



RECIBIDO EL 2 DE FEBRERO DE 2022 - ACEPTADO EL 3 DE MAYO DE 2022

Implementación y evaluación de un objeto de aprendizaje en ciencias naturales: el caso de la energía eléctrica

Implementation and evaluation of a Learning Object in natural sciences: the case of electric energy

Alberto Gutiérrez Vásquez¹

Boris Fernando Candela Rodríguez²

Lina Marcela Gallardo Guzmán³

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

RESUMEN

Esta investigación abordó la implementación y evaluación de un Objeto de Aprendizaje (OA) para la enseñanza de la física en una escuela de secundaria en el municipio de Cali (Colombia). Para ello, se empleó una metodología de investigación mixta (cualitativa-cuantitativa) focalizada en la perspectiva

¹ Magister en educación, Universidad del Valle. Correo electrónico: alberto.gutierrez@correounivalle.edu.co. ORCID: 0000-0002-9846-2486.

² Magister en educación, Profesor de la Universidad del Valle (FEP). Correo electrónico: boris.candela@correounivalle.edu.co. ORCID: 0000-0002-5833-1975.

³ Licenciada en educación con énfasis en ciencias naturales, Universidad del Valle. Correo electrónico: lina.gallardo@correounivalle.edu.co. ORCID: 0000-0002-0170-7134.

cualitativa e interpretativa por estudio de caso, en la que se utilizaron fuentes documentales como: Características Clave del Diseño (CCD), observación participante, videos de las sesiones de clase, diario reflexivo del profesor, pretest y postest, material del estudiante y del profesor. La evaluación formativa de este estudio se llevó a cabo a través de un modelo de evaluación de efectividad tripartito, tomando en cuenta de manera sinérgica los siguientes elementos: intenciones de diseño, acciones del profesor y los estudiantes durante la implementación y aprendizaje alcanzado por los estudiantes. Finalmente, se logró evidenciar que la secuencia de actividades de aprendizaje del OA asistió a



los estudiantes en la comprensión del contenido sobre los principios básicos que permiten la producción, el transporte y el uso de la energía eléctrica. Sin embargo, dicha comprensión no depende exclusivamente del OA, sino también de los razonamientos y acciones pedagógicas del profesor, en conjunción con los factores contextuales de la institución educativa.

ABSTRACT

This research addressed the implementation and evaluation of a Learning Object (LO) for the teaching of physics in a secondary school in the municipality of Cali (Colombia). For this purpose, a mixed research methodology (qualitative-quantitative) focused on the qualitative and interpretative perspective by case study was used, in which documentary sources such as: Key Design Features (KDFs), participant observation, videos of class sessions, reflective diary of the teacher, pretest and posttest, student and teacher materials were used. The formative evaluation of this study was carried out through a tripartite effectiveness evaluation model, synergistically taking into account the following elements: design intentions, teacher and student actions during implementation, and learning achieved by the students. Finally, it was evidenced that the sequence of learning activities of the LO assisted students in understanding the content on the basic principles that allow the production, transport and use of electric energy. However, such understanding does not depend exclusively on the LO, but also on the teacher's reasoning and pedagogical actions, in conjunction with the contextual factors of the educational institution.

PALABRAS CLAVE

Características Claves del Diseño (CCD), dificultades de aprendizaje, diseño instruccional, enseñanza de las ciencias, teorías del aprendizaje.

KEYWORDS

Key Design Features (KDFs), learning disabilities, instructional design, science education, learning theories.

INTRODUCCIÓN

Los investigadores del campo de la educación en ciencias, desde mediados de la década de los ochenta, llegaron al consenso de que el campo de la educación en ciencias se encuentra en crisis, como consecuencia de que el cuerpo teórico proveniente de la investigación educativa no está impactando el aula de ciencias (Klopfer, 1983). En otras palabras, existe una ruptura entre la enseñanza de conceptos específicos y la teoría proveniente de los estudios de indagación y diseño. Esta situación se traduce en que los estudiantes alcanzan una pobre comprensión conceptual e integrada en el aula de ciencias, además de la poca transferibilidad de los conceptos aprendidos a otros contextos de su vida cotidiana.

La anterior crisis se ve reflejada en el diseño e implementación de materiales de enseñanza (ej., textos escolares, guías, unidades didácticas, entre otros) que no presentan una coherencia intra e intercurricular. Por lo tanto, en la estructura lógica de dichos materiales no se observan con claridad las relaciones estrechas que deben existir entre los elementos de la enseñanza de un tópico específico, tales como: tópicos disciplinares, metas de aprendizaje, estrategias instruccionales, dificultades/limitaciones para la enseñanza del contenido, actividades de aprendizaje, estrategias de evaluación, y contextos relevantes para el aprendizaje de las ideas fundamentales. Desde luego, los investigadores del campo de la educación en ciencias consideran que estas relaciones epistémicas entre los aspectos mencionados es uno de los factores altamente predictivos en el éxito o fracaso de los estudiantes en la



comprensión conceptual e integrada de un contenido determinado (Shwartz et al., 2008).

Esta situación problemática del diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje estimuló a los miembros del campo de la educación en ciencias a desarrollar y consolidar la línea de investigación de los estudios de diseño o investigación basada en el diseño. Esta perspectiva de investigación se ha centrado en llevar a cabo el ciclo iterativo de diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos potenciados por las TIC en contextos reales de enseñanza y aprendizaje (Candela, 2016; Candela, 2019; Lagemann, 2002). Naturalmente, este ciclo iterativo permite documentar los razonamientos y las acciones pedagógicas realizadas por el profesor-diseñador a lo largo del diseño e implementación del respectivo ambiente de aprendizaje.

Cobb y Gravemeijer (2008) y Confrey (2006) argumentan que el ciclo iterativo de diseño da como resultado una serie de teorías de dominio específico que representan los razonamientos y las acciones pedagógicas referentes a la enseñanza y el aprendizaje de un contenido específico. Estas teorías-prácticas le brindan información pertinente al profesor de la escuela acerca de cómo aprenden los estudiantes singulares un tópico particular y cuáles son las estrategias pedagógicas más apropiadas para gestionar y representar la enseñanza de un contenido específico (Brown, 1990; Candela, 2016; Cobb et al., 2003; Collins et al., 2004).

Sin duda, estas teorías de dominio específico o Características Clave de Diseño (en adelante CCD), formuladas a partir de la toma de decisiones curriculares e instruccionales sobre la enseñanza y el aprendizaje de un contenido, deben ser validadas a través de las fases de implementación y evaluación, completando así el ciclo iterativo del diseño. Para ello, a lo largo de

estas dos fases el investigador debe responder interrogantes como: ¿Cuáles perspectivas de enseñanza funcionan bien y cuáles no? ¿Por qué no funcionaron algunas actividades de aprendizaje? ¿Qué mejoras pueden ser hechas a las teorías de dominio específico? (Candela, 2016; Cobb et al., 2003; Reigeluth y Frick, 1999).

Si bien, la línea de investigación de los estudios de diseño ha sido considerada como un elemento crítico para mejorar la educación en ciencias, esta ha recibido algunas críticas. Por ejemplo, los educadores de profesores de ciencias afirman que los estudios de dicha línea se han focalizado en el diseño de ambientes de aprendizaje de tópicos específicos, descuidando las fases de implementación y evaluación. Evidentemente, estas dos fases juegan un papel crítico en los estudios de diseño, dado que permiten validar el conjunto de teorías de dominio específicos o CCD que fue formulado en la fase de diseño, situación que direcciona el rediseño del material de enseñanza en consideración (Candela, 2019; Collins, 1992; Design-Based Research Collective, 2003).

Por todo esto, los diseñadores de las políticas educativas y curriculares a nivel nacional e internacional han emprendido la tarea de diseñar ambientes de aprendizaje de contenidos específicos potenciados por las TIC. En el contexto colombiano, el Ministerio Educación Nacional (MEN, 2009), asesorado por diseñadores educativos de origen coreano y por profesionales de la educación colombianos, diseñó y desarrolló una serie de ambientes de aprendizaje denominados Objetos de Aprendizaje (en adelante OA) en el marco del proyecto Construyendo capacidades en el uso de las TIC para innovar en la educación, el cual se ejecutó durante los años 2012-2016. Este proyecto estuvo configurado por varios Centros Innovación Educativa Regional (en adelante CIER), adscritos a algunas universidades colombianas, que se encargaron del diseño y



desarrollo digital de los OA para las áreas de lenguaje, ciencias y matemáticas (Martínez et al., 2016).

Ahora bien, el MEN le encargó al CIER-Sur (Universidad del Valle) el diseño y desarrollo de los OA de lenguaje, matemáticas y ciencias naturales correspondientes al ciclo de 10-11 de la escuela secundaria. Uno de los OA de ciencias naturales diseñado y desarrollado por el CIER-Sur representó y formuló el fenómeno físico referente a la corriente eléctrica. La meta curricular de este OA es ayudar a los estudiantes de grado 11 a superar las dificultades y concepciones alternativas con las que llegan al aprendizaje de dicho fenómeno. Por ejemplo, los resultados de los estudios empíricos han evidenciado que los estudiantes de este nivel de escolaridad presentan restricciones para comprender el fenómeno de la corriente eléctrica, como consecuencia de los siguientes factores: naturaleza abstracta de los contenidos, alta demanda en el componente matemático que subyace la comprensión de la corriente eléctrica, uso de representaciones mentales alejadas de los modelos teóricos de las ciencias, realización de actividades de enseñanza orientadas principalmente a la memorización y no tanto a la discusión y el razonamiento (Borg Marks, 2012; Stockmayer y Treagust, 1996).

El diseño y desarrollo del OA referente al fenómeno de la corriente eléctrica, al igual que los otros OA, generó dos productos: la secuencia de actividades de aprendizaje que representa cada una de las ideas que configuran este fenómeno y las teorías de dominio específico o CCD acerca de cómo los estudiantes aprenden este contenido y cómo el profesor asiste su aprendizaje. Desde luego, estos productos tienen el estatus de conjeturas, es decir, son una hipótesis o respuesta tentativa al problema práctico sobre la enseñanza del fenómeno de la corriente eléctrica.

De ahí que, en el contexto nacional se ha generado la necesidad de implementar los OA de aprendizaje diseñados y desarrollados por los CIER con el ánimo de realizar una evaluación formativa y contextualizada a las teorías de dominio específico o CCD que fundamentan de manera general a todos los OA, y de forma particular al OA titulado *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* Así, la implementación y evaluación de este OA probablemente va a brindar un conocimiento situado acerca de cómo los estudiantes de la escuela secundaria pública en el sector urbano aprenden el fenómeno de la corriente eléctrica, y cuáles son las técnicas, estrategias y modelos de enseñanza utilizados por el profesor para andamiar dicho aprendizaje.

Finalmente, el conocimiento proveniente de este estudio de implementación y evaluación del OA podrá ser utilizado por otros diseñadores/profesores en el rediseño del ambiente de aprendizaje referente a la corriente eléctrica, a fin de refinar esta innovación educativa. También, la contrastación de las teorías de dominio específico de la corriente eléctrica quizás podrá ser utilizada por profesores de física en formación y en ejercicio para continuar extendiendo la identificación y desarrollo del Conocimiento Pedagógico del Contenido de la corriente eléctrica (Blumenfeld et al., 2000).

Los anteriores presupuestos permiten formular el siguiente interrogante de investigación, el cual direcciona la dinámica de este estudio: *¿Qué incidencia tiene la implementación del Objeto de Aprendizaje ¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?, en la comprensión conceptual de este tópico en los estudiantes de grado once?*

Con el propósito de dar respuesta a este interrogante, se formulan las siguientes preguntas de orientación: *¿En qué forma las teorías de dominio específico o CCD que*



fundamentan el OA orientaron las acciones pedagógicas del profesor, a fin de mediar el aprendizaje del fenómeno de la corriente eléctrica en los estudiantes de grado once? ¿En qué grado los estudiantes logran apropiarse los conceptos y las habilidades formuladas en este OA?

METODOLOGÍA

El paradigma de investigación que permitió la recolección y el análisis de los datos fue de naturaleza mixta (Cualitativa-Cuantitativa). En esta perspectiva, la evidencia empírica de carácter cualitativo fue el foco que direccionó la solución al problema de la implementación y

evaluación del OA en cuestión. Así, los datos de naturaleza cuantitativa permitieron comprender el caso en términos generales, en tanto, la base empírica cualitativa brindó la oportunidad de comprenderlo a profundidad, a través de la interpretación de las interacciones simbólicas relacionadas con las acciones sociales dadas durante la implementación del OA (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). En cuanto al método de investigación, se tomó la decisión de utilizar el estudio de caso desde Yin (2003), dado que las características de los tres tipos de casos formulados por este erudito (exploratorio, descriptivo y explicativo) presentan una estrecha relación con las tres fases del ciclo iterativo de diseño, implementación y evaluación (Alzaghbi, 2010) (ver figura 1).

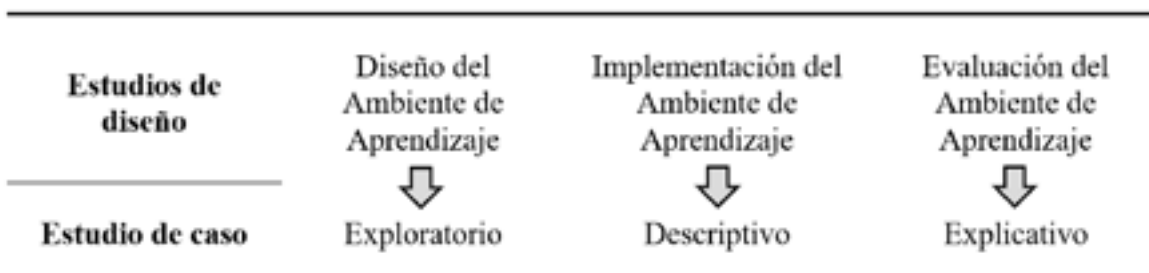


Figura 1. Relación entre las fases de los estudios de diseño y los tipos de estudio de caso. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la selección del caso se hizo de forma intencional. Para ello, se seleccionó una Institución Educativa en conjunto con el profesor, a partir del criterio de accesibilidad y disponibilidad de él para participar activamente en el desarrollo del estudio. La Institución Educativa es de carácter público, se encuentra ubicada en la zona urbana y atiende a estudiantes de alto riesgo provenientes de estratos socioeconómicos 1 y 2. El grado once elegido para realizar el estudio contó con 20 estudiantes (15 mujeres y 5 hombres), con edades entre los 15 y 18 años. El profesor que implementó el OA es licenciado en física y matemáticas y posee una experiencia de 30 años enseñando física en la escuela secundaria.

La evidencia empírica fue recabada mediante diversas fuentes documentales con el ánimo de llevar a cabo el proceso de triangulación que da confiabilidad y veracidad a los resultados. Para lo cual, se tomó la decisión de utilizar las siguientes fuentes documentales: pretest y postest, CCD⁴ (ver tabla 1), observación participante, videos de las sesiones de clase, diario reflexivo del docente y trabajos de los estudiantes.

⁴ En esta investigación, las Características Claves de Diseño (CCD) se identificaron a través de una lectura sistemática al cuerpo de conocimientos que fundamentan los materiales del profesor y del estudiante y la interfaz del OA. Vale la pena indicar que estos elementos representan la toma de decisiones curriculares y de enseñanza presupuestas por el diseñador del OA bajo estudio.

Tabla 1. Características Claves de Diseño (CCD) que fundamentan el OA

N°	CCD (Categoría deductiva)
1	Introducir a los estudiantes en el estudio de la energía eléctrica y conocer sus ideas previas al respecto.
2	Explicar la relación entre la corriente eléctrica y el flujo de cargas, y las similitudes y diferencias entre las corrientes continua y alterna.
3	Comprender la Ley de Ohm e interpretar diagramas en serie y en paralelo.
4	Indagar sobre el efecto joule y su relación con las pérdidas de energía ocasionadas por el transporte en las líneas de alta tensión.
5	Analizar el impacto ambiental de las termoeléctricas e hidroeléctricas en Colombia.
6	Socializar la Ley de Ohm y las configuraciones eléctricas en serie y paralelo a través de una mini feria de la ciencia.
7	Resumir y aplicar los conocimientos trabajados sobre la energía eléctrica durante las actividades de aprendizaje.

Finalmente, el desarrollo de esta investigación se configuró por las fases de implementación y evaluación. En la primera, el profesor puso en escenasecuencia de actividades de aprendizaje que estructuran el OA en cuestión, con el fin de andamiar el aprendizaje del fenómeno de la corriente eléctrica en los estudiantes. Esta fase permitió recabar la evidencia empírica referente a las acciones inteligentes llevadas a cabo por los estudiantes y el profesor, y los aprendizajes alcanzados por los primeros. Además, se aplicó un pretest y postest a los estudiantes con la intención de evidenciar el estado inicial y el final de sus conocimientos y habilidades acerca del tópico estudiado. De esta manera, fue posible

establecer la ganancia de aprendizaje de dicho tópico luego de haber participado activamente en todas las actividades de aprendizaje del OA. Estas tareas de indagación se efectuaron entre los meses de septiembre y noviembre de 2019, distribuyéndose en 14 sesiones de 90 minutos cada una.

La fase de evaluación fue mediada por el modelo de evaluación tripartito adaptado por Alzaghbi (2010) desde Millar et al. (2002) (ver figura 2). En este se establece una relación intencional entre los siguientes aspectos: (a) CCD (tabla 1), (b) Acciones reales de los docentes y los estudiantes y (c) Aprendizajes alcanzados por estos últimos. Este modelo suministró información de gran utilidad para evaluar formativamente el fundamento curricular e instruccional del diseño y la implementación de la secuencia de actividades de aprendizaje del OA ¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?

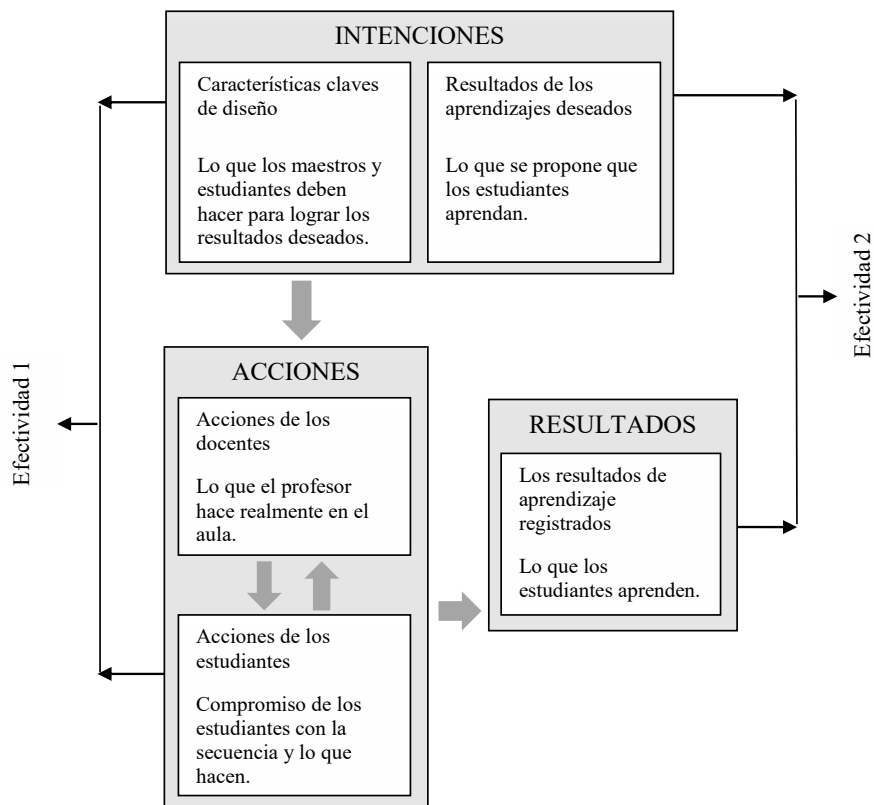


Figura 2. Modelo de evaluación de la secuencia de enseñanza. Fuente: Modelo ampliado desde Millar et al. (2002) por Alzaghbi (2010).

La evidencia empírica proveniente de fuentes cuantitativas fue analizada a través del **Índice Normalizado** de ganancia de aprendizaje corregida de Hake (1998), con el propósito de establecer una comprensión general de la incidencia que tuvo el diseño e implementación del OA en el aprendizaje del fenómeno de la corriente eléctrica en los estudiantes de grado once. Así, este estadístico brinda una medida aproximada de la efectividad de la toma de decisiones curriculares e instruccionales que subyacen al OA en términos de los conocimientos previos y posteriores de los estudiantes respecto al fenómeno de la corriente eléctrica (ganancia de aprendizaje). Este índice (g) ayuda a interpretar los datos provenientes del pretest y postest en función de las respuestas correctas, a través de la ecuación 1:

$$g = \frac{\% \text{ promedio del postest} - \% \text{ promedio del pretest}}{100 - \% \text{ promedio del pretest}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Los resultados de g oscilan entre 0 y 1, donde 0 significa que no hubo mejoras en el aprendizaje, en tanto que 1 expresa las máximas ganancias. Hake (1998) categorizó estos resultados en una escala de ganancia normalizada de aprendizaje, a saber: si $g \leq 0,3$ la ganancia es baja, si $0,3 < g \leq 0,7$ la ganancia es media y si $0,7 < g \leq 1$ la ganancia es alta.

ANÁLISIS DE DATOS CUANTITATIVOS

A continuación, se presentan el índice de ganancia normalizado de Hake para el grupo de estudiantes, relacionando el total de respuestas correctas por estudiante en el pretest y el postest con sus respectivos porcentajes de respuesta (ver tabla 2).



Tabla 2. Índice de ganancia por estudiante y grupal

Estudiante	Número de respuestas correctas postest	Número de respuestas correctas pretest	Porcentaje de respuestas correctas pretest	Porcentaje de respuestas correctas postest	Índice de ganancia
1	15	7	38,89	83,33	0,73
2	17	10	55,56	94,44	0,88
3	15	8	44,44	83,33	0,70
4	12	11	61,11	66,67	0,14
5	17	12	66,67	94,44	0,83
6	15	9	50,00	83,33	0,67
7	17	11	61,11	94,44	0,86
8	14	5	27,78	77,78	0,69
9	15	16	88,89	83,33	-0,50
10	17	9	50,00	94,44	0,89
11	12	4	22,22	66,67	0,57
12	16	9	50,00	88,89	0,78
13	11	9	50,00	61,11	0,22
14	13	7	38,89	72,22	0,55
15	9	11	61,11	50,00	-0,29
16	12	4	22,22	66,67	0,57
17	12	9	50,00	66,67	0,33
18	10	12	66,67	55,56	-0,33
19	11	11	61,11	61,11	0,00
20	12	3	16,67	66,67	0,6
				Índice de ganancia promedio del grupo	0,444

Como se observa en la tabla 2, se alcanzó un promedio de ganancia de aprendizaje de 0.44, el cual se categoriza como una ganancia de nivel medio. Los resultados representados por el índice de ganancia de Hake, tanto por estudiante como por pregunta, determinan que el proceso de aprendizaje de los estudiantes fue potenciado a través de la implementación del objeto de aprendizaje ¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?, dado que obtuvieron valores mayores (categorizados principalmente entre ganancias media y alta) después de llevar a cabo las actividades de

este OA bajo la orientación del docente. Cabe destacar que las preguntas que alcanzaron un índice de ganancia alto corresponden a los siguientes conceptos: electricidad (0.84), corriente continua y alterna (0.88), circuitos en serie y en paralelo (0.74), generador eléctrico (0.92) y descarga eléctrica (0.89). La obtención de estos resultados favorables se explica debido a la interacción en el aula de diferentes factores como: la pedagogía general y gestión del aula utilizada por el profesor, los procesos de reflexión in situ que numerosas veces promovió el docente para andamiar a los estudiantes en



la comprensión de los aspectos materiales y sociales de las ciencias, la puesta en marcha y adaptación de las intenciones de diseño del objeto de aprendizaje y el uso continuo y dedicado de las actividades experimentales prescritas en el material.

ANÁLISIS DE DATOS CUALITATIVOS

Los datos de naturaleza cualitativa permitieron recoger información relacionada con las interacciones simbólicas acontecidas entre estudiante-estudiante y estudiante-profesor, durante la implementación de la secuencia de actividades de aprendizaje que configuran el OA en cuestión. En este sentido, para hacer un análisis apropiado de las intenciones de diseño del OA, se tuvo presente si la secuencia de enseñanza fue implementada de manera total o parcial y si se le hicieron ajustes o fue ignorada por completo.

El análisis de la evidencia empírica de carácter cualitativo fue orientado por la perspectiva analítica del método de comparación constante (Glaser y Strauss, 1968). Conviene subrayar que en este estudio solo se utilizó la codificación abierta y la codificación axial, más no la codificación selectiva, puesto que las categorías fueron de carácter deductivo; es decir, no emergieron del proceso de codificación abierta, sino que vienen preestablecidas por las Características Claves de Diseño (CCD) que fundamentaron disciplinar, pedagógica y tecnológicamente el OA (ver tabla 1).

El proceso de codificación abierta se inició haciendo una organización rigurosa del conjunto de información recogido en las fuentes documentales de esta investigación, para luego proceder a leer de manera reflexiva y sistemática las unidades de análisis provenientes de estas. La codificación axial se caracterizó por adscribir cada una de las unidades de análisis a las respectivas categorías deductivas (CCD), con el fin de generar una teoría naturalística

que represente la relación tripartita entre las intenciones de diseño, las acciones ejecutadas por los integrantes del aula durante la implementación y los aprendizajes alcanzados por los estudiantes.

RESULTADOS

Debido a la limitación de cantidad de páginas indicada en las normas de publicación, en este manuscrito se presenta únicamente el desarrollo teórico y empírico de la CCD 3, la cual documenta de forma profunda la relación deliberada entre las intenciones de diseño, las acciones del profesor y los estudiantes, y los aprendizajes alcanzados (para un desarrollo más profundo de las siete CCD, ver Gutiérrez (2022)). Así pues, esta CCD inicia con una captura de pantalla de la actividad que materializa la CCD (ver figura 3); luego se brinda una corta descripción de las intenciones de diseño plasmadas en el material del profesor y la interfaz digital; se prosigue a describir y documentar las acciones realizadas por el docente y los estudiantes durante la implementación, tanto las prescritas por las CCD como las formuladas autónomamente por el docente; y se mencionan los aprendizajes alcanzados por los estudiantes. Finalmente, se concluye precisando la correspondencia entre las intenciones de diseño y lo realizado en el aula por el docente y los estudiantes, además de los aprendizajes alcanzados por estos últimos.

CCD 3: Comprender la Ley de Ohm e Interpretar Diagramas en Serie y en Paralelo



Figura 3. Captura de pantalla de la sección del OA “Actividad 2: Ley de Ohm”. Fuente: Ministerio de Educación Nacional (2016).

En las intenciones de diseño se plantea que el docente comenzaría implementando una actividad experimental de construir un circuito simple, en pequeños grupos de discusión, con el propósito de determinar el modelo matemático de la ley de Ohm en este tipo de circuito. Les haría una corta introducción y les explicaría los materiales y procedimientos necesarios para armar el circuito, apoyado en un recurso interactivo paso a paso. Después, el profesor orientaría la deducción de las leyes de la electricidad a partir del montaje experimental, controlando dos variables: Resistencia y Voltaje. Para ello, propondría preguntas y situaciones a los estudiantes que les permitan discutir y comprender los aspectos trabajados en el experimento, bajo una organización interactiva-dialógica. Así, el maestro abordaría con los estudiantes el modelo teórico sobre la ley de Ohm. Para cerrar esta primera parte y fortalecer los conceptos de voltaje, corriente y resistencia, el docente solicitaría a los estudiantes aplicar

la ley de Ohm a su celular con su respectivo cargador.

A fin de posibilitar a los estudiantes aplicar los modelos matemáticos de esta ley en los circuitos en serie y en paralelo, el profesor primero explicaría cómo graficar un circuito en serie usando una imagen en la que se reconozcan los símbolos convencionales que representan los componentes de un circuito. A continuación, les pediría hacer un esquema del circuito observado en la imagen, utilizando la simbología adecuada, y armar dicho circuito. El maestro acompañaría a los estudiantes con indicaciones e interrogantes que les permitan conectar el circuito en serie y analizar lo que sucede en este tipo de conexión.

Posteriormente, el docente se apoyaría en un recurso interactivo para caracterizar la configuración de los dos tipos de circuito. Para cada caso, el profesor realizaría ciertas preguntas a fin de facilitar en los jóvenes la reflexión y apropiación de los conocimientos estudiados sobre la aplicación de la ley de Ohm



y explicaría cada tipo de conexión. El maestro finalizaría presentando un ejercicio de circuitos que se resuelve con la ley de Ohm y dejaría una tarea escolar que demande la aplicación de lo abordado en clase.

Con relación a las acciones en el aula, el docente comenzó la clase bajo una organización de pequeños grupos de discusión y decidió implementar la estrategia de enseñanza POE para realizar la actividad experimental de la ley de Ohm. Desde luego, el profesor inició con una demostración, para lo cual hizo el montaje del circuito y les comentó a los estudiantes las tres variables fundamentales de todo circuito simple: voltaje, corriente y resistencia. También, les hizo preguntas a los grupos con el ánimo de llevarlos a formular predicciones sobre lo que podría pasar al ejecutar ciertas acciones en este circuito, además de justificar y discutir dichas predicciones. Esto permitió sacar a la luz las concepciones alternativas y los modelos mentales que los estudiantes traían sobre los conceptos de corriente, voltaje y resistencia. Por ejemplo, confundían voltaje con corriente, o creían que el voltaje era consecuencia del flujo de corriente, más no su causa; ignoraban que, si el circuito estaba abierto entre dos puntos, la resistencia es infinita; consideraban que la pila era una fuente de corriente, no una fuente de voltaje. Después, ellos observaron el comportamiento de la corriente eléctrica en la realización de la actividad experimental, la cual estuvo agenciada por el maestro mediante la formulación de una serie de preguntas abiertas que estimularon la negociación de significados y formas de significar referentes al fenómeno de la corriente eléctrica. La siguiente viñeta presenta algunos de los interrogantes generados por el profesor (P) hacia los estudiantes (E):

P: ¿Qué sucedió con la incandescencia del bombillo al conectar dos pilas?
¿Aumentó o disminuyó?

E1: Nosotros vimos que aumentó, prendió

más el bombillito.

P: ¿Y qué pasará si vamos conectando en serie más pilas en el circuito? ¿Aumentará, disminuirá o seguirá igual?

E2: Me imagino que aumentará profe, pues habría más voltaje.

P: ¿Qué opina Quiñones de lo que acaba de decir su compañero?

E3: Que tiene razón profe. Podemos probar aquí en nuestro circuito para ver qué pasa.

P: Listo. También, a partir de lo que han observado, respondan qué función tiene la pila en un circuito eléctrico (Video de clase, octubre 07 de 2020).

Seguidamente, el docente les solicitó contrastar sus hipótesis con los datos recogidos durante la observación, lo que les permitió percatarse de ciertas discrepancias entre las predicciones y lo observado en el experimento. Estas discrepancias fueron explicadas por los estudiantes, integrando los niveles macroscópico y submicroscópico a fin de interpretar lo observado. El profesor es consciente de que el estudio del fenómeno eléctrico requiere de la diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la materia: macroscópico, submicroscópico y simbólico (Johnstone, 1982). Esta necesidad se debe a que el manejo consciente de estos niveles les facilita a los estudiantes la comprensión de conceptos abstractos asociados al fenómeno estudiado, los cuales, al no ser percibidos por los sentidos, son más difíciles de asignarles un significado preciso. Por ello, se considera que la diferenciación e integración de los niveles de representación ayuda a los estudiantes a reconocer y usar sus modelos mentales, con el ánimo de comprender el comportamiento del mundo macroscópico, moviéndose de lo concreto a lo abstracto, de lo situado a lo general, de lo macroscópico a lo



submicroscópico. Esta teoría naturalística está en coherencia con el siguiente diálogo entre el profesor y los estudiantes:

P: ¿Recuerdan que varios de sus compañeros al principio predijeron que al conectar más pilas al circuito, el bombillo se iluminaría más? ¿Y se acuerdan de la razón que dieron?

E1: Sí profe, sí se iluminó más, dijeron que eso pasaría porque aumentaría la corriente en el circuito.

P: ¿Y será que esa es la razón correcta? ¿Qué cree usted, López? ¿Y por qué?

E2: Que sí, porque al haber más pilas, estas dan más corriente o más voltaje.

P: ¿O sea que corriente y voltaje es lo mismo?

E3: No profe, hasta donde yo sé, no son la misma cosa. La diferencia es que la corriente es el movimiento de los electrones dentro del circuito, y el voltaje es como la energía que impulsa a esos electrones por el cable. En nuestro circuito las pilas son la fuente de esa energía o voltaje, y por eso es que vemos que se ilumina más el bombillo al agregar pilas, pues los electrones son empujados con más fuerza (Video de clase, octubre 07 de 2020).

Otra muestra del aprendizaje alcanzado por los estudiantes con respecto a la ley de Ohm, es el índice de ganancia de Hake de la pregunta 1 que aborda la relación entre el voltaje y la corriente. Su índice fue de 0.50, considerado como una ganancia media, lo que demuestra que aumentó el número de estudiantes que lograron contestar correctamente esta pregunta después de desarrollar todas las actividades de aprendizaje del OA⁵.

⁵ Para una comprensión más profunda de este aspecto ver Gutiérrez (2022).

El maestro, luego de orientar a sus estudiantes en la deducción del modelo matemático de la ley de Ohm mediante la experimentación, les pidió aplicar esta ley a su celular tomando en cuenta el funcionamiento del cargador que viene con él. El docente decidió efectuar esta actividad al ver que aprovechaba un elemento muy propio del contexto como el celular para dar la oportunidad a los estudiantes de poner en práctica la ley de Ohm. De esta forma, el profesor comenzó abordando la ley de Ohm con actividades que parten del nivel macroscópico, de lo concreto, para luego realizar actividades cada vez más abstractas, propias de los niveles submicroscópico y simbólico (Ford y Forman, 2006).

Antes de abordar la aplicación de la ley de Ohm en los circuitos en serie y en paralelo, el docente consideró esencial dar a conocer a los estudiantes la simbología necesaria para graficar un circuito. Él estima que si los jóvenes reconocen y se apropian del sistema semiótico que sustenta la comprensión del fenómeno eléctrico, podrán manejar adecuadamente el lenguaje técnico y abstracto que caracteriza a los fenómenos físicos. Por esta razón, el profesor dedicó tiempo de su clase para ayudar a los estudiantes a dominar poco a poco los modos semióticos propios de la electricidad, ahondando en el significado de los símbolos.

Para relacionar a los estudiantes con los símbolos que representan los componentes de un circuito, el docente utilizó una imagen de un circuito en serie brindada por el OA. Luego de una corta explicación, les pidió usar la simbología correcta para dibujar un esquema del circuito observado en la imagen y armarlo bajo la guía de ese esquema. Para esto, el profesor organizó pequeños grupos de discusión y acompañó a los estudiantes mediante la formulación de preguntas que les permitieran aclarar dudas sobre cómo graficar un circuito en serie y el comportamiento de la electricidad bajo



este tipo de conexión. De esta forma, el maestro buscó que ellos articularan tres elementos de la comunicación: el signo, el significado y el fenómeno (o *signo*, *interpretante* y *objeto* según Charles S. Peirce) (Santaella, 2001).

Ahora bien, para caracterizar la configuración de los circuitos en serie y en paralelo, el maestro estructuró el aula de manera interactiva-dialógica y empleó un recurso interactivo que representa estos tipos de circuito. Esto le permitió discutir con los estudiantes la disposición de los componentes del circuito en cada tipo de conexión y comparar las relaciones entre las magnitudes de voltaje, corriente y resistencia en cada caso. El docente promovió la discusión a través de preguntas que llevaron a los estudiantes a retomar lo aprendido durante las actividades de aprendizaje anteriores, fortaleciendo así la apropiación de los conocimientos sobre la ley de Ohm y el refinamiento progresivo de sus modelos mentales del fenómeno eléctrico. En la siguiente viñeta se valida este evento:

P: ¿Cómo es el recorrido de la corriente en un circuito paralelo? ¿Se diferencia al del circuito en serie?

E1: En el circuito en serie la energía solo tiene una ruta en la que puede fluir.

P: ¿Y en un circuito en paralelo que pasa entonces con el flujo de la corriente?

E2: Pues que ya no tiene solo un camino, sino varios caminos para circular.

P: ¿Qué pasa con la intensidad de corriente que circula por cada camino? Otro estudiante que opine.

E3: Supongo que es menor la cantidad de corriente que pasa por cada camino, comparada con la corriente total que entra al circuito.

P: ¿Y en qué apoya ese argumento?

E3: En lo que vi que pasó en el experimento cuando estaban prendidos los tres bombillos y apagamos uno. Los dos bombillitos que quedaron prendidos se iluminaron un poco más, entonces debe ser porque se reparte la intensidad de la corriente (Video de clase, octubre 09 de 2020).

Asimismo, es posible comprobar el aprendizaje logrado por los estudiantes sobre la ley de Ohm y los diagramas de circuitos en serie y en paralelo al analizar los índices de ganancia de las preguntas 2, 3, 5, 9, 10 y 15 del test, concernientes a estos conocimientos. La pregunta 2 tuvo un índice de ganancia de 0.20, la pregunta 3 de 0.41, la pregunta 5 de 0.34, la pregunta 9 de 0,74, la pregunta 10 de 0.27 y la pregunta 15 de 0.69. Estos resultados revelan una obtención de índices de ganancia en las tres categorías: las preguntas 2 y 10 corresponden a una ganancia de nivel bajo; las preguntas 3, 5 y 15 indican una ganancia media; y la pregunta 9 demuestra una ganancia alta. Es posible inferir entonces que tanto la actividad como las estrategias de enseñanza puestas en práctica por el docente permitieron asistir a los estudiantes en la comprensión conceptual de estos contenidos. Probablemente, estos buenos resultados se deben a que el maestro tomó decisiones curriculares e instruccionales orientadas a enfatizar en el aula de ciencias el uso de las actividades experimentales, el dominio del lenguaje de las ciencias y la enseñanza desde una perspectiva sociocultural. La conjunción de estas estrategias pedagógicas brindó a los estudiantes la oportunidad de comenzar a desarrollar el rol de constructor y crítico de afirmaciones de conocimiento científico escolar. Así, el estudiante primero construye y discute las afirmaciones en los pequeños grupos de discusión y, posteriormente, las evalúa críticamente con toda la clase.



En relación con la correspondencia entre lo diseñado, lo implementado y lo aprendido por los estudiantes, es posible concluir que el docente implementó en su totalidad las actividades plasmadas en el diseño del OA, aunque tomó algunas decisiones pedagógicas que facilitaron el desarrollo de los conocimientos y habilidades que representan esta CCD. Por ejemplo, decidió usar reiteradamente la técnica de formular preguntas abiertas y la estrategia de enseñanza POE en la realización de la práctica experimental, a pesar de que en el diseño del OA no fueron conjeturadas explícitamente estas acciones pedagógicas.

Finalmente, el profesor empleó estos recursos pedagógicos a fin de andamiar a los estudiantes en el desarrollo de la argumentación apoyada en la evidencia. Esta es una competencia sociolingüística de la práctica científica que permitió a los estudiantes de once continuar apropiando los roles de constructor y crítico de afirmaciones científicas (Ford y Forman, 2006). Así como los científicos construyen explicaciones sobre los fenómenos naturales y las ponen en debate con sus pares (críticos), los estudiantes, en las discusiones en clase, presentaron argumentos sobre el fenómeno estudiado a partir de sus modelos mentales, frente a los cuales los compañeros pudieron contraargumentar o no.

CONCLUSIONES

Si bien el docente implementó un alto número de las actividades de aprendizaje que configuran el OA, estas fueron puestas en escena a través de acciones pedagógicas que no fueron conjeturadas en la toma de decisiones curriculares e instruccionales del OA. Por supuesto, esta acción pedagógica fue realizada con la intención de andamiar a los estudiantes en la comprensión profunda del fenómeno de la corriente eléctrica. Para ello, realizó un uso deliberado de una serie de

estrategias pedagógicas que le brindaron a los estudiantes la oportunidad de llevar a cabo el rol de constructor y crítico de afirmaciones de conocimiento científico escolar (Ford y Forman, 2006). Se considera que tomar en cuenta estos aspectos dentro del proceso de rediseño del material de enseñanza implementado sería muy valioso, a fin de mejorarlo y acercarlo a una orientación de enseñanza sociocultural.

Cabe destacar que los estudiantes de grado once mostraron el desarrollo de un compromiso disciplinario productivo (Engle y Conant, 2010), en la medida en que sus modelos mentales y la forma de expresar sus argumentos se fueron sofisticando cada vez más durante la discusión en las actividades de aprendizaje. Asimismo, superaron algunas restricciones conceptuales, avanzando en los ámbitos disciplinar, cognitivo y social. Esto fue posible gracias a que el docente tomó la decisión de implementar el OA en el marco de los siguientes principios que configuran una orientación de enseñanza sociocultural: enfrentar a los estudiantes a auténticos problemas, estimular el papel activo de ellos en la construcción y evaluación del conocimiento, responsabilizarlos de la calidad de su trabajo intelectual y brindarles los recursos suficientes para lograr los anteriores principios (Engle y Conant 2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzaghbi, M. A. (2010). *Instructional Design: Development, implementation and evaluation of a teaching sequence about plant nutrition in Saudi* (Tesis doctoral). University of Leeds. <https://core.ac.uk/download/pdf/43248.pdf>
- Blumenfeld, P., Fishman, B. J., Krajcik, J., Marx, R. W. y Soloway, E. (2000). Creating usable innovations in systemic reform: Scaling up technology-embedded project-based science in urban schools. *Educational psychologist*,



35(3), 149-164. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3503_2

Borg Marks, J. (2012). *Understanding key concepts of electric circuits: Students' use of mental models* (Tesis doctoral) University of York. http://etheses.whiterose.ac.uk/3938/1/signed_PhD_Thesis.pdf

Brown, A. L. (1990). Domain-specific principles affect learning and transfer in children. *Cognitive science*, 14(1), 107-133. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(90\)90028-U](https://doi.org/10.1016/0364-0213(90)90028-U)

Candela, B. F. (2016). *La ciencia del diseño educativo*. Santiago de Cali: 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), 140–157. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v8n2.79267>

Cobb, P. y Gravemeijer, K. (2008). Experimenting to Support and Understand Learning Processes. En A. Kelly, R. Lesh y J. Baek (Eds.), *Handbook of Design Research Methods in Education: Innovations in Science, Technology, Engineering, and Mathematics Learning and Teaching* (1 ed., pp. 68-95). Routledge.

Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. y Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13. <http://www.jstor.org/stable/3699928>

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). Springer-Verlag.

Collins, A., Joseph, D. y Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42. <https://www.jstor.org/stable/1466931>

Confrey, J. (2006). The evolution of design studies as methodology. En R. 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. <http://www.designbasedresearch.org/reppubs/DBRC2003.pdf>

Engle, R. y Conant, F. (2010). Guiding Principles for Fostering Productive Disciplinary Engagement: Explaining an Emergent Argument in a Community of Learners Classroom. *Cognition and Instruction*, 20(4), 399-483. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI2004_1

Ford, M. J., y Forman, E. A. (2006). Redefining disciplinary learning in classroom contexts. *Review of research in education*, 30(1), 1-32. <https://www.jstor.org/stable/4129768>

Glaser, B. y Strauss, A. (1968). *The Discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Taylor & Francis Group.

Gutiérrez, A. (2022). *Implementación y evaluación de un objeto de aprendizaje en ciencias naturales: El caso ¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* (Tesis de maestría). Universidad del Valle. <https://drive.google.com/file/d/1T3OxNVfIGENHlwBbCDM2H6V3g72PxtGE/view?usp=sharing>



- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal Physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Johnstone, A. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Klopfer, L. E. (1983). Research and the crisis in science education. *Science Education*, 67(3), 283-284.
- Lagemann, E. C. (2002). *An elusive science: The troubling history of education research*. University of Chicago Press.
- Martínez Villalobos, G., Arciniegas, A. M. y Lugo González, C. A. (2016). Formación docente en TIC con el Centro de Innovación Educativa CIER-SUR. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 8(14), 65-80. <https://doi.org/10.22430/21457778.417>
- Millar, R. A., Tiberghien, A. y Maréchal J. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. En D. Psillos y H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory* (pp. 9–20). Kluwer Academic Publications.
- Ministerio de Educación Nacional (2009). *¿Qué es un objeto de aprendizaje? Medellín, Colombia. Programa integración de tecnologías a la docencia*. Universidad de Antioquia. <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/men/oac1.html>
- Reigeluth, C. M. y Frick, T. W. (1999). Formative research: A methodology for creating and improving design theories. En C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (pp. 633-651). Lawrence Erlbaum Associates.
- Santaella, L. (2001). ¿Por qué la semiótica de Peirce es también una teoría de la comunicación? Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. *Universidad Nacional de Jujuy*, (17), 415-422. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-81042001000200024&script=sci_arttext
- Shwartz, Y., Weizman, A., Fortus, D., Krajcik, J. y Reiser, B. (2008). Middle School Science Curriculum: Coherence as Design Principle. *The Elementary School Journal*, 109(2), 199-219. http://websites.umich.edu/~hiceweb/presentations/documents/Shwartzetal_coherence.pdf
- Stocklmayer, S. M. y Treagust, D. F. (1996). Images of electricity: How do novices and experts model electric current? *International Journal of Science Education*, 18(2), 163- 178. <https://doi.org/10.1080/0950069960180203>
- Yin, R. (2003). *Case study research: design and methods* (3ª ed., Vol. 5). Sage Publications.