



Aciertos y desaciertos en la implementación del design research para el desarrollo de una innovación educativa en biología

Erika Daza Pérez, Charbel Niño El Hani

Resumen: Se presentan resultados de una investigación de diseño (design research), de tipo estudio de desarrollo cuyo objetivo central fue identificar principios de diseño de una secuencia didáctica para el aprendizaje de termorregulación en vertebrados terrestre mediante la modelización del fenómeno como mecanismo biológico. Se siguieron tres etapas centrales: investigación preliminar, prototipado y evaluación retrospectiva. La intervención, es decir la secuencia didáctica, en su primer prototipo fue diseñada en un grupo colaborativo de profesores en ejercicio y atendiendo a ocho principios, luego fue aplicada y reformulada iterativamente (dos ciclos) en función del objetivo educativo propuesto. En la investigación preliminar, etapa de la cual se presentan resultados en el presente escrito, se definieron los criterios de justificación, objetivos de la secuencia, y se identificaron aspectos sustantivos y procedimentales de nueve principios de diseño para la secuencia. Durante ese proceso se reflexionó sobre la pertinencia de la investigación de diseño (design research) como referente metodológico y a partir de ello, se identificó que la participación colaborativa de los profesores de básica secundaria en ejercicio, es central en el desarrollo de este tipo de innovaciones educativas y constituye un elemento central para disminuir las brechas entre la comunidad de especialistas, los resultados de investigaciones y el ejercicio de aula. También se reconoció que la recolección de extensos registros genera amplia variedad de aspectos observables que limita el análisis y puede afectar la consecución del objetivo educativo y de investigación. Se sugiere desarrollar la primera fase de prototipado en este tipo de estudios, con grupos de menor número de personas a modo de estudio de caso para delimitar atributos objeto de análisis en función del objetivo educativo.

Palabras clave: Desing research; Modelos de mecanismos; Secuencia didáctica; Termorregulación.

Successes and failures in the implementation of design research for the development of an educational innovation in biology

Abstract: The results of a design research, of the development study type, whose main objective was to identify design principles of a didactic sequence for the learning of thermoregulation in terrestrial vertebrates by modeling the phenomenon as a biological mechanism, are presented. Three central stages were followed: preliminary research, prototyping and retrospective evaluation. The intervention, i.e. the didactic sequence, in its first prototype was designed in a collaborative group of practicing teachers and according to eight principles, then it was applied and reformulated iteratively (two cycles) according to the proposed educational objective. In the preliminary research, the stage of which results are presented in this paper, the justification criteria and objectives of the sequence were defined, and substantive and procedural aspects of nine design principles for the sequence were identified. During this process, the relevance of design research as a methodological reference was reflected upon, and from this, it was identified that the collaborative participation of practicing secondary school teachers is central in the development of this type of educational innovations and constitutes a central element to reduce the gaps between the community of specialists, the results of research and classroom practice. It was also recognized that the collection of extensive records generates a wide variety of observable aspects that limits the analysis and may affect the achievement of the educational and research objective. It is suggested to develop the first prototyping phase in this type of study with smaller groups of people as a case study to delimit the attributes to be analyzed according to the educational objective.

Keywords: Desing research, Mechanism models; Teaching-Learning Sequences; Thermoregulation.

1. Introducción

Mediante la investigación de diseño educacional (*educational design research*) se diseñan, desarrollan, evalúan y perfeccionan intervenciones educativas como solución a problemas en la práctica educativa, así como para avanzar en el conocimiento de las características de estas intervenciones, y los procesos de diseño y desarrollo de las mismas, con el propósito de desarrollar o validar teorías sobre enseñanza específicas para dominio bien demarcado de la práctica pedagógica (Van Den Akker, 1999; Plomp y Nieveen, 2013; y Castro 2011).

La investigación de diseño como una metametología, permite crear intervenciones prácticas y modelos de diseño teóricos a través un proceso de diseño, comprensión, definición, concepción, creación, prueba y presentación, mediante el uso recursivo de diversos procesos de investigación para buscar soluciones empíricas a problemas educativos (Matthew et al., 2018). Desde esa perspectiva, el estudio que expone el presente artículo tuvo como objetivo, identificar características de diseño de una secuencia didáctica para la enseñanza de la biología en la educación básica secundaria apoyada en la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres. Siguió los fundamentos de la investigación de diseño, de tipo estudio de desarrollo, buscando resolver un problema educativo que integra tres elementos importantes en el aprendizaje de la biología: termorregulación como mecanismo homeostático, la elaboración de modelos en el aula y el videojuego educativo Calangos.

Termorregulación, es un concepto no explícito, tratado de forma aislada en la enseñanza de la biología a nivel de la educación básica secundaria, pese a que constituye un contexto apropiado para explicar la homeostasis y establecer relaciones con conceptos como adaptación, evolución, mecanismos de intercambio de energía, calor y temperatura (Daza-Pérez y N. El-Hani, 2019) por lo que un abordaje en el aula mediante actividades de modelización apoyadas en el videojuego Calangos (Loula et al. 2014) constituye un elemento con diversas opciones didácticas.

A partir del análisis de la problemática educativa, de los atributos del videojuego y de la elaboración de modelos, fueron propuestos principios de diseño de una secuencia didáctica, cada uno, con un carácter sustantivo cuando se refieren a características generales de la intervención, o procedimental, cuando se trata de las características la aplicación de la intervención en un aula específica y son analizados mediante su implementación a la vez que se exploran otros.

Así, siendo la secuencia didáctica una unidad de intervención constituida por actividades no aditivas sino articuladas, inter-relacionadas que siguen un encadenamiento coherente con un objetivo de aprendizaje, su construcción y perfeccionamiento constituyen un proceso sistemático de discusión, revisión, evaluación y ajuste en función del objetivo de aprendizaje, así como de las formas en que esta debe ser desarrollada en el aula (Guimarães y Giordan, 2013).

En este proceso de implementación y evaluación retrospectiva también fueron identificadas algunas limitaciones en la aplicación de los principios teóricos del design research que son presentados de forma integrada con los resultados derivados de la investigación. Por tanto, en el siguiente apartado se describen los métodos y principales resultados de la fase I (investigación preliminar), desde una postura reflexiva en relación con los aciertos y desaciertos en la implementación del design research.

2. Identificando principios de diseño

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, evaluados y reformulados en dos microciclos (fase de prototipado).

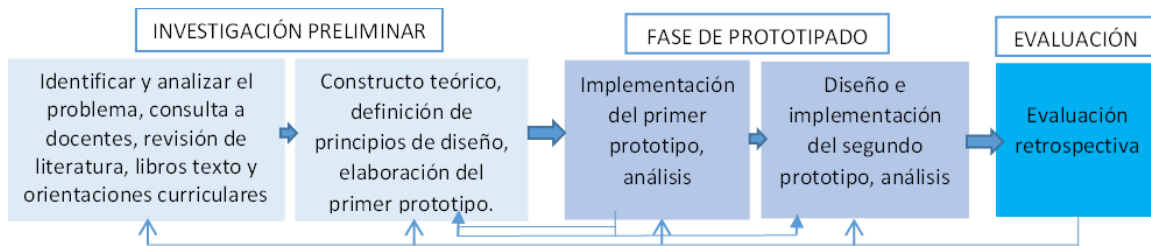


Figura 1. Etapas de la investigación.

En la primera etapa, investigación preliminar se estudió la problemática educativa y los referentes teóricos, en cinco actividades centrales: a. Revisión de literatura especializada, b. Cuestionario y entrevista a profesores de básica secundaria, c. Revisión de orientaciones curriculares y libros de texto, d. Análisis didáctico del concepto de termorregulación, y, d. Definición de principios de diseño. Los resultados de cada etapa y detalles de cada son descritos por: Daza-Pérez y N. El-Hani (2019).

Se analizó el concepto de termorregulación desde punto de vista didáctico mediante revisión de literatura, de algunos libros de texto y orientaciones curriculares. 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, emergieron los principios de diseño para la elaboración del primer prototipo de la secuencia didáctica y fue definido un modelo didáctico para la enseñanza de termorregulación en vertebrados terrestres a nivel de básica secundaria (Daza-Pérez y Niño El-Hani, 2019)

Atendiendo al carácter del problema educativo que se abordó en cuanto a los elementos que integra, así como los planteamientos centrales del design research, en el desarrollo de esta etapa fue fundamental el trabajo cooperativo con profesores titulares de física, química y biología en los grupos donde se implementó la secuencia (9) quienes aportaron elementos propios de la organización, de las actividades en el aula, así como de la recolección de la información.

A la luz de los resultados y dificultades en las siguientes actividades, se considera que esta integración y participación debe ser fundamental dado que un fin central de tipo de estudios es generar recursos didácticos y teorías que deben ser comprendidas por los profesores en ejercicio, se trata también de disminuir las brechas entre las teorías educativas y el ejercicio de aula. Una desarticulación de los profesores en todo el proceso disminuye el potencial didáctico que pueda tener el recurso y teoría que se genere en el estudio, posiblemente los profesores no logren comprender completamente algunos elementos, no identifiquen posibles adaptaciones para otros grupos; al ser desintegrados su compromiso con el uso de estas innovaciones será reducido.

El estudio teórico también fue profundo y en ese mismo emergió el modelo didáctico que si bien fue revisado por los profesores careció de una revisión más profunda a modo de estudio de caso como propone Van den Akker (1999) con el fin de que las actividades que se plantearon para el primer prototipo de la secuencia con el uso del modelo didáctico para la enseñanza de la termorregulación en aula, fuera maximizado en función del objetivo de aprendizaje, evitando desgaste de tiempo, recursos económicos y recolección de información irrelevante que genera ruido en la investigación y el análisis de datos correspondiente.

En el caso particular de este estudio, los profesores no participaron activamente en todas las etapas, solamente en esta primera etapa de investigación preliminar por lo que varias limitaciones (dispersión del grupo, las dificultades en la conformación de grupos de trabajo) que surgieron con el trabajo en el aula durante la implementación de las actividades de la secuencia pudieron ser reducidos. No obstante, la revisión teórica desarrollado de manera simultánea y fortalecida con las observaciones y comentarios de los profesores permitió definir los criterios de justificación (Tabla 1) y objetivos de la secuencia (Tabla 2), que fueron centrales para plantear los principios de diseño (características) (Tabla 3).

La secuencia fue proyectada para el grado noveno de la educación básica secundaria, teniendo en cuenta que los planes de área de ciencias naturales de las instituciones educativas que participaron en la investigación, así como los estándares básicos de competencia y libros didácticos indican que, en ese nivel, se abordan conceptos básicos como energía, temperatura, calor, metabolismo, adaptaciones, sistemas orgánicos (nervioso, circulatorio, endocrino), entre otros, y los estudiantes han de tener habilidades básicas para trabajar con mayor profundidad con modelos.

Los docentes titulares reconocieron que focalizarse en este grado sería importante porque contribuye con la integración y recapitulación de conceptos de química, física y biología que son elementales para ingresar a la educación media. También porque al culminar la formación básica el Instituto Colombiano para el Avance de la Educación Superior (ICFES) evalúa a los estudiantes mediante las pruebas saber y una temática central en estas pruebas tiene que ver con homeóstasis. En coherencia con las orientaciones curriculares de Colombia establecidas para ese grado, la secuencia tiene conexión con las siguientes acciones de aprendizaje, como son definidas por los estándares básicos de competencia:

- a. Comparación de sistemas de órganos de diferentes grupos taxonómicos.
- b. Explicación de la importancia de las hormonas en la regulación de las funciones en el ser humano.
- c. Explicación de las condiciones de cambio y conservación en diversos sistemas, teniendo en cuenta transferencia y transporte de energía y su interacción con la materia.
- d. Reconocimiento de que los modelos de la ciencia cambian con el tiempo y que varios pueden ser válidos simultáneamente.
- e. Proposición de modelos para predecir los resultados de experimentos.
- f. Establecimiento de relaciones causales y multicausales entre los datos recopilados.

Además de esta correspondencia curricular, la secuencia atiende criterios de justificación en las dimensiones epistemológica, cognitiva y didáctica, que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de justificación a priori de la secuencia didáctica conforme a la propuesta de Méheut (2005), en tres dimensiones educativas.

Dimensión Epistemológica	<p>Necesidad de que los estudiantes comprendan termorregulación como mecanismo homeostático. También la de proporcionar espacios que les permitan sumergirse en contextos de actividad científica mediante actividades de modelización.</p> <p>Termorregulación es un concepto que permite interdisciplinariedad e integración de contenidos. Por ejemplo, conceptos básicos en la comprensión de termorregulación, como energía térmica, temperatura y calor, son esenciales en la física y la química. A nivel de la biología integra conceptos sobre sistemas, adaptaciones, entre otros.</p> <p>La secuenciación de las actividades, así como el fenómeno objeto de estudio, posibilita a los estudiantes superar visiones aisladas de los fenómenos que hacen parte del estudio de las ciencias biológicas.</p>
Dimensión Cognitiva	<p>La secuencia permite a los estudiantes abordar desde el contexto de un fenómeno biológico conceptos que han sido abordados (morfología y fisiología de los vertebrados, adaptaciones, evolución, calor, temperatura, energía, metabolismo, digestión etc.) y serán abordados en los siguientes grados. También implica el desarrollo de acciones que tienen como propósito fortalecer procesos de pensamiento y acciones propias del quehacer científico.</p> <p>Necesidad de que los estudiantes establezcan relaciones entre los componentes y actividades del mecanismo de termorregulación y la conexión del fenómeno con la homeóstasis, como concepto central en el campo de conocimiento biológico.</p> <p>Los resultados de las pruebas externas aplicadas por el ICFES reflejan dificultades en los estudiantes a nivel de competencias en ciencias naturales, como el uso del conocimiento científico y la indagación, como se detalló en el apartado 3.2.1.</p>
Dimensión Didáctica	<p>A partir de la revisión de los estándares, lineamientos, planes de área y aula, cronograma y reuniones con los docentes titulares, se identificó el espacio temporal, físico y curricular más pertinente para hacer objeto de trabajo la secuencia.</p> <p>La secuencia ha sido diseñada buscando conexión con temáticas de las ciencias naturales, física, química y biología que se enseñan en la básica secundaria. Es consistente con la secuencia curricular de los estándares para estas asignaturas en el grado noveno y permite a los estudiantes involucrarse en actividades de modelización, como lo contemplan las orientaciones curriculares.</p> <p>El uso del videojuego puede facilitar la observación de atributos o procesos, y constituye un factor que contribuye con la motivación. Jugar en parejas disminuye las limitaciones de espacio o carencia de equipos de cómputo.</p>

Tabla 2. Objetivos de la secuencia y su alcance de enseñanza y aprendizaje.

Objetivo de la secuencia <i>Con la secuencia se pretende que los estudiantes:</i>	Alcance de enseñanza	Alcance de aprendizaje
Identifiquen la importancia de la termorregulación en el mantenimiento de la homeostasis.	Promover, a través del estudio de mecanismos homeostáticos, el estudio de la homeostasis como temática central en el campo del saber biológico.	Comprender la termorregulación como un mecanismo homeostático.
Identifiquen acciones que conducen a la pérdida y ganancia de energía térmica en los vertebrados.	Favorecer el estudio de diferentes acciones que permiten la pérdida y ganancia de energía térmica en los vertebrados terrestres.	Identificar diferentes acciones que conducen a la pérdida y ganancia de energía térmica mediante vías físicas como la conducción, convección, radiación y evaporación.
Reconozcan órganos, sistemas, estructuras que participan en la regulación de la temperatura e identifiquen la función de cada uno en este fenómeno.	Generar espacios didácticos para abordar la actividad de órganos, estructuras y sistemas en el contexto de los fenómenos biológicos de los cuales son responsables o con los cuales están asociados.	Reconocer la actividad de órganos, estructuras y sistemas en el contexto de los fenómenos biológicos de los cuales son responsables o con los cuales están asociados.
Establezcan conexiones entre los órganos, sistemas, acciones, estructuras que participan en la regulación de la temperatura.	Promover el estudio de las interrelaciones entre los órganos, sistemas y estructuras en el contexto de los fenómenos biológicos.	Identificar relaciones e interrelaciones entre órganos, estructuras y sistemas en los organismos vivos.
Identifiquen algunas diferencias en la regulación de la temperatura de los vertebrados terrestres y analicen los procesos bioquímicos asociados.	Favorecer el análisis de diferencias fisiológicas entre vertebrados terrestres a partir de los procesos bioquímicos responsables de ellas.	Reconocer diferencias entre los vertebrados terrestres a partir del análisis de los procesos bioquímicos asociados.
Elaboren modelos de termorregulación como mecanismo homeostático y a partir de ello promuevan visiones integrales de los fenómenos biológicos.	Promover la elaboración de modelos de mecanismos como estrategia de aprendizaje para favorecer el desarrollo de visiones integrales de los fenómenos biológicos, comprensión de la actividad de modelaje en la ciencia y fortalecimiento de habilidades científicas.	Fortalecer habilidades para la elaboración de modelos de mecanismos y comprender el quehacer de la ciencia. Promover visiones integrales de los fenómenos biológicos.
Desarrollen o fortalezcan habilidades para la elaboración de modelos.		

Teniendo en cuenta que en la investigación de diseño, los principios deben tener un énfasis sustantivo, lo cual se refiere a un aspecto general de estos principios, con la visión de ser aplicados en diferentes contextos de enseñanza, tal como fueron formulados; y un énfasis procedimental, que se refiere a las especificidades de la adaptación de los principios a contextos particulares de enseñanza, una vez que, sin adaptación, no es posible aplicar los principios y las prácticas docentes que siguen de ellos en situaciones concretas de clase.

Durante la formulación de las características que debía tener la secuencia, y apoyado principalmente en las orientaciones de los profesores, fueron formuladas algunas orientaciones procedimentales que guiaron el proceso de aplicación.

Se consideró que una secuencia didáctica cuyo propósito general sea la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres desde una visión del fenómeno como un mecanismo homeostático, para, a partir de ello, promover habilidades para la actividad científica, ha de atender principios como:

Tabla 2. Aspectos sustantivos y procedimentales de las características de diseño.

Aspectos sustantivos del principio de diseño	Aspectos procedimentales del principio de diseño
1. Seguir las etapas de modelización propuestas en el modelo cognitivo de Justi (2006).	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar sobre lo que son modelos en ciencias y el papel de la modelización en la investigación científica. - No presentar el modelo propuesto por Justi para que sea aprendido o estudiado por los estudiantes, usarlo solamente como guía del docente. - Evitar presentar un modelo sobre termorregulación antes de que los estudiantes elaboren y socialicen el suyo, para no limitar la creatividad.
2. Desarrollar la secuencia de manera que se aborden temáticas como metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía y, generar espacios de discusión antes de iniciar las etapas de modelización, para discutir sobre ellos y sobre la homeóstasis.	<ul style="list-style-type: none"> - Promover discusiones breves que ayuden a recordar los conceptos citados como base para comprender la termorregulación. - Presentar explicaciones concretas y discutir sobre la relación entre la homeóstasis y termorregulación.
3. En cada etapa de la modelización los estudiantes deben tener claridad sobre la finalidad de la misma y recibir las orientaciones pertinentes de manera que las observaciones y discusiones no se desvíen del objetivo que atenderá el modelo.	<ul style="list-style-type: none"> - Presentar y explicar el objetivo del modelo. También orientaciones claras sobre la finalidad y dinámica de cada actividad. - Guiar en el desarrollo de cada actividad, encaminando las discusiones y observaciones sobre aspectos del fenómeno que sean centrales y relevantes para la elaboración del modelo.
4. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización, es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar como propuso Justi (2006).	Apoyarse en el videojuego para que los estudiantes hagan observaciones sobre cómo influyen diversos factores externos en la temperatura del animal, qué respuestas fisiológicas y comportamientos desarrolla el animal, las causas y consecuencias de las diferentes respuestas. También que a partir de ello hagan comparaciones con otras situaciones y otros animales vertebrados.
5. Promover la construcción de modelos consensuados a partir de la revisión colectiva de los modelos expresados individualmente.	Desarrollar actividades grupales con vista a la consensuación de modelos, luego de que cada estudiante haya definido y expresado su modelo mental inicial.
6. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización, es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar como propuso Justi (2006).	<ul style="list-style-type: none"> - Promover y orientar sobre las posibilidades de uso del videojuego en la formulación de actividades experimentales para poner a prueba el modelo. - Combinar el uso del juego con otras actividades de experimentación tradicionales que permitan a los estudiantes analizar situaciones cotidianas, promover análisis comparativo con las observaciones hechas en el videojuego para que propongan explicaciones usando el modelo.
7. Discutir sobre las limitaciones de los modelos “finales” en función del objetivo propuesto, los resultados de las pruebas experimentales y los argumentos que surjan de los estudiantes en los espacios de socialización.	

3. Consideraciones finales



Los principios del design research fueron adecuados para los propósitos del estudio dado su carácter innovador y exploratorio, como se evidencia en los resultados de la fase preliminar. El estudio sistemático de la literatura, así como el análisis didáctico de la problemática educativa con los profesores en ejercicio y los libros de texto, fue fundamental para delimitar los propósitos de la intervención y configurar unos principios de partida y el estudio en sí. La escasa experticia en la aplicación de los principios, así como la cantidad de variables generaron limitaciones en la vinculación, sincronización y configuración de las acciones del equipo colaborativo de docentes en ejercicio. En el análisis de toda la información recolectada y en aspectos asociados con la planeación de la implementación del primer prototipo, es importante que la primera fase sea prevista a modo de estudio de caso.

4. Referencias



- Daza, E. y El-Hani, C. (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.
- 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.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (24),2, 173-84.

- 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.
- 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. 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.
- Van den Akker, J. (1999). Principles and methods of development 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*

Erika Daza-Pérez

Escuela Normal Superior Málaga, Colombia
 <https://orcid.org/0000-0002-7549-9198>
 epdazaperez@gmail.com

Charbel Niño El-Hani

Universidade Federal de Bahia, Brasil
 <https://orcid.org/0000-0002-2308-3983>
 charbel.elhani@gmail.com

Fecha de sumisión: 02/2022

Fecha de evaluación: 04/2022

Fecha de publicación: 07/2022