la práctica educativa. El ciclo iterativo de la investigación basada en el diseño es considerado un enfoque de indagación que, en interacción sinérgica con el ciclo del desarrollo curricular, permite comprender cómo, cuándo y por qué un ambiente de aprendizaje de un contenido funciona en un contexto real de aula. Esta comprensión se materializa en la creación de innovaciones educativas y la generación de un conjunto de teorías instruccionales de dominio específico referente a la enseñanza y aprendizaje de un contenido. Para ello, el investigador/diseñador en cooperación con el profesor de aula, y apoyados en el modelo de razonamientos y acciones pedagógicas, recogen y analizan evidencia empírica de carácter cualitativo y cuantitativo, a fin de llevar a cabo una evaluación formativa y cuantitativa que permita validar los productos de diseño y desarrollo curricular.

**Palabras clave:** investigación basada en el diseño; desarrollo curricular; enseñanza y aprendizaje; educación en ciencias

\* Magíster en Educación. Profesor Facultad de Educación y Pedagogía, Universidad del Valle. Correo electrónico: boris.candela@correounivalle.edu.co

## Abstract

The purpose of this manuscript is to describe the main epistemic and methodological elements that underlie the approach of Design-Based Research and Curriculum Development. These have begun to help bridge the gap between the literature from the science education field of inquiry and educational practice. The iterative cycle of Research Based on Design is considered an inquiry approach that, in synergistic interaction with the Curriculum Development cycle, allows us to understand how, when, and why a content learning environment works in a real classroom context. This understanding materializes in the creation of educational innovations and the generation of a set of domain-specific instructional theories regarding the teaching and learning of content. For this, the researcher/designer in cooperation with the classroom teacher and supported by the model of reasoning and pedagogical actions, collect, and analyze empirical evidence of a qualitative and quantitative nature, in order to carry out a formative and quantitative evaluation that allows validate the products of design and curricular development.

**Keywords:** Design-based research; curricular development; teaching and learning; science education

## Resumo

Este manuscrito tem como objetivo descrever os principais elementos epistêmicos e metodológicos que subjazem à abordagem da Pesquisa Baseada em Design e o Desenvolvimento Curricular. Esses elementos têm ajudado a diminuir a lacuna existente entre a literatura proveniente do campo da investigação em educação em ciências e a prática educacional. O ciclo iterativo da Pesquisa Baseada em Design é considerado uma abordagem de investigação que, em interação sinérgica com o ciclo de Desenvolvimento Curricular, permite compreender como, quando e por que um ambiente de aprendizagem para um determinado conteúdo funciona em um contexto real de sala de aula. Essa compreensão se materializa na criação de inovações educacionais e na geração de um conjunto de teorias instrucionais específicas do domínio relacionadas ao ensino e aprendizagem de um conteúdo. Para isso, o pesquisador/designer, em cooperação com o professor da sala de aula, apoiado no modelo de raciocínio e ações pedagógicas, coleta e analisa evidências empíricas qualitativas e quantitativas, a fim de realizar avaliações formativas e somativas que validem os produtos de design e desenvolvimento curricular.

**Palavras-chave:** pesquisa baseada em design; desenvolvimento curricular; ensino e aprendizagem; educação em ciências



## Introducción

Desde mediados de la década de los ochenta, Klopfer (1983) afirmó que el campo de la educación en ciencias se encuentra en crisis, como consecuencia de que las teorías acerca de la enseñanza y aprendizaje de los fenómenos naturales han presentado restricciones a fin de fundamentar disciplinar, pedagógica, curricular y tecnológicamente el diseño e implementación de ambientes de aprendizaje de contenidos específico. Esta situación generó en los eruditos de este campo la necesidad de desarrollar y sostener la línea de indagación de la investigación basada en el diseño (en adelante *DBR*<sup>2</sup>), con el propósito de abordar de forma directa los problemas de la práctica educativa (Anderson y Shattuck, 2012; Candela, 2016; Candela, 2019).

La *DBR* es considerada por los eruditos del campo de la educación en ciencias como una metodología de investigación del mismo estatus metodológico de los paradigmas cualitativo y cuantitativo (Confrey, 2006). De hecho, los investigadores/profesores/diseñadores hacen un uso deliberado de los enfoques de indagación y técnicas de recolección de la evidencia empírica provenientes de estos paradigmas, con la intención de demarcar y solucionar problemáticas referentes a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Así pues, este paradigma de investigación emergente diseñado por y para educadores tiene como propósito aumentar el impacto, la transferencia y la traducción de la investigación educativa en prácticas mejoradas (Collins *et al.*, 2004). Además, enfatiza la necesidad de diseñar, implementar y evaluar innovaciones educativas potenciadas por las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en contextos naturalistas, que permitan producir teorías instruccionales de dominio específico y desarrollar principios de diseño que guíen, informen y mejoren tanto la práctica educativa como la investigación en contextos escolares situados. Finalmente, este manuscrito tiene como propósito describir de forma sucinta los principales elementos epistémicos y metodológicos que subyacen al paradigma de investigación basada en el diseño (*BDR*) y al ciclo de desarrollo curricular (*CDC*) en el marco de la educación en ciencias.

2 Las siglas *dbR* provienen del inglés *design-based research*. En este documento se considera pertinente continuar utilizándolo, dado que tiene un amplio reconocimiento en el mundo académico.

## ¿Qué es la investigación basada en el diseño?

La investigación basada en el diseño (*DBR*) es un paradigma alternativo que emerge de forma concomitante con la usabilidad de las TIC como herramientas socio-cognitivas, que ayudan a mediar la enseñanza y el aprendizaje de contenidos específico. En este sentido, Brown (1992) y Collins (1992) argumentan que la *DBR* tiene como meta central llevar a cabo el ciclo iterativo de diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje en contextos reales. Por supuesto, este ciclo iterativo se encuentra fundamentado disciplinar, pedagógica, curricular y tecnológicamente gracias a la investigación en educación en ciencias y al sistema de conocimiento, creencias y valores del investigador/profesor/diseñador, con la finalidad de comprender las relaciones sinérgicas entre la teoría, el diseño, el desarrollo curricular, los ambientes de aprendizaje y la práctica educativa.

Por todo esto, se considera que el desarrollo completo del ciclo iterativo del diseño en contextos reales de aula y mediado por la reflexión para, en y sobre acción (Schön, 1998; Anderson y Shattuck, 2012), permite producir una serie de principios o teorías instruccionales de dominio específico acerca del aprendizaje y la enseñanza. Estas teorías son inducidas desde dicho ciclo con miras a documentar, tanto los razonamientos y estrategias utilizadas por unos estudiantes singulares durante la apropiación de los contenidos de las ciencias, como las acciones pedagógicas realizadas por el profesor durante el andamiaje de los estudiantes en la internalización de las metas de aprendizaje formuladas por el currículo estatal. Por tanto, la *DBR* ayuda a crear y extender el conocimiento sobre el desarrollo, la implementación y el sostenimiento de propuestas de enseñanza innovadoras.

Asimismo, la generación de teorías instruccionales de dominio específico se da gracias a las transacciones de significado que se establecen de forma horizontal entre investigadores, diseñadores y profesores de ciencias en el marco del ciclo iterativo de diseño instruccional. De hecho, estas relaciones intersubjetivas tienen la intención de transformar las prácticas pedagógicas de la escuela primaria y secundaria con el ánimo de intervenir a los estudiantes a nivel educativo y social. Para ello, este colectivo, apoyado en la literatura en educación en ciencias, el currículo estatal y la sabiduría que le otorga la experiencia, lleva a cabo un análisis curricular e instruccional de carácter reflexivo que le permite integrar de forma intra e intercurricular la serie de elementos

para la enseñanza de un contenido específico<sup>3</sup> (Shwartz *et al.*, 2008; Anderson y Shattuck, 2012; Clements, 2014; Candela, 2016). Esta integración curricular se documenta por medio de la toma de decisiones curriculares e instruccionales, que informan el diseño, desarrollo y puesta en escena de una secuencia de actividades de aprendizaje. Definitivamente, los investigadores gestionan los procesos de indagación en colaboración con los profesores, diseñan e implementan intervenciones sistemáticamente para refinar y mejorar los diseños iniciales y, en última instancia, buscan avanzar en los objetivos pragmáticos y teóricos que afectan la práctica.

En efecto, las relaciones intersubjetivas entre investigador/diseñador/profesor pueden ayudar a evidenciar a lo largo de la implementación del ambiente de aprendizaje la forma como fue puesta en escena la secuencia de actividades de aprendizaje. En este sentido, dichas relaciones permiten detectar si el diseño o conjetura inicial sufrió una “mutación letal” (interpretación que ya no captura la esencia pedagógica de la innovación educativa), o fue puesto en escena por medio de una “adaptación pedagógica productiva” (ajustar la toma de decisiones curriculares e instruccionales a las necesidades, cultura e historia de la escuela).

Asimismo, los investigadores del campo de la educación en ciencias afirman que el enfoque de investigación de la DBR presenta las propiedades que se describen a continuación.

## Pragmatismo

La DBR tiene como propósito central mejorar la práctica educativa a través del uso situado y reflexivo de las teorías de orden general (pedagogía, aprendizaje, diseño, entre otras) y específico (por ejemplo, currículo estatal, dificultades y concepciones alternativas de las ciencias) generadas por la investigación en la educación en ciencias. Así pues, las teorías provenientes de la investigación en conjunción con la sabiduría que otorga la experiencia de diseñar y enseñar ayudan a fundamentar la práctica del diseño e implementación de ambientes de aprendizaje, situación que produce una serie de principios o teorías instruccionales de dominio específico. De manera que, el desarrollo de estas teorías de carácter

3 Los siguientes son elementos para la enseñanza de los contenidos de las ciencias: metas de aprendizaje, metas de enseñanza, importancia educativa y social de las metas de aprendizaje, dificultades/concepciones alternativas de los estudiantes, potencialidades que ofrecen determinadas herramientas TIC, estrategias específicas de evaluación, factores contextuales, entre otros.

contextualizado se encuentra muy relacionado con la práctica educativa (Cobb *et al.*, 2003). Para finalizar, la DBR permite evaluar de manera formativa el valor práctico de la teoría proveniente de la investigación, en la medida en que los conceptos y principios de esta informan y mejoran los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación.

## Fundamentación

El diseño de ambientes de aprendizaje potenciados por las TIC en el marco de la DBR está fundamentado por las teorías de orden general y específicas del campo de investigación de la educación en ciencias, y por las prácticas de diseño e implementación de lecciones llevadas a cabo en otros momentos. Es decir, el investigador examina de forma reflexiva la literatura y los casos de diseño disponibles, con el propósito de identificar problemáticas pertinentes que serían abordadas durante el diseño de una propuesta de enseñanza novedosa (Cobb *et al.*, 2003).

Asimismo, la DBR considera los factores contextuales de la escuela elementos esenciales en el diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizajes de contenidos específicos en contextos reales. De ahí que, la DBR a lo largo del ciclo iterativo de diseño aborda de manera simultánea la multitud de variables evidentes que configuran los escenarios escolares en el mundo real (Collins, 1992). Por todo esto, se argumenta que las teorías instruccionales de dominio específico acerca de la enseñanza y aprendizaje de un contenido son de carácter contextualizado y situado.

## Interactiva e iterativa

Los investigadores de la DBR, con el propósito de superar la ruptura entre la teoría y la práctica educativa, toman la decisión intencional de llevar a cabo el ciclo iterativo de diseño de ambientes de aprendizaje en colaboración con los profesores de las respectivas escuelas. Esta decisión se da como consecuencia de que la aplicación directa y descontextualizada de la teoría, sin tomar en consideración los conocimientos, creencias y valores de los profesores, presenta serias restricciones en el andamiaje de la enculturación científica en los estudiantes (Candela, 2019). Es así como, los investigadores y profesores trabajan juntos para identificar enfoques de enseñanza-aprendizaje, y desarrollar principios que permitan afrontar las problemáticas de la educación en ciencias de forma contextualizada.

Si bien, los límites de las funciones de los investigadores, diseñadores y profesores son difusos, los primeros

focalizan sus acciones profesionales en gestionar el proceso del diseño de un ambiente de aprendizaje, cultivar la relación con los profesores y diseñadores y construir una comprensión del contexto de investigación (Cobb *et al.*, 2003). De modo que, los investigadores en el marco de la DBR buscan dar forma al ambiente de aprendizaje local aplicando su experiencia con el ánimo de mejorar la práctica educativa (van den Akker, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2022). Por supuesto, la transformación positiva de dicha práctica también ejerce una fuerte influencia en la evolución progresiva de la investigación y la teoría (Design-Based Research Collective [DBRC], 2003). En definitiva, la relación sinérgica entre estos tres profesionales permite demarcar y solucionar de forma apropiada los problemas de la práctica educativa inherentes a determinado contexto.

Por otro lado, la DBR se caracteriza por un ciclo iterativo de diseño, implementación, evaluación y rediseño (DBRC, 2003). Es por lo que, las teorías de dominio específico que fundamentan disciplinar, pedagógica, curricular y tecnológicamente los ambientes de aprendizaje juegan un papel clave en los futuros diseños. De hecho, la implementación y evaluación formativa de estos ambientes de aprendizaje generan una serie de conocimientos naturalísticos que se convierten en el punto de inicio de futuros ciclos iterativos de diseño de propuestas de enseñanza (Cobb *et al.*, 2003).

### Integradora

La DBR se lleva a cabo en el marco del paradigma mixto (cualitativo-cuantitativo), donde la perspectiva cuantitativa permite interpretar el ciclo iterativo de diseño en términos generales, en tanto, la perspectiva cualitativa brinda la posibilidad de comprender a profundidad dicho ciclo. Por supuesto, esta perspectiva mixta a través de la triangulación por método le da validez interna y transferibilidad a la teoría naturalística que emerge del proceso de diseño, implementación y evaluación del ambiente de aprendizaje de contenido específico (Candela, 2019). Por otra parte, el investigador recoge la evidencia empírica por medio de múltiples fuentes (p. ej., observación, entrevista semiestructurada, pre y postest, encuesta, materiales curriculares, registro de audio y video, entre otras). La usabilidad de estas fuentes documentales puede variar a lo largo de la investigación a medida que surgen nuevas necesidades y problemas. Así, el investigador puede realizar observaciones para documentar los cambios en el entorno del aula en el inicio de la implementación, al tiempo que utiliza encuestas o entrevistas semiestructuradas con el ánimo de recopilar datos sobre el rendimiento de los estudiantes.

Un momento clave en el ciclo de diseño iterativo es el de la evaluación formativa. Esta le brinda la posibilidad al investigador de evidenciar a lo largo de la implementación la coherencia entre las intenciones de diseño que fundamentan el ambiente de aprendizaje o conjetura (p. ej., lo que se propone que los estudiantes aprendan, y lo que el profesor y los estudiantes deben hacer para lograr los aprendizajes); las acciones llevadas a cabo por el profesor y los estudiantes durante la puesta en escena de la secuencia de actividades; y los aprendizajes alcanzados por los estudiantes. Esta evaluación formativa de carácter tripartito posibilita la identificación de problemáticas y restricciones que subyacen a la toma de decisiones curriculares e instruccionales del ambiente de aprendizaje implementado (Alzaghibi, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2022). Estas problemáticas y restricciones se convierten en el punto de partida para realizar el rediseño de la propuesta de enseñanza-aprendizaje del contenido representado.

### Contextual

Los factores contextuales de la escuela junto con las necesidades y antecedentes culturales de los estudiantes y profesores juegan un papel clave en la transferibilidad de las teorías de dominio específico que emergieron del ciclo iterativo de diseño, implementación y evaluación de un ambiente de aprendizaje de contenido específico potenciado por las TIC (Candela y Reyes, 2018). Es así como, los factores contextuales permiten describir de forma amplia el contexto de implementación, a fin de brindarles la oportunidad a otros investigadores de llevar a cabo la réplica de este estudio, cuyos resultados podrán ser comparados de forma reflexiva para aumentar el nivel de generalidad de las teorías instruccionales de dominio específico sobre la enseñanza y aprendizaje del contenido en cuestión (Gutiérrez *et al.*, 2022).

### ¿Qué son las teorías instruccionales de dominio específico?

Por lo general, los productos de la DBR incluyen una secuencia de actividades de aprendizaje junto con una serie de teorías instruccionales de dominio específico, cuya meta central es el andamiaje de unos estudiantes singulares en el aprendizaje de un contenido de las ciencias (Cobb y Gravemeijer, 2014; Candela, 2016). En este sentido, estas teorías instruccionales documentan los posibles aprendizajes a alcanzar por los aprendices y su compromiso con la enculturación científica en un contexto de aula natural. También, estas representan los razonamientos, acciones pedagógicas y recursos curriculares de orden analógico y digital que el

profesor utiliza de forma deliberada, con miras a andar el aprendizaje y el desarrollo de un pensamiento nivel superior en dichos estudiantes.

Hay que mencionar, además, que estas teorías instruccionales son llamadas de dominio específico con la intención de resaltar que su alcance está restringido a metas de aprendizaje y enseñanza alineadas a un dominio particular del currículo de las ciencias (p. ej., apropiación de las habilidades científicas de nivel superior, comprensión del fenómeno de las disoluciones, desarrollo del conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido de la química, entre otros). Desde luego, estas teorías son de orden naturalístico, y no generalizables como las teorías provenientes de la investigación cuasiexperimental. Por todo esto, también reciben el nombre de humildes o prácticas, a fin de reconocer su alto nivel de especificidad y contextualización (Cobb *et al.*, 2003).

Por otro lado, Cobb y Gravemeijer (2014) y Candela (2016) argumentan que las teorías instruccionales de dominio específico son útiles en la resolución de problemas de la práctica educativa, ya que, presentan el potencial de orientar a investigadores/profesores de otros contextos escolares en el planteamiento y ejecución de estudios referentes al diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje. De hecho, estas teorías instruccionales fundamentan disciplinar, pedagógica, curricular y tecnológicamente la secuencia de actividades de aprendizaje de un contenido de las ciencias, que después serán adaptadas y ajustadas a lo largo del nuevo ciclo iterativo de diseño a realizarse en otro contexto escolar. Es así como, esta réplica del estudio de diseño en consideración les da a las teorías de diseño instruccional de dominio específico un buen nivel de transferibilidad, permitiéndoles a los investigadores/profesores comprender la razón del porqué el diseño e implementación de un ambiente de aprendizaje es efectivo en la enculturación científica de los estudiantes de determinado contexto sociocultural.

## ¿Por qué se considera la DBR una metodología de investigación?

La DBR es considerada un enfoque metodológico de investigación en el campo de la educación en ciencias, gracias a que, a través de este, los investigadores en conjunción con los profesores formulan y resuelven problemas complejos referentes a la práctica del diseño, la implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje en contextos reales de aulas (Confrey, 2006; Anderson y Shattuck, 2012; Candela, 2019). Por supuesto, este ciclo iterativo de diseño tiene como intención deliberada intervenir la prác-

tica de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias desde una perspectiva reflexiva, con el ánimo de brindarles a los estudiantes la oportunidad de alcanzar una enculturación científica que fundamente sus acciones sociopolíticas presentes y futuras. Se debe agregar que, los investigadores en el marco de la DBR hacen un uso pedagógico, intencional y contextualizado de las teorías educativas abstractas de orden general y específico. En efecto, la contextualización de estas teorías educativas quizás permite mejorarlas, con miras a escalarlas a otros escenarios escolares, para de esta forma continuar desarrollando y sosteniendo el campo de la educación en ciencias como una disciplina científica (Kelly, 2013).

Los investigadores en la DBR tienen una función dual, diseñadores curriculares e investigadores (Van den Akker, 1999). La función de diseñador curricular se encuentra delineada por la toma de decisiones curriculares e instruccionales, cuyo desarrollo teórico se da como consecuencia a la integración sinérgica y reflexiva que ellos logran establecer entre la literatura sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y la sabiduría que le otorga la experiencia de haber diseñado, implementado y evaluado ambientes de aprendizaje. Asimismo, la materialización y evaluación de este ciclo iterativo de diseño es asistida por una serie de enfoque y técnicas de investigación de carácter cualitativo o cuantitativo (Wang y Hannafin, 2005; Alzaghibi, 2010). Estas le permiten al investigador recoger evidencia empírica y analizarla, con el objetivo de realizar una evaluación formativa de carácter tripartito entre las intenciones de diseño o conjetura, las acciones realizadas por los estudiantes y profesores, y los aprendizajes alcanzados.

Conviene subrayar que, la DBR es una perspectiva que amplía el horizonte de indagación en el campo de la educación en ciencias, dado que, la dinámica de esta permite una relación sinérgica entre la investigación, la teoría, el desarrollo curricular y la práctica educativa, la cual se traduce en el desarrollo progresivo de la estructura sustantiva de estos aspectos. Esta situación amplía el campo de acción de algunos de los enfoques convencionales de la investigación educativa (p. ej., investigación acción) (Anderson y Shattuck, 2012; Kelly, 2013). Para ello, hace un uso deliberado de la diversidad de métodos y técnicas de investigación que están relacionadas de forma estrecha con las fases de implementación y evaluación formativa, a fin de generar una teoría de dominio específico, que no solo sea utilizada con el ánimo de comprender cómo una intervención está o no está teniendo éxito, y si esta necesita ser rediseñada, sino también para mejorar las explicaciones teóricas acerca de la enseñanza y aprendizaje de un contenido específico.

## ¿Qué relación existe entre la DBR y el desarrollo curricular en educación en ciencias?

La DBR es un enfoque de investigación educativo que tiene como propósito central el diseño de ambientes de aprendizaje potenciados por las TIC, junto a la producción de teorías instruccionales de dominio específico referentes a un contenido de las ciencias. Para ello, los investigadores en asocio con profesores y diseñadores instruccionales llevan a cabo indagaciones focalizadas en el diseño, implementación y evaluación de innovaciones educativas en contextos situados de aula. Por supuesto, estas investigaciones educativas presentan una fuerte relación con el proceso epistémico del desarrollo curricular (van den Akker, 1999; Brazer y Keller, 2014; Haagen-Schützenhöfer y Hopf, 2020).

En este sentido, Candela (2020) y Clements (2014) argumentan que el ciclo de desarrollo curricular (en adelante CDC) y el ciclo de la DBR son procesos que se dan de forma sinérgica e interdependiente, es decir, los límites entre las tareas curriculares e investigación del diseño son de naturaleza difusa. Así, estas tareas orientan la toma de decisiones curriculares e instruccionales alineadas con el aprendizaje de un contenido de las ciencias (van den Akker, 1999; Haagen-Schützenhöfer y Hopf, 2020). Dichas decisiones juegan un papel clave en el

logro de los objetivos propuestos, tanto en el diseño del ambiente de aprendizaje como en el desarrollo de la investigación de diseño, los cuales están focalizados en la creación de una innovación educativa con coherencia curricular y la producción de teorías instruccionales de dominio específico.

Por todo esto, Haagen-Schützenhöfer y Hopf (2020) afirman que los procesos del ciclo de la DBR y el ciclo del CDC se llevan a cabo de manera simultánea por medio de ciclos recurrentes. Así pues, las teorías de orden general y específico de la educación en ciencias informan el diseño de los ambientes de enseñanza y aprendizaje y, a su vez, la evaluación formativa y sumativa de estos (hallazgos empíricos de las intervenciones) permite extender, refinar y darles validez ecológica a dichos marcos teóricos disciplinares, curriculares, pedagógicos y tecnológicos. Por supuesto, la extensión y contextualización de estos marcos teóricos influye en el rediseño instruccional del ambiente de aprendizaje en cuestión (véase figura 1).

Asimismo, la DBR y el CDC operan en dos espacios de procesos entrelazados que parten de un problema práctico concreto referente a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (p. ej., comprensión del fenómeno del equilibrio químico). Este problema es el punto de partida para los ciclos de la DBR y el CDC (véase figura 1).

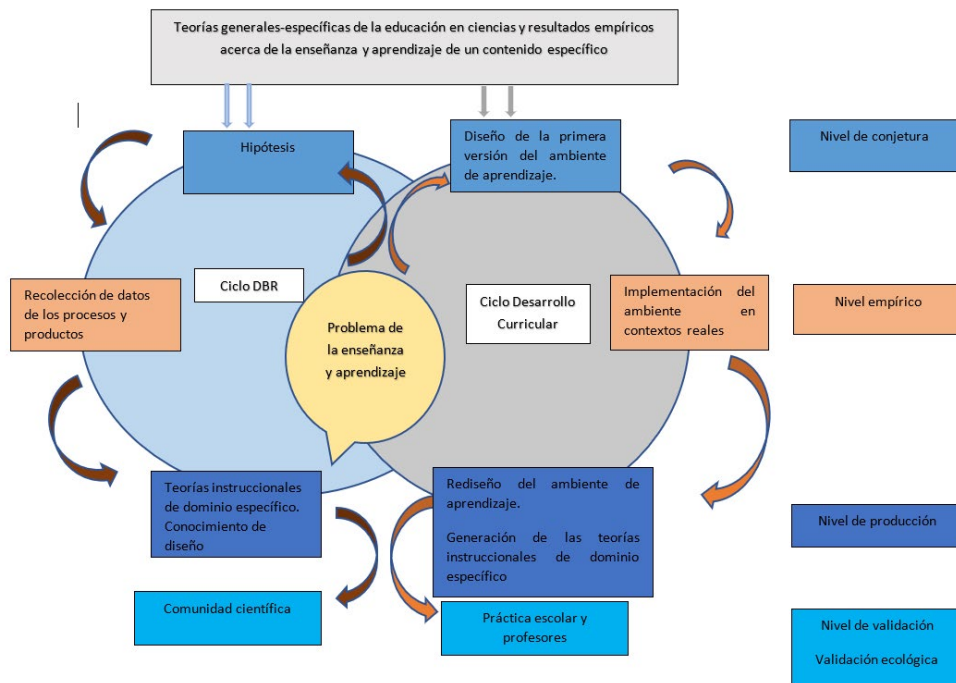


Figura 1. Modelo esquemático de la interdependencia entre los ciclos de la DBR y el desarrollo curricular

Fuente: adaptado de Haagen-Schützenhöfer y Hopf (2020).



En general, el CDC (figura 1, lado derecho) representa el proceso de desarrollo de innovaciones curriculares (p. ej., materiales de enseñanza, estrategias de aprendizaje, currículo, entre otras). Este proceso es orientado por la teoría que proviene del campo de la educación en ciencias, y la sabiduría del investigador/profesor que le ha otorgado la experiencia de haber diseñado e implementado innovaciones educativas para la práctica escolar. Este proceso se relaciona con el propósito de explorar la posibilidad de crear un nuevo ambiente de enseñanza y aprendizaje de un contenido específico. Por supuesto, la generación de esta innovación educativa es apoyada por la información que suministra el profesor y los estudiantes, quienes participan de manera activa en la implementación de la versión inicial del ambiente de aprendizaje de un contenido.

El ciclo de la DBR (figura 1, lado izquierdo) se focaliza en la construcción situada de teorías instruccionales de dominio específico, referentes a la enseñanza y aprendizaje de un contenido de las ciencias. Además, este ciclo tiene

como fin consolidar y extender el conocimiento sobre el diseño, la implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje. Por lo tanto, refleja el procedimiento prototípico de la investigación en educación científica. Los productos de este ciclo están dirigidos a la comunidad científica que se encarga de evaluar la validez de estos (p. ej., presentación de los hallazgos en conferencias de investigación y en revistas de investigación).

El modelo de interdependencia entre los ciclos de la DBR y el CDC se encuentra configurado por cuatro niveles conceptuales que se representan de manera horizontal (véase figura 1). Cada nivel corresponde a un paso del proceso, cuyo fin es conectar dos etapas sucesivas de este. El desarrollo de estos dos ciclos se origina a partir de un punto común, un problema concreto acerca de la enseñanza y aprendizaje de un contenido de las ciencias. Como las subsiguientes etapas de los ciclos de la DBR y CDC son diferentes, sus pasos relacionados se operacionalizan de manera diferente en cada uno de estos espacios (véase tabla 1).

**Tabla 1.** Niveles y pasos del proceso en los ciclos de la DBR y CDC

Niveles	Ciclo del dbr	Ciclo del desarrollo curricular
Conjetura	Desde problema a la hipótesis.	Desde el problema a la primera versión del ambiente de aprendizaje.
Empírico	Desde la hipótesis a la recolección de datos.	Desde la primera versión del ambiente de aprendizaje a la implementación de este en aula real.
Producción	Desde los datos a las teorías instruccionales de dominio específico y ampliación del conocimiento sobre el diseño.	Desde la implementación del ambiente de aprendizaje al rediseño de este, y generación de teorías de dominio específico.
Validación	Desde las teorías a la comunidad científica (validación por pares de las teorías instruccionales de dominio específico y el conocimiento del diseño).	Desde el ambiente de aprendizaje rediseñado a las teorías instruccionales de dominio específico y práctica escolar y docentes (validación ecológica del ambiente de aprendizaje).

**Fuente:** adaptado de Haagen-Schützenhöfer y Hopf (2020).

El primer paso del proceso tiene lugar en el nivel heurístico. En el CDC, el enfoque para resolver el problema práctico es desarrollar una versión preliminar del ambiente de enseñanza y aprendizaje. Este está fundamentado disciplinar, pedagógico, curricular y tecnológicamente por las teorías provenientes del campo de la educación en ciencias, y la sabiduría que le ha otorgado la expe-

riencia a los investigadores/profesores. En el ciclo de la DBR, la hipótesis sobre la enseñanza y el aprendizaje de dominios específicos se genera con base en los hallazgos y teorías de investigación existentes. Por supuesto, esta hipótesis está muy relacionada con los marcos teóricos e instruccionales que sustentan la primera versión del ambiente de aprendizaje de un contenido específico.

Estas teorías instruccionales de dominio específico son consideradas suposiciones hipotéticas sobre la enseñanza y aprendizaje de un contenido basadas en el contexto.

El segundo paso del proceso está relacionado con el nivel empírico. En el ciclo CDC la primera versión del ambiente de aprendizaje es implementada en un aula real. Esto se puede hacer desde diferentes perspectivas que van desde los experimentos de enseñanza hasta pruebas de campo en el salón de clases. Para el ciclo DBR, las intervenciones brindan la oportunidad de recopilar datos empíricos que provienen de la implementación de dicho ambiente de aprendizaje.

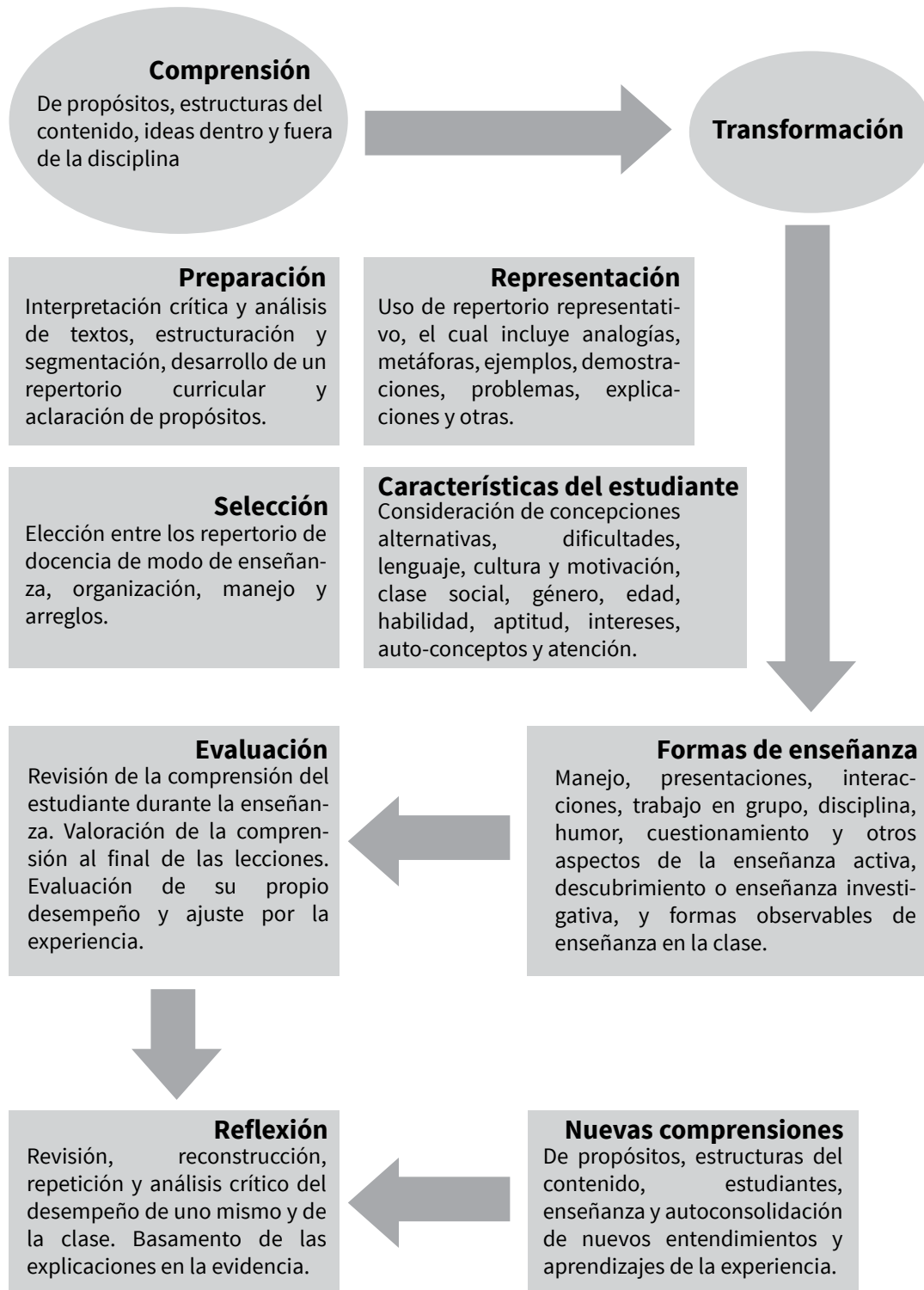
El tercer paso del proceso tiene como objetivo convertir los resultados del segundo paso en productos. En el ciclo del CDC, las experiencias de las intervenciones contribuyen a un refinamiento de la primera versión del ambiente de aprendizaje de contenido. En el ciclo de la DBR, los datos recopilados se analizan con el ánimo de generar o refinar las teorías instruccionales de dominio específico basadas en el contexto.

El cuarto paso del proceso tiene dos dimensiones. Debido a la naturaleza cíclica e iterativa de la DBR, los productos de los pasos anteriores pueden ser desafiados nuevamente a nivel empírico y así volver a entrar en otro ciclo de desarrollo o investigación; y al mismo tiempo, estos necesitan ser validados por la comunidad. En otras palabras, en el ciclo de CDC el ambiente de aprendizaje es validado ecológicamente por la práctica en aulas reales; y en la DBR, las teorías de dominio específico son validadas dentro de la comunidad científica.

## ¿Qué papel juega el modelo de razonamiento y acciones pedagógicas del investigador y profesor en el funcionamiento entrelazado de los ciclos DBR y CDC

El modelo de razonamientos y acciones pedagógicas del investigador/profesor fundamenta el desarrollo reflexivo de los ciclos de DBR y CDC, el cual se traduce en la generación de una serie de teorías instruccionales de dominio específico (Shulman, 1987; Candela, 2020) (véase figura 2). La secuencia iterativa de las etapas que configura el modelo le brinda al investigador/profesor la oportunidad de conjeturar y validar prácticas educativas que estén en coherencia, tanto con los marcos teóricos alternativos de la educación en ciencias, como con las teorías instruccionales de dominio específico, basadas en el contexto, que han sido producidas en otras investigaciones. Desde luego, estas etapas en conjunción con dichos marcos teóricos e instruccionales le permiten llevar a cabo una reflexión práctica y crítica con la intención de fundamentar disciplinar, pedagógica, curricular y tecnológicamente el ambiente de aprendizaje de contenidos.

Ahora bien, el modelo de razonamiento y acciones pedagógicas está configurado por las siguientes etapas recurrentes: comprensión, transformación, enseñanza, evaluación y reflexión (véase figura 2). Cada una de estas agencia el movimiento reflexivo del investigador y profesor a lo largo de los cuatro niveles conceptuales del modelo de interdependencia de los ciclos de la DBR y CDC, que sustentan el funcionamiento iterativo de estos con el ánimo de alcanzar sus respectivos productos epistémicos (véase tabla 2).



**Figura 2.** Modelo de razonamiento y acciones pedagógicas

**Fuente:** Shulman (1987).

**Tabla 2.** Relación sinérgica entre las etapas del modelo de razonamiento y acciones pedagógicas y las fases de los ciclos de la DBR y el CDC

Etapas del modelo de razonamientos y acciones pedagógicas	Niveles conceptuales	Fases de los ciclos de la DBR y el CDC
Comprensión	Conjetura	Formulación de hipótesis; diseño previo del ambiente de aprendizaje de un contenido.
Transformación		
Enseñanza	Empírico	Implementación del ambiente de aprendizaje; recolección de la evidencia empírica.
Evaluación	Producción validación	Rediseño del ambiente de aprendizaje de contenidos; análisis de la evidencia empírica; y generación de teorías instruccionales de dominio específico.
Reflexión		

**Fuente:** elaboración propia.

Por todo esto, Candela (2016, 2019) considera que estas etapas se encuentran en estrecha coherencia con las fases de dichos ciclos (véase tabla 2). Esta relación sinérgica actúa como una heurística de investigación y desarrollo curricular, donde se consideran interrogantes sobre las condiciones y los efectos causados por el diseño e implementación de un ambiente de aprendizaje de contenido específico. Estos interrogantes se abordan desde los dominios de la política, la práctica y la teoría (Clements, 2007). Así, las preguntas respecto a las condiciones hacen referencia a la explicitación y representación de la serie de variables contextuales, disciplinares, cognitivas, pedagógicas, curriculares, sociales y culturales que demanda el diseño e implementación de una innovación educativa particular, cuyo propósito es mediar de forma apropiada la enculturación científica de los estudiantes, y producir unas teorías instruccionales de dominio específico. Las preguntas referentes al efecto permiten evaluar de manera formativa y sumativa el impacto a nivel educativo y social que genera la implementación de la innovación educativa en los estudiantes y profesores (Clements, 2007).

Asimismo, en el marco del dominio de la política se formulan preguntas centradas en cuestionar si las metas de enseñanza y aprendizaje son importantes a nivel educativo y social (p. ej., cuáles son los efectos educativos y sociales generados en los estudiantes y profesores, y cuál es el nivel del efecto para las diferentes poblaciones). También, se interroga acerca de las condiciones profesionales, sociocognitivas y materiales que debe tener el contexto escolar para llevar a cabo un diseño e implementación de un ambiente de aprendizaje que medie el logro de las expectativas curriculares conjeturadas.

En el dominio de la práctica se requiere conocer si un currículo es efectivo para ayudar a los estudiantes a lograr propósitos de aprendizaje específicos, para ello,

se documentan las consecuencias educativas y sociales conjeturadas o no conjeturadas. Además, se identifican el conjunto de condiciones que agencian la implementación exitosa de la innovación educativa. Por otro lado, el dominio teórico se focaliza en evidenciar y explicitar la forma como los marcos teóricos generales y específicos de la educación en ciencias influyeron en los razonamientos y acciones inteligentes de los estudiantes y el profesor para lograr las metas curriculares conjeturadas. En este sentido, las preguntas del dominio teórico incluyen por qué el currículo es efectivo, qué bases teóricas se utilizaron, en qué medida fueron explicativas, qué cambios cognitivos ocurrieron y qué procesos fueron los responsables. Las preguntas condicionales incluyen por qué ciertos conjuntos de condiciones disminuyen o aumentan la eficacia del currículo, cómo y por qué las estrategias específicas producen resultados que antes no se alcanzaban.

## Conclusiones

La investigación en educación en ciencias en el marco de la DBR debe valorarse por su capacidad para mejorar de forma progresiva la práctica de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en contextos naturalísticos. Para ello, los ciclos de la DBR y CDC, fundamentados por el modelo de razonamientos y acciones pedagógicas del investigador/profesor se focalizan en construir una comprensión sobre cómo y por qué una innovación educativa funciona de una forma apropiada en el proceso de andamiaje de la enculturación científica de los estudiantes. Probablemente, esta comprensión arroja luces a los investigadores/profesores/diseñadores curriculares referentes a la sostenibilidad y escalabilidad de la innovación educativa en otros contextos escolares. Con el fin de alcanzar este propósito pragmático, los proyectos de investigación sustentados por la relación sinérgica entre la DBR y el CDC producen los siguientes artefactos epistémicos: ambientes de aprendizaje

novedosos de contenidos específicos fundados disciplinar, pedagógica, y curricularmente; teorías instruccionales de dominio específico basadas en el contexto, que documentan los procesos de enseñanza y aprendizaje de un contenido de las ciencias; y conocimiento referente al avance y consolidación del diseño instruccional en contextos reales.

## Referencias

- Alzaghibi, M. A. (2010). *Instructional design: Development, implementation, and evaluation of a teaching sequence about plant nutrition in Saudi*. University of Leeds.
- Anderson, T. y Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25. <http://dx.doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Brazer, S. D. y Keller, L. R. (2014). A design research approach to investigating educational decision making. En: A. E. Kelly, R.A. Lesh y J. Y. Baek (Eds.), *Handbook of design research methods in education* (pp. 302-314). Routledge.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Candela, B. y Reyes, P. (2018). Implementación y evaluación de un objeto de aprendizaje: el caso de las relaciones entre los factores abióticos y los seres vivos. *Bio-grafía*, 11(20), 97-114. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.11.num20-8597>
- Candela, B. F. (2016). *La ciencia del diseño educativo*. Programa Editorial de la Universidad del Valle.
- Candela, B. F. (2019). Los estudios de diseño una metodología de investigación novedosa para la educación. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 8(2), 138-155. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v8n2.79267>
- Candela, B. F. (2020). *Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento: Formación y desarrollo profesional docente*. Programa Editorial Univalle.
- Clements, D. H. (2007). Curriculum research: Toward a framework for research-based curricula. *Journal for Research in Mathematics Education*, 38(1), 35-70.
- Clements, D. H. (2014). Design experiments and curriculum research. En: A. E. Kelly, R.A. Lesh y J. Y. Baek (Eds.), *Handbook of design research methods in education* (pp. 428-440). Routledge.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. y Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13. <https://doi.org/10.3102/0013189X03200100>
- Cobb, P. y Gravemeijer, K. (2014). 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* (pp. 86-113). Routledge.
- Collins, A. (1992). Toward a design science of education. En: E. Scanlon y T. O'Shea (Eds.), *New directions in educational technology* (pp.15- 22). SpringerVerlag.
- Collins, A., Joseph, D. y Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2)
- Confrey J. (2006). The evolution of design studies as methodology. En: R. Keith Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. (pp. 135-152). Cambridge University Press.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Gutiérrez, A., Candela, B. y Gallardo, L. (2022). Implementación y evaluación de un objeto de aprendizaje en ciencias naturales: el caso de la energía eléctrica. *Revista Boletín Redipe*, 11(08), 64-79. <https://doi.org/10.36260/rbr.v11i08.1869>
- Haagen-Schützenhöfer, C. y Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020152.
- Kelly, A. E. (2013). When is design research appropriate. En: T. Plomp y N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research*, (pp. 135-150). SLO Netherlands institute for curriculum development.
- Klopfer, L. E. (1983). Research and the crisis in science education. *Science Education*, 67(3), 283-84.
- Van den Akker, J. (1999). Principles and methods of development research. En J. van den Akker,

R. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen, y T. Plomp (Eds.), *Design approaches and tools in education and training* (pp. 1-15). Kluwer Academic Publishers.

Schön, D. (1998). *El profesional reflexivo. Cómo piensan los profesionales cuando actúan*, Paidós.

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.

Shwartz, Y., Weizman, A., Fortus, D., Krajcik, J. y Reiser, B. (2008, marzo). *Middle school science curriculum: Coherence as a design principle*. [Sesión de conferencia]. Annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching. Baltimore.

Wang, F. y Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.