

EDUCATIONAL DESIGN RESEARCH EN EL DESARROLLO DE UNA INNOVACION DIDÁCTICA DE CIENCIAS NATURALES: REFLEXIONES SOBRE ASPECTOS PROCEDIMENTALES

EDUCATIONAL DESIGN RESEARCH IN THE DEVELOPMENT OF A DIDACTIC INNOVATION OF NATURAL SCIENCES: REFLECTIONS ON METHODOLOGICAL ASPECTS

PESQUISA DE DESIGN EDUCACIONAL NO DESENVOLVIMENTO DE UMA INOVAÇÃO DIDÁTICA DE CIÊNCIAS NATURAIS: REFLEXÕES SOBRE QUESTÕES PROCEDIMENTAIS

Erika Daza-Pérez 

Escuela Normal Superior Francisco de Paula
Santander, ENSFPSM
Málaga, Colombia
epdazaperez@gmail.com

Charbel Niño El-Hani 

Universidade Federal de Bahía, UFBA
Salvador BA, Brasil
charbel.elhani@gmail.com

Resumen. Apoyado en el potencial del educational design research (EDR) en el diseño de recursos para la enseñanza y el aprendizaje de contenidos específicos situados en contextos reales de enseñanza, se describen detalles relevantes y se reflexiona sobre el proceso de aplicación del EDR en la fase de investigación preliminar y el primer ciclo de la fase de prototipado, de una investigación cuyo objetivo fue identificar características de diseño de una secuencia didáctica para la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres usando el videojuego educativo Calangos. Se pone de manifiesto la importancia del carácter colaborativo del EDR entre investigadores y profesores; de establecer una relación sinérgica entre el proceso de investigación, de diseño, de enseñanza en correspondencia con las dinámicas escolares de las instituciones educativas.

Palabras clave: investigación de diseño educativo; secuencia didáctica; enseñanza y aprendizaje; innovación educativa.

Abstract. Based on the potential of educational design research (EDR) in the design of resources for teaching and learning of specific content learning situated in real teaching contexts, relevant details and reflections on the process of applying EDR in the preliminary research phase and the first cycle of the prototyping phase of a research project whose objective was to identify design features of a didactic sequence for modeling thermoregulation in terrestrial vertebrates using the educational video game Calangos. It emphasizes the importance of the collaborative nature of EDR between researchers and teachers; of establishing a synergic relationship between the research, design and teaching process in correspondence with the school dynamics of educational institutions.

Keywords: Educational design research; didactic sequence; teaching and learning; educational innovation

Resumo. Baseado no potencial da pesquisa de design educacional (EDR) na elaboração de recursos de ensino e aprendizagem de conteúdo específico situados em contextos reais de ensino, descrevemos detalhes relevantes e refletimos sobre o processo de aplicação de EDR na fase de pesquisa preliminar e no primeiro ciclo da fase de prototipagem, de uma pesquisa cujo objetivo foi identificar características de design de uma sequência didática para modelagem de termorregulação em vertebrados terrestres usando o videogame educacional Calangos. Através da reflexão, destaca-se a importância da natureza colaborativa do EDR entre pesquisadores e professores, estabelecendo uma relação sinérgica entre a pesquisa, o design e o processo de ensino em correspondência com a dinâmica escolar das instituições de ensino.

Palavras-chave: pesquisa de design educacional; sequência didática; ensino e aprendizagem; inovação educacional.

INTRODUCCIÓN

El educational design research – EDR (investigación de diseño educativo) es un proceso sistemático de análisis, diseño y evaluación de intervenciones en el contexto educativo, que tiene como propósito generar soluciones, basadas en la investigación, a problemas complejos en la práctica educativa, y avanzar en el conocimiento de las características de las intervenciones, así como de sus procesos de diseño y desarrollo (PLOMP 2013). Es decir que mediante este tipo de investigación se desarrollan o validan teorías sobre enseñanza específicas para dominio bien demarcado de la práctica pedagógica (VAN DEN AKKER, 1999; PLOMP & NIEVEEN, 2009; MOLINA et al. 2011); se crean intervenciones didácticas y modelos de

diseño teóricos siguiendo un proceso de diseño, comprensión, definición, concepción, creación, prueba y presentación en el que se integran de forma recursiva diversas técnicas de investigación para buscar solución empírica a problemas educativos (MATTHEW W ET AL., 2018).

Se trata de un tipo de investigación con múltiples orígenes históricos (BAKKER 2018) que se consolidó entre los años 1990 y 2000; época desde la cual ha venido ganando amplio interés en las ciencias de la educación por sus particularidades que responden a la necesidad de enfoques que aborden las especificidades de los diversos contextos y fenómenos educativos. El EDR posibilita el desarrollo de intervenciones en cooperación con otros profesionales, en contextos y situaciones reales mediante un proceso flexible que se va adaptando a las necesidades y dinámicas; está estructurada para explorar y responder de acuerdo con las realidades de la enseñanza y el aprendizaje, permite comprender cómo se diseña una intervención, construir teorías sobre qué funciona, en qué contextos, en qué condiciones y por qué (BAKKER 2018; VAN DEN AKKER, 1999; PLOMP & NIEVEEN, 2009).

Precisamente, en la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Naturales se enfrentan diversas dificultades asociadas con la naturaleza misma del conocimiento científico, con la complejidad de cada uno de los fenómenos que son abordados en el aula, con los procesos de razonamiento involucrados en su comprensión, así como las especificidades de los contextos educativos. Particularmente, en la biología existen visiones aisladas y fragmentadas de fenómenos. Con frecuencia, los estudiantes presentan dificultad para hacer razonamientos sobre sistemas (TRUJILLO et al. 2015) y entender los mecanismos individuales que son parte de otros globales (CASTRO & VALBUENA, 2007; VERHOEFF et al., 2008; (SVOBODA & PASSMORE, 2013) Especialmente, en la regulación de la temperatura, los estudiantes identifican las consecuencias y respuestas ante la pérdida de la estabilidad, es decir, la razón próxima que conduce al cambio, pero ignoran los procesos fisiológicos que producen el fenómeno (BUDDING 1996; ASSARAF et al. 2013)

Termorregulación es un concepto de interés didáctico, una problemática educativa que se estudió desde el educational design research (EDR) en la investigación desarrollada por Daza-Pérez (2018) cuyo objetivo fue identificar características de diseño de una secuencia didáctica (innovación educativa) para la enseñanza de la biología en la educación básica secundaria apoyada en la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres usando el videojuego educativo Calangos (LOULA et al. 2014).

Así, con el propósito de brindar elementos que contribuyan en los procesos de diseño de intervenciones didácticas en Ciencias Naturales, específicamente en biología, el presente documento describe detalles relevantes del proceso de aplicación y reflexiones sobre el EDR para la fase de investigación preliminar y el primer ciclo de la fase de prototipado en la investigación citada anteriormente.

¿CÓMO SE APLICÓ EL EDUCATIONAL DESIGN RESEARCH (EDR)?

Se siguieron las tres etapas principales de la investigación de diseño (Investigación preliminar, Prototipado, Evaluación retrospectiva) como se indica en la figura 1. Fueron propuestos dos prototipos de la secuencia didáctica, evaluados y reformulados en dos ciclos de la fase de prototipado.

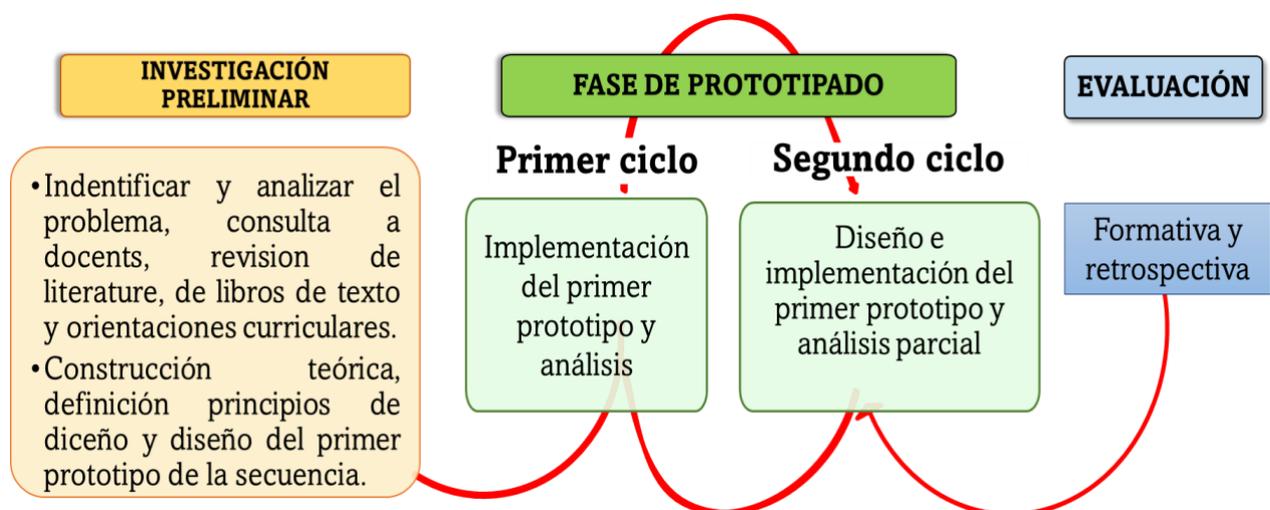


Figura 1. Etapas de la investigación. Fuente: Daza-Pérez, 2018.

Investigación preliminar

De acuerdo con los planteamientos del EDR, la investigación preliminar se centra en el análisis exhaustivo del contexto y del problema junto con el desarrollo de un marco conceptual basado en la revisión de la literatura. En tal sentido, la investigación preliminar, se desarrolló en cinco subetapas secuenciales en las que se emplearon diferentes métodos de recopilación y análisis de datos (Tabla 1). Se analizó el concepto de termorregulación desde punto de vista didáctico mediante revisión de literatura, de algunos libros de texto y orientaciones curriculares.

Tabla 1. Actividades desarrolladas en la investigación preliminar.

Subetapa	Método de recopilación la información	Propósito
1. Revisión de literatura especializada	Búsqueda en bases de datos ERIC, Scielo, Redalyc, Dialnet, Latindex e Google Académico □ términos ‘thermoregulation’, ‘temperature regulation’, ‘thermal regulation’, ‘termorregulación’, ‘regulación de la temperatura’, ‘termorregulação’, ‘regulação da temperatura’, ‘homeostasis’ ‘homeóstasis’ y ‘homeostase’.	Delimitación del problema y referentes teóricos
2. Cuestionario y entrevista a profesores de básica secundaria.	Cuestionario en el aplicativo Google Forms □ resuelto por 16 profesores de Ciencias Naturales de 11 municipios de Colombia. Cinco preguntas: si enseñaban termorregulación en animales, el grado en el cual lo enseñaban, los conceptos con los cuales lo asociaban, y los libros de texto que empleaban en sus clases.	Identificar conexiones didácticas con otros conceptos y libros de texto usados
3. Revisión de orientaciones curriculares y libros de texto.	Orientaciones curriculares: estándares básicos de competencia en Ciencias Naturales, las orientaciones del ICFES (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior) sobre la evaluación nacional (Pruebas Saber) y Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) Libros de texto empleados por los docentes encuestados en subetapa 2.	Identificar si se aborda el concepto de termorregulación y conexiones que establece. Identificar secuencia de temas para identificar el nivel o grado donde se implementaría la secuencia.
4. Análisis didáctico del concepto de termorregulación.	Revisión de artículos que explican el fenómeno	Identificar elementos centrales del fenómeno que serían abordados en la secuencia. Estructurar un modelo didáctico (diagrama) sobre termorregulación. El diagrama fue sometido a evaluación por tres expertos en fisiología animal y humana.
5. Definición de principios de diseño.	Discusión con los profesores nueve profesores de Ciencias Naturales del grado noveno de las instituciones donde se implementó la secuencia.	Recolectar ideas y propuestas para diseñar la secuencia.

Fuente: Elaboración propia.

Se discutió con los profesores de biología, química y física de los grupos donde se implementó la secuencia sobre los aspectos del fenómeno que serían abordados en la secuencia; el grado y momento de la planeación más apropiado para abordar la temática; las conexiones que debían ser establecidas con otros conceptos; los componentes, estructura e interrelaciones de un modelo didáctico que abordara termorregulación como mecanismo homeostático; las características básicas que debía seguir la secuencia y, cómo y en qué actividades de la secuencia se emplearía el videojuego Calangos.

Desde reflexiones sobre estas cuestiones se definieron los criterios de justificación en las dimensiones epistemológica, cognitiva y didáctica; los objetivos de la secuencia, su alcance de enseñanza y aprendizaje, los aspectos sustantivos y procedimentales de ocho principios de diseño y las actividades del primer prototipo de la secuencia que puede ser consultada en Daza-Pérez & Niño El-Hani (2022) y en Daza-Pérez (2018).

Los resultados de la recisión de literatura, el análisis y delimitación del problema otorgaron al estudio validez de contenido, particularmente por el estado del arte mediante el cual se puso de manifiesto la necesidad de diseñar la secuencia didáctica y se establecieron los elementos teóricos para diseñar el primer prototipo. El desarrollo secuencial de las subetapas y el uso de las diferentes fuentes de información permitió profundizar en el análisis didáctico del fenómeno y elaborar un modelo didáctico para la enseñanza de termorregulación en vertebrados terrestres a nivel de básica secundaria (DAZA-PÉREZ & NIÑO EL-HANI, 2019) que fue validado por expertos. Es un elemento importante para la comprensión del fenómeno que fue incluido en el segundo prototipo de la secuencia didáctica.

En esta etapa, en el análisis de las particularidades del contexto se revisó información general sobre condiciones socioeconómicas y familiares de los estudiantes que participaron en el estudio, los resultados del desempeño en Ciencias Naturales según resultados de evaluación de los profesores de las instituciones a las que pertenecen y la evaluación aplicada por el estado. También se identificaron las concepciones sobre termorregulación, pero no se analizaron otros aspectos como sus dinámicas de trabajo en equipo, capacidad de escucha; no se indagó por conceptos que debían comprender para abordar termorregulación como: adaptaciones, metabolismo, energía térmica, vías de pérdida o ganancia de energía térmica, etc. En ese sentido, no se atendió plenamente a una de las características del EDR que tiene que ver con el análisis exhaustivo del contexto por lo que la posibilidad de responder a la complejidad de la enseñanza y aprendizaje de este tipo de fenómenos y de presentar una explicación profunda de por qué algunas características de la secuencia si favorecieron los propósitos de aprendizaje y por qué otras no; el explorar y responder de acuerdo la realidad (MCKENNEY & REEVES, 2019) y con ello aumentar la validez de la secuencia, se redujo en esta primera etapa.

Así, mismo el proceso de integración de los profesores en la investigación desde una concepción de comunidad de profesionales que analizan una situación problema y también participan en la revisión teórica fue débil. Precisamente uno de los objetivos de la secuencia es la de promover visiones integrales del fenómeno a partir de abordajes interdisciplinarios que serían presentados desde la física, la química y la biología, áreas orientadas por el grupo de profesores que orientaban en grado noveno y que participaron en el estudio, sin embargo, las dinámicas laborales y otros factores inexplorados redujeron la posibilidad de consolidar espacios de diálogo, análisis del fenómeno y construcción teórica como lo propone el EDR y ha sido abordado con suficiencia en varios estudios como los de: COSTA (2017), SARMENTO, A. et al. (2013), VALDERRAMA-PÉREZ, D. F. (2016). Las innovaciones propuestas en sus estudios emergieron de situaciones educativas discutidas desde comunidades de profesionales en práctica (COSTA, 2017; SARMENTO, A. 2013) y en espacios de diálogo con miembros de comunidades educativas locales (VALDERRAMA-PÉREZ, 2016) que también favorecieron la pertinencia, la calidad y el progreso de la investigación en la enseñanza de las ciencias.

Fase de prototipado

La secuencia didáctica se implementó en dos ciclos o fases de prototipado, en cuatro colegios oficiales de Colombia. En el primer ciclo participaron 65 estudiantes de último grado de educación básica secundaria (grado noveno) y tres profesores de Ciencias Naturales de esos grados; en el segundo ciclo participaron y 244 estudiantes también de grado noveno (tres colegios diferentes) junto con los seis profesores de Ciencias Naturales de esos estudiantes.

En el primer ciclo, la secuencia fue implementada en 11 encuentros (15 horas) (Tabla 2) en la clase de Ciencias Naturales, siguiendo el horario oficial definido por la institución, dentro de la programación regular de la asignatura. Las actividades fueron incluidas desde el comienzo del año en la planeación del área en conexión con las temáticas: adaptaciones, nutrición y metabolismo, previamente definidas en el plan de área de las docentes titulares.

Participaron dos docentes, responsables de enseñar Ciencias Naturales en noveno grado una docente con formación en física y otra con formación en microbiología. La docente con formación en microbiología solo participó en la mitad del proceso de implementación, luego fue reemplazada por un profesional en química con seis años de experiencia como docente de básica secundaria. Esta situación limitó la integración de los docentes en el desarrollo de las actividades, también el desarrollo de algunas actividades que debieron ser desarrolladas por la investigadora.

Igual que en la fase anterior, el carácter colaborativo del EDR mediante el cual se valoriza el saber docente y se contribuye con la disminución los límites de las teorías educativas para la construcción de intervenciones fue limitado. En este caso los propósitos en términos de resolución de problemas de la

práctica de los docentes que participaron en el estudio no fueron los esperados. Mientras que los relacionados con las características de la secuencia, así como la secuencia en sí, fueron alcanzados.

Tabla 2. Etapas de implementación del primer prototipo de la secuencia didáctica.

Etapa	Actividades	Duración (horas)	N. Estudiantes	Orientado por
1	Test previo sobre termorregulación	1.5	Individual	Docente titular
2	Qué son y cuál es el papel de los modelos en la ciencia. Discusión en parejas sobre guía de trabajo, sesión expositiva por parte de la investigadora.	1	Grupal (2 estudiantes)	Investigadora
3	Conocer Calangos - Jugar libremente. Los estudiantes jugaron sin guía de trabajo.	0.5		Investigadora
4	a. Explorar conceptos básicos. Actividad guiada por preguntas y orientada por la docente. Aborda cuestiones básicas sobre homeóstasis, metabolismo, pérdida y ganancia de energía térmica. b. Presentar el objetivo del modelo. Fue presentado en conexión con la discusión anterior.	1.5		Profesora del área e investigadora
5	Tener experiencias con el objeto a modelar. Los estudiantes usaron el videojuego y desarrollaron una guía de trabajo con preguntas orientadoras.	3		Profesora del área e investigadora
6	a. Crear un modelo mental sobre termorregulación. b. Expresar algunas ideas que ayudaran a definir ese modelo mental y registrarlas en una hoja.			Grupal. 2 Estudiantes
7	a. Reproducir modelo mental construido en las duplas. b. Unirse con otra dupla, discutir los modelos y elaborar un solo modelo.		Grupal. 2 y 4 Estudiantes	Profesora del área
8	Experiencias mentales. Desarrollo de guía con preguntas orientadoras. Ajustar modelo. Los estudiantes debían expresar y escribir qué cambios harían en sus modelos a partir de lo analizado en las preguntas.	1	Grupal. 4 Estudiantes	Profesora del área
9	Evaluar el modelo a través de experimentos. Guía de apoyo. Experiencia de observación sobre el propio cuerpo y diseño de experiencia usando Calangos. Ajustar modelo.	3		Profesora del área
				Investigadora
10	Socialización del modelo - comparar con diagrama termorregulación.	2	4 Estudiantes e individual	Investigadora
11	Test final.	1	Individual	Profesora del área

Fuente: DAZA-PEREZ, 2018.

En esta etapa también se emplearon diversas técnicas de recolección de información (Tabla 3) que permitieron reunir un alto volumen de datos cuyo análisis fue formalizado durante la recolección y el mismo proceso de análisis. En este caso, no existe una delimitación marcada entre la fase de prototipado y la fase de evaluación por la naturaleza misma de tipo retrospectivo. En consecuencia, el análisis que corresponde a esa tercera fase o fase de evaluación retrospectiva se desarrolló atendiendo a las preguntas de la investigación incluyendo dos preguntas no contempladas desde el inicio: ¿Qué habilidades asociadas con la elaboración de modelos son manifestadas? y ¿Qué niveles de análisis de gráficas son expresados?, desde las cuales se exploraron otros alcances de aprendizaje no previstos en el diseño del primer prototipo de la secuencia.

Tabla 3. Relación entre las preguntas, instrumentos y métodos de análisis de la información recolectada.

Pregunta	Instrumento	Metodología de análisis datos recolectados
----------	-------------	--

1. ¿Cuáles actividades contribuyen con los objetivos de la secuencia?	Documentos producidos en cada actividad de la secuencia (Guías de trabajo de cada actividad).	Codificación abierta - categorías según frecuencia de aparición de términos
2. ¿Cuáles son las características de los modelos construidos por los estudiantes?, Entre ellas, ¿cuáles evidencian una comprensión de la termorregulación como mecanismo homeostático?, ¿Cuáles son consistentes con visiones integrales de los fenómenos biológicos?	Los modelos expresados.	Matriz adaptada de Buckley y Boulter (2000) y Glennan (2005) y evaluada por Rosaría Justi en el curso de esta investigación (Tabla 7)
3. ¿Qué habilidades asociadas con la elaboración de modelos son manifestadas?	Documentos producidos en cada actividad de la secuencia (Guías de trabajo de cada actividad).	Criterios definidos por Maia (2009). Codificación abierta - categorías según frecuencia de aparición de términos.
4. ¿Qué niveles de análisis de gráficas son expresados?	Documentos producidos en las actividades 4 y 8 de la secuencia.	Rúbrica para interpretación de gráficas propuesta por Boote (2014), la cual se basa en la teoría de puntuación de Bertin (1983)
5. ¿Qué dificultades en relación con la enseñanza son observadas durante la implementación de la secuencia?	Videos, registros de diario de clase.	Transcripción y análisis de episodios a partir de los videos. Triangulación de datos con registros en diario de clase. Episodios: espacios de interacción entre estudiantes y estudiantes con profesor sobre las cuestiones concretas de cada actividad. No análisis de relevancia de cada episodio a partir de mapa de eventos debido a las limitaciones en cuanto a la recolección ya citadas.
6. ¿Qué indicaciones se derivan de los procesos de análisis de la enseñanza y aprendizaje para ajustar la secuencia? y a partir de ello, ¿qué otros principios de diseño emergen?	Observaciones y registros durante la implementación y los demás instrumentos empleados.	La pregunta es abordada a partir del análisis de las anteriores.

Fuente: DAZA-PEREZ, 2018.

Fue un ejercicio de adaptación de la investigación que brindó información para ajustar las actividades y principios de diseño del primer prototipo de la secuencia que puede ser consultada en DAZA-PEREZ (2018) y aproximarse a una mayor comprensión de la problemática educativa en el contexto. Las mismas condiciones de aplicación como la desarticulación de los profesores, la dispersión del grupo, los horarios de clases que se modificaban por cuestiones internas o externas propias de una institución educativa, condujeron a replantear métodos definidos sin alterar el propósito de la investigación gracias a que el EDR responde al contexto y es flexible. En el EDR, no se trata de tener un plan inalterable, sino de adaptarlo cuando sea necesario porque no pretende silenciar la complejidad de los contextos de enseñanza y aprendizaje, sino explorar y responder de acuerdo con estas realidades (MCKENNEY & REEVES, 2019)

Desde el punto de vista procedimental se observó que es pertinente desarrollar la primera fase de prototipado con grupos de menor número de estudiantes a modo de estudio de caso con el fin de tener mayor profundidad en el análisis de las variables involucradas, reducir el volumen de información, evitar desgaste de tiempo, recursos económicos y recolección de información irrelevante que genera ruido en la investigación. Aunque el EDR pretende caracterizar el contexto y situación con profundidad, las dinámicas escolares son complejas y están afectadas por diversas situaciones eventuales de manera que es fundamental identificar los elementos que van a ser objeto de estudio y los otros que pueden ser ocasionales o se asumen como condiciones del entorno (BARAB & SQUIRE, 2004; COBB et al., 2003). Por ejemplo, en esta primera etapa el modelo didáctico para la enseñanza de la termorregulación propuesto en la investigación preliminar apenas fue mencionado, pero no fue objeto de análisis para evitar sesgos de los estudiantes en los procesos creativos de formulación, solo a partir de los resultados de la segunda fase de prototipado se plantea un análisis más profundo del modelo en el aula, luego de que los estudiantes hayan socializado sus modelos.

CONCLUSIÓN

Los principios del EDR fueron adecuados para los propósitos del estudio y favorecieron el diseño de la secuencia didáctica o innovación educativa cuyo alcance de enseñanza y aprendizaje responde a problemáticas específicas en el campo de las Ciencias Naturales.

Aunque el trabajo colaborativo e interdisciplinar con el equipo de profesores que participaron en el estudio no se consolidó conforme a los propósitos del EDR, se puso de manifiesto el potencial del EDR para conectar investigación educativa con el ejercicio docente; para promover espacios de análisis de conceptos científicos y favorecer procesos de transposición didáctica; para integrar profesionales de diferentes disciplinas o campos del saber de manera que se favorezcan prácticas educativas soportadas en la interdisciplinariedad.

La reflexión sobre el proceso de aplicación del EDR así como los resultados de la investigación también permiten reconocer la importancia de integrar en un análisis de las dinámicas escolares, los procesos curriculares, los elementos que cada institución y/o profesores tienen en cuenta en sus procesos de planeación así como la planeación para construir innovaciones educativas más efectivas, no se trata solo de analizar el problema desde el punto de vista didáctico sino también desde la complejidad de las instituciones educativas. Igualmente, considerar el estudio de caso como método de investigación a seguir en el primer ciclo de la fase de prototipado.

REFERENCIAS

- Assaraf O., Dodick J., Tripto J. (2013). *High school students' understanding of the human body system*. Res Sci Educ 2013; 43:33-56.
- Barab, S. y Squire, K. (2004). *Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground*. Journal of the Learning Sciences, 13(1), 1-14.
- Bakker, A. (2018). *What is design research in education?* 1. In Design research in education (pp. 3-22). Routledge.
- Boote, S.K. (2014). Assessing and understanding line graph interpretations using a scoring rubric of organized cited factors. Journal of Science Teacher Education, 25(3), 333-354.
- Buddingh, J. (1993). *Students' Personal Knowledge of Regulation and Homeostasis: Pioneering in Biology Classrooms*. In: The proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics, misconceptions, Trust: Ithaca, NY, 1993.
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 105–122). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. y Schauble, L. (2003). *Design experiment in Educational Research*. Educational Researcher, 32(1), 9-13.
- Costa, V.S. *Trazendo a macroevolução para a sala de aula: ensinando biologia evolutiva de forma pluralista e integrada*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), UFBA/UEFS, 2017.
- Sarmiento, A. C. D. H., Muniz, C. R. R., Silva, N. R. D., Pereira, V. A., Santana, M. A. D. S., Sá, T. S. D., & Niño El-Hani, C. (2013). Investigando princípios de design de uma sequência didática sobre metabolismo energético. *Ciência & Educação*, 19(03), 573-598.
- Castro, J. & Valbuena E. (2007). *¿Qué biología enseñar y cómo hacerlo? Hacia una resignificación de la biología escolar*. Tecné, Episteme y Didaxis, 22, p.126 – 145.
- Daza, E. y El-Hani, C. N. (2019). *Termorregulación en vertebrados terrestres como concepto integrador explícito en la enseñanza de las ciencias naturales*. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte). 21.
- Daza-Pérez, E. D., & Niño El-Hani, C. N. (2022). *Aciertos y desaciertos en la implementación del design research para el desarrollo de una innovación educativa en biología*. New Trends in Qualitative Research, 12, e729-e729.
- Daza-Pérez, E. P. (2018). *Enseñando sobre termorregulación mediante modelización apoyada en el videojuego Calangos: diseño y evaluación de una innovación educativa*. (Tesis de doctorado). Universidad Federal de Bahía/Universidad Estatal de Feira de Santana. Salvador e Feira de Santana, BA. Recuperado de:
- Glennan, S. (2005). Modeling mechanisms. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36, 443–464.

- Guimarães, Y. y Giordan, M. (2013). Elementos para Validação de Sequências Didáticas. Atas, do IX encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, Águas de Lindóia: ABRAPEC.
- Loula, A.C., Castro, L.N., Apolinario J.R., Rocha, P.L.B., Carneiro, M. C., Reis, V. P., Machado, R. F., Sepulveda, C. y El-Hani, C. N. (2014). Modeling a Virtual World for Educational Game Calangos. *International Journal of Computer Games Technology*, 1-14.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31 (5), 603–630.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2018). *Conducting educational design research*. Routledge.
- Matthew E., Lewis, R., Daniel G.; Gerber, e. (2018). *The Logic of Design Research*. *Learning: Research and Practice*, (4), 131-160.
- MéHeut M. (2005) Teaching-Learning Sequences Tools for Learning and/or Research. In: Boersma K., Goedhart M., de Jong O., Eijkelhof H. (eds) *Research and the Quality of Science Education*. Springer, Dordrecht.
- Molina, J. y Castro, E. (2011). *Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza*. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 75–88.
- Plomp, T. (2013). *Educational design research: An introduction*. *Educational design research*, 11-50.
- Plomp, T. y Nieveen, N. (2013). *References and Sources on Educational Design Research*. In J. Van den Akker, N. Nieveen, R. M. Branch, K. L. Gustafson & T. Plomp (Eds.) *Design methodology and developmental research in education and training* (pp. 1–14). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Svoboda, J. & Passmore, C. (2013). *The Strategies of Modeling in Biology Education*. *Science & Education*, 22, 119–142.
- Trujillo, C. M., Anderson, T. R., & Pelaez, N. J. (2015). *A model of how different biology experts explain molecular and cellular mechanisms*. *CBE—Life Sciences Education*, 14(2), ar20.
- Valderrama-Pérez, D. F. (2016). *Diálogo entre conhecimentos científicos escolares e tradicionais em aulas de ciências naturais: intervenção e pesquisa na comunidade de Taganga (Magdalena-Colômbia)*. (Tese de doutorado). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana. Salvador e Feira de Santana, BA. Recuperado de <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/24734>.
- Van den Akker, J. (1999). *Principles and methods of development research*. *Design approaches and tools in education and training*, 1-14.
- Verhoeff, R., Waarlo, A. & Boersma, K. (2008) *Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology*. *International Journal of Science Education* 30: 543–568.