IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN OBJETO DE APRENDIZAJE EN CIENCIAS NATURALES: EL CASO *¿DE DÓNDE VIENE LA ENERGÍA ELÉCTRICA QUE UTILIZO EN MI CASA?*

ALBERTO GUTIÉRREZ VÁSQUEZ
CÓDIGO: 201102875

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
SANTIAGO DE CALI
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?*

ALBERTO GUTIÉRREZ VÁSQUEZ
CÓDIGO: 201102875

Proyecto de grado para obtener el título de Magister en Educación

TUTOR: Mg. BORIS FERNANDO CANDELA RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
SANTIAGO DE CALI
2022

Dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar hasta obtener uno de mis mayores anhelos, seguir creciendo profesionalmente.

A mis padres Luis Alfonso y Agustina (ambos Q.E.P.D), quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir hoy un sueño más en mi vida profesional. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de responsabilidad y de no temer a las adversidades que se me presentan porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos y hermanas, por su cariño y apoyo incondicional durante este proceso, que ha sido largo y lleno de tropiezos, los cuales he podido superar con su ayuda.

A toda mi familia, quienes con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, un gran profesional, y me han acompañado siempre en mis sueños y metas.

A mis compañeros y amigos, por ayudarme en los momentos difíciles. Sepan que los considero como parte de mi familia y los llevo en el corazón.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por bendecirme la vida, guiarme a lo largo de mi existencia, y ser mi fortaleza en aquellos momentos de dificultad, debilidad y tropiezos.

No me alcanzan las palabras para agradecer a todas las personas que han estado involucradas en la realización y acompañamiento de este estudio. Ustedes merecen mi reconocimiento y gratitud, así no los alcance a mencionar a todos.

Mi profundo agradecimiento a toda la comunidad educativa que hace parte de la grandiosa Institución Educativa Eustaquio Palacios. Gracias por confiar en mí, abrirme sus puertas y permitirme realizar todo mi proceso investigativo con su valiosa participación.

De igual manera, le expreso mi gratitud a la Universidad del Valle, a su Facultad de Educación y Pedagogía, y a todos mis profesores de la maestría, en especial a Alfonso Claret Zambrano, Edwin García, Robinson Viáfara y Andrés Espinosa. Ustedes, con la enseñanza de sus valiosos conocimientos, me ayudaron a crecer día a día como profesional. Gracias a cada uno por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente, quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al profesor Boris Fernando Candela, principal colaborador y tutor de esta investigación. Gracias por acompañarme durante todo este proceso. Fue su dirección, conocimiento, enseñanza, responsabilidad, compromiso, profesionalismo y colaboración lo que hizo posible llevar el desarrollo de este trabajo a feliz término.

Tabla de Contenido

Resumen 9

Introducción 10

Capítulo I. Presentación del Problema 13

Justificación 13

Antecedentes 16

Planteamiento del Problema 24

Capítulo II. Marco Conceptual de Referencia 28

Estudios de Diseño 28

Principios de la Investigación del Diseño 30

Principios de Diseño de Ambientes de Aprendizaje 30

Principios de la Implementación de un Diseño de Ambiente de Aprendizaje. 31

Teorías del Diseño Instruccional 32

Teorías del Diseño Instruccional de Primera y Segunda Generación 33

Principales Características de las Teorías de Diseño Instruccional de Segunda Generación 34

Coherencia Curricular como Principio de Diseño 38

Objetos de Aprendizaje 40

Origen de los Objetos de Aprendizaje 41

Concepto de los Objetos de Aprendizaje 43

Características Principales de los Objetos de Aprendizaje 46

Análisis conceptual sobre la corriente eléctrica 48

Energía eléctrica 48

Corriente eléctrica 49

Flujo de cargas 50

Corriente continua y corriente alterna 51
Corriente continua. 51
Corriente alterna 52
Ley de Ohm 54
Circuito en serie 55
Circuitos en Serie con Resistencias 56
Corriente en un circuito en serie 56
Voltaje en un circuito en serie 56
Resistencia equivalente en serie 57
Circuito en paralelo 57
Circuitos en Paralelo con Resistencias 57
Voltaje en un circuito en paralelo 58
Corriente en un circuito en paralelo 58
Resistencia equivalente en paralelo 58
Efecto Joule 59
Impacto socio ambiental de las termoeléctricas e hidroeléctricas 60
Centrales termoeléctricas 60
Centrales hidroeléctricas 61
Capítulo III. Diseño Metodológico 63
Objetivos 63
Aspectos Metodológicos de la Investigación 64
Descripción de la Metodología 64
Selección del Caso 66
Fase de Implementación 67
Contexto del Caso 67

Estudiantes Participantes. 68

Docente Participante 68

Aplicación del Conjunto de Actividades de Aprendizaje. 69

Fase de Evaluación 70

Fuentes Documentales 72

Características Claves del Diseño. 73

Observación Participante. 79

Videos de las Sesiones de Clase 80

Diarios Reflexivos del Profesor 81

Material del Estudiante 81

Pretest y Postest 81

Análisis de Datos 82

Análisis de Datos Cuantitativos 83

Análisis de Datos Cualitativos 94

Capitulo IV. Presentación de Resultados 98

Característica Clave de Diseño 1 (CCD1): Introducir a los Estudiantes en el Estudio de la Energía Eléctrica y Conocer sus Ideas Previas al Respecto 99

Característica Clave de Diseño 2 (CCD2): Explicar la Relación Entre la Corriente Eléctrica y el Flujo de Cargas, y las Similitudes y Diferencias Entre las Corrientes Continua y Alterna 104

Característica Clave de Diseño 3 (CCD3): Comprender la Ley de Ohm e Interpretar Diagramas de Circuitos en Serie y en Paralelo 118

Característica Clave de Diseño 4 (CCD4): Indagar Sobre el Efecto Joule y su Relación con las Pérdidas de Energía Ocasionadas por el Transporte en las Líneas de Alta Tensión 128

Característica Clave de Diseño 5 (CCD5): Analizar el Impacto Ambiental de las Termoeléctricas y las Hidroeléctricas en Colombia 134

Característica Clave de Diseño 6 (CCD6): Socializar la Ley de Ohm y las Configuraciones Eléctricas en Serie y Paralelo a Través de una Mini Feria de la Ciencia 141

Característica Clave de Diseño 7 (CCD7): Resumir y Aplicar los Conocimientos Trabajados Sobre la Energía Eléctrica Durante las Actividades de Aprendizaje 146

Conclusiones 150

Referencias 157

Resumen

Esta investigación aborda la implementación y evaluación de un Objeto de Aprendizaje (OA) para el área de ciencias naturales, asignatura de Física, denominado *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*, en los estudiantes de grado 11° de la Institución Educativa Eustaquio Palacios del municipio de Cali (Valle). Para ello, se empleó una metodología de investigación de perspectiva cualitativa interpretativa por estudio de caso, en la que se utilizaron fuentes documentales como: Características Claves del Diseño (CCD), observación participante, videos de las sesiones de clase, diario reflexivo del profesor, pretest y postest, material del estudiante y del profesor. Ahora bien, 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: las intenciones de diseño (representadas por las CCD), las acciones del profesor y los estudiantes durante la implementación, y el aprendizaje alcanzado por los estudiantes. Finalmente, se logró evidenciar que la secuencia de actividades de aprendizaje del OA asistió a los estudiantes en la compresión del contenido sobre los principios básicos que permiten la producción, el transporte y el uso de la energía eléctrica. Sin embargo, dicha compresión no depende exclusivamente del OA, sino también de las acciones implementadas y realizadas por parte del profesor y los estudiantes, además, del contexto en que está inmersa la institución educativa.

***Palabras Claves*:** Objetos de Aprendizaje, Energía Eléctrica, Diseño Instruccional, Dificultades de Aprendizaje, Características Claves del Diseño (CCD).

Introducción

En este proceso investigativo desarrollado en el aula de clase, surge la oportunidad de implementar y evaluar un objeto de aprendizaje que aborda los principios básicos que permiten la producción y el transporte de la energía eléctrica que se utiliza en los hogares. Para ello, es necesario que en el conocimiento de los estudiantes se incluyan las capacidades y habilidades que posibiliten hacer una aplicación apropiada de los materiales instruccionales, los cuales pueden jugar un rol relevante en la comprensión de las entidades y procesos subyacentes al fenómeno físico de la electricidad.

En efecto, la naturaleza de esta investigación llevó a emplear una metodología de enfoque cualitativo, por estudio de casos interpretativo, la cual permitiera realizar un análisis inductivo de la implementación y evaluación del Objeto de Aprendizaje (OA) *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*, con un grupo de estudiantes de grado once. Cabe resaltar en este punto que, este estudio está guiado por el cuerpo teórico de los estudios de diseño, desde el cual se sostiene que los ambientes de aprendizaje de contenidos específicos evolucionan mediante procesos cíclicos iterativos de diseño, implementación y evaluación (Candela, 2016).

Dicho ciclo iterativo de diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje abre la posibilidad de producir materiales de enseñanza, como los OA, que sustenten como principio axial de diseño la coherencia intracurricular entre los elementos de la enseñanza (contenido bajo estudio, metas de aprendizaje, dificultades/limitaciones/ideas previas, metodologías de enseñanza, actividades de aprendizaje, y evaluación formativa del contenido). Esto resulta importante al conocer que la coherencia curricular de los materiales de enseñanza, es una característica considerada como determinante para que el éxito o fracaso de los estudiantes en las pruebas estandarizadas nacionales e internacionales (Agudelo, 2015; Candela, 2016; Cataño, 2016; Schmidt et al., 2005; Shwartz et al., 2008). Esta situación ha llevado a que, poco a poco, haya incrementado el interés por diseñar, implementar y evaluar materiales con esta característica.

Ahora bien, desde la investigación en educación en ciencias, se estima que el proceso de diseñar, implementar y evaluar ambientes de aprendizaje se debe desarrollar a partir de la relación sinérgica entre la teoría proveniente de la investigación educativa, y las prácticas del diseño y la enseñanza, de forma que se aporte a la reducción de la brecha existente entre la teoría y la práctica. Es así como, a través de este ciclo iterativo, es posible construir un conjunto de teorías de dominio

específico[1] sobre la enseñanza de un determinado contenido, que informen el diseño de un material de enseñanza con coherencia curricular, y asistan de forma oportuna a los docentes en su actividad profesional, al generar teorías-prácticas alineadas con la enseñanza del contenido bajo estudio (Wiley, 2000).

Considerando la importancia de los anteriores planteamientos, el Ministerio de Educación Nacional (MEN) creó cinco Centros de Innovación Educativa Regional (CIER), con el fin de impulsar el diseño y desarrollo de un amplio número de Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA) que constituyeran un banco de materiales educativos en Colombia. En el marco de esta iniciativa, se generaron OVA para los niveles de básica primaria, secundaria y media, cuyo diseño se sustentó en las teorías del aprendizaje, la pedagogía general, las teorías del diseño instruccional y la literatura en educación en ciencias. Con ello, se pretendió suministrar a los docentes materiales de enseñanza caracterizados por presentar coherencia curricular dentro del contexto nacional.

Es necesario señalar que una de las grandes dificultades que se presenta en los estudios de diseño, es la falta de implementación y evaluación de los materiales de enseñanza. Generalmente, numerosas instituciones se enfocan en el diseño de materiales de enseñanza, los cuales pueden presentar coherencia curricular, pero son pocas las que se preocupan por poner en práctica esos diseños, convirtiéndolos en letra muerta por falta de implementación. Esto representan más una debilidad que una fortaleza, pues no solo es importante diseñar ambientes de aprendizaje que apoyen la comprensión de contenidos específicos por parte de los estudiantes, sino que también es fundamental implementar y, sobre todo, evaluar estos diseños, de modo que no sean sólo una conjetura sin representación en aulas reales, con imposibilidad de validar las teorías de dominio específico que los subyacen.

De ahí que, la intención de este estudio se concentre en efectuar la implementación y la evaluación de uno de los OVA del MEN, diseñado por el CIER-Sur, que lleva por nombre *¿De*

[1] Las teorías de dominio específico, en los estudios de diseño, son los conocimientos que sustentan la toma de decisiones curriculares y de enseñanza sobre un contenido particular. Estos conocimientos provienen tanto de las teorías educativas de orden general, como de las teorías específicas de la educación en ciencias, que estén alineadas con el proceso de enseñanza-aprendizaje de un tópico específico.

dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa? Con estas dos acciones, se espera lograr revelar las fortalezas y las debilidades del ambiente de aprendizaje objeto de esta investigación. Así pues, con las fortalezas se pueden definir las teorías de dominio específico que sustentan las actividades que presentaron una mayor efectividad durante su implementación; por su parte, las debilidades permiten establecer los parámetros a considerar en el refinamiento de aquellas actividades que exhibieron un nivel de efectividad bajo. Por supuesto, esta información es de gran utilidad para potenciar el proceso de enseñanza de la institución educativa en la que se lleve a cabo el proceso iterativo de diseño, implementación y evaluación del ambiente de aprendizaje.

En este sentido, se emplea la estrategia metodológica del estudio de casos desde la perspectiva de Yin (2003), para dar solución al problema de investigación planteado. En consecuencia, se estructura la investigación en dos fases: Implementación y Evaluación del OA, *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* Además, se cumple con el criterio de uso de multiplicidad de fuentes documentales propias del ámbito del diseño de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos, al emplear fuentes como: Características Claves del Diseño (CCD), Observación participante, Videos de las sesiones de clase, Diario reflexivo del docente, Pretest, Postest, y Trabajos de los estudiantes.

Para concluir, vale la pena describir de manera breve los cuatro capítulos que constituyen este trabajo investigativo. En el Capítulo I se presenta el problema objeto de estudio, explicando la necesidad de implementar y evaluar un Objeto de Aprendizaje del área de ciencias naturales, asignatura de Física, y se exponen algunos antecedentes importantes alrededor de esta temática. El Capítulo II contiene el marco conceptual de referencia, que permite conocer las referencias documentales que se consultaron para argumentar de forma fundamentada las respuestas dadas a la investigación del caso; por ejemplo, se consultó acerca de los estudios de diseño, las teorías del diseño instruccional, la coherencia curricular como principio de diseño, las teorías de dominio específico, los objetos de aprendizaje, entre otros. El Capítulo III muestra la hipótesis, el objetivo general y los específicos de la investigación, y los aspectos metodológicos trabajados, referidos a la justificación de la selección del caso, la multiplicidad de fuentes documentales empleadas recoger la información, y manera en la que esta fue analizada. El Capítulo IV recoge los resultados obtenidos luego de la investigación desarrollada en el aula de clase, destacándose la importancia de adoptar los principios de diseño e implementación de ambientes de aprendizaje que ahora están

principalmente limitados a la teoría educativa, sin ser puestos en práctica en escenarios de enseñanza reales. Por último, se presentan las conclusiones derivadas del proceso de investigación, las referencias bibliográficas del estudio y los anexos que sirven como soporte a lo expuesto en este documento.

Capítulo I. Presentación del Problema

A continuación, se presentan los tres elementos esenciales que estructuran el objeto de estudio: (a) La justificación, donde se expone por qué es importante la implementación y evaluación de materiales de enseñanza; (b) Los antecedentes, que corresponde a la revisión de investigaciones que fundamentan teórica y metodológicamente esta investigación; y (c) El planteamiento del problema, el cual permite formular la pregunta de investigación que direcciona este estudio.

Justificación

Los investigadores del campo de la educación en ciencias desde mediados de la década de los ochenta llegaron al consenso de que la teoría proveniente de los estudios empíricos no está impactando las prácticas educativas. Es decir, se ha generado una ruptura entre la teoría proveniente de las investigaciones acerca de la enseñanza y aprendizaje y la práctica educativa en las aulas de ciencias (Leach et al., 2009). Por todo esto, Klopfer afirman que la educación en ciencias se encuentra en crisis.

Con el propósito de ayudar a disminuir la ruptura entre la teoría y la práctica educativa los investigadores en educación en ciencias finalizando el siglo XX, construyeron la línea de indagación denominada, *investigación basada en el diseño.* Esta perspectiva de investigación se ha focalizado 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 (Lagemann, 2002; Candela, 2016; Candela, 2019). Desde luego, este ciclo iterativo permite documentar los razonamientos y acciones pedagógicas realizadas por el profesor-diseñador a lo largo del diseño e implementación del respectivo ambiente de aprendizaje.

En este sentido, los ambientes de aprendizaje que son diseñados en el marco de los estudios de diseño los subyace unos razonamientos y acciones pedagógicas referentes a la enseñanza y aprendizaje de un contenido específico. Desde luego, estos razonamientos y acciones con el ánimo

de ayudar a disminuir la ruptura antes mencionada, deben estar fundamentadas por elementos teóricos y metodológicos provenientes de la literatura relacionadas con ámbitos como: la disciplina, la pedagogía, la didáctica, los referentes curriculares de orden estatal y la tecnología digital (Cobb y Gravemeijer, 2008). Así, el profesor-diseñador con la intención de sustentar teóricamente el diseño del ambiente de aprendizaje particular apoya sus decisiones curriculares e instruccionales tanto en la teoría proveniente de la investigación, como en la sabiduría que le otorga la experiencia.

Por otro lado, la investigación basada en el diseño ha comenzado a jugar un papel clave en el proceso de enculturación científica de los estudiantes de la escuela primaria y secundaria, como consecuencia a que uno de los propósitos que la subyace es el de ayudar a andamiar el aprendizaje de los contenidos que representan los fenómenos naturales de las ciencias. Para ello, ha hecho uso de las TIC como herramientas cognitivas desde argumentos pedagógicos (Candela, 2020). Así, las TIC en esta perspectiva son consideradas socias socio-cognitivas de los estudiantes, las cuales distribuyen las demandas cognitivas del aprendizaje de las ciencias.

Adicionalmente, los ambientes de aprendizaje diseñados en el marco de los estudios de diseño se caracterizan por sugerir una administración y gestión de la clase centrada más en los estudiantes que en los contenidos. Por supuesto, a esta perspectiva pedagógica la funda la intención de comprometer a los estudiantes con su aprendizaje a través de la transacción de significados y formas de significar propias del discurso de las ciencias. Naturalmente, para alcanzar esta expectativa curricular se diseñan secuencias de actividades, las cuales están configuradas por auténticos problemas, en lo posible articulados al mundo de la vida de los estudiantes.

En este sentido, los estudios de diseño por lo general generan dos productos, a saber: teorías de dominio específico y ambientes de aprendizaje de contenidos específicos potenciados por las TIC (Cobb y Gravemeijer, 2008). Por supuesto, el conjunto de teorías de dominio específico inicialmente es conjeturado a través del diseño, y posteriormente contrastado por medio de la implementación y evaluación del ambiente de aprendizaje en un contexto real de enseñanza.

Por todo esto, los diseñadores de las políticas educativas y curriculares a nivel internacional y nacional han emprendido la tarea de diseñar ambientes de aprendizaje de contenidos específicos potenciados por las TIC. Por ejemplo, el Ministerio Educación Nacional (MEN, 2009) asesorado

por diseñadores educativos de origen coreano y por profesionales de la educación colombianos, diseñaron y desarrollaron una serie de Objetos de Aprendizaje (en adelante OA) en el marco del proyecto *Construyendo capacidades en el uso de las TIC para innovar en la educación* del MEN, el cual se ejecutó durante los años 2012-2016. Este proyecto estuvo configurado por varios Centros Innovación Educativa Regional (CIER) adscriptos a algunas Universidades colombianas que fueron los encargados 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. Así pues, el CIER apoyado en los referentes curriculares y en la literatura sobre la educación en cada una de estas áreas de conocimiento, diseño y desarrollo los OA con el propósito de apoyar los procesos de alfabetización y enculturación académica de los estudiantes.

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. Por supuesto, este OA tuvo como meta curricular ayudar a los estudiantes de grado 11° a superar las dificultades y concepciones alternativas con las que llegan al aprendizaje del fenómeno físico estudiado. 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; Stocklmayer 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 acerca de cómo los estudiantes aprenden este contenido y cómo el profesor asiste este 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 aprendizaje. De ahí que, se considere que muchos de los OA de las ciencias se han quedado en la fase de conjetura o diseño, descuidando la

implementación y evaluación del ambiente de aprendizaje que permite contrastar las teorías de dominio específico que subyacen a éste.

En este sentido, en el contexto nacional se ha generado la necesidad de implementar los OA de aprendizaje diseñados y desarrollados por los Centro de Innovación Educativa Regional (en adelante CIER) con el ánimo de llevar a cabo una evaluación formativa y contextualizada a las teorías de dominio específico que fundamentan de manera general todos los OA, y forma particular el 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 en consideración, 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 ejercicio para continuar extendiendo la identificación y desarrollo del Conocimiento Pedagógico del Contenido de la corriente eléctrica (Blumenfeld et al., 2000).

Antecedentes

Los antecedentes que fundamentan teórica y metodológicamente el desarrollo de esta investigación, se clasifican de acuerdo al criterio de utilidad en el desarrollo de este estudio. En este sentido, se presentan antecedentes que sustentan la formulación del problema, la construcción del marco teórico, y el diseño metodológico. Conviene aclarar que, las categorías de esta clasificación son de naturaleza difusa, es decir, algunos antecedentes pueden apoyar la formulación de dos o más secciones de este trabajo de investigación.

1. Antecedentes que fundamentan el planteamiento del problema

Treviño (2011) elaboró un estado del arte detallado sobre el sustento teórico de los objetos de aprendizaje, en el que expone cómo se desarrollaron las dos generaciones de las teorías de diseño instruccional a través del tiempo y realidades sociales. También, el autor enfatiza que estos

objetos como medios de aprendizaje son valiosos para favorecer el desarrollo de las habilidades propias del aprendizaje autónomo (aprender a aprender). De ahí que sea relevante fomentar el rediseño de los OA, con el objetivo de que el estudiante no solo comprenda la temática enseñada, sino, además, pueda profundizar en el estudio de esta por sí mismo, aprovechando el uso de diferentes plataformas virtuales para dar respuesta a sus dudas y curiosidades.

Díaz y Castro (2018) diseñaron cinco objetos virtuales de aprendizaje (OVA) sobre cinco temáticas de ciencias naturales abordadas en el primer periodo académico de grado octavo, con el propósito de usar estos objetos como estrategia de aula para mejorar el desempeño académico de los estudiantes en dichos temas. Para definir esta estrategia, aplicaron inicialmente una encuesta sobre estrategias didácticas a los estudiantes con el fin de conocer sus percepciones acerca de las dinámicas de aula que consideran útiles para lograr aprendizajes significativos. También realizaron una evaluación diagnostica sobre las temáticas abordadas para identificar los aspectos a reforzar en los OVA. Adicionalmente, tuvieron en cuenta los registros de notas del primer periodo académico de ciencias naturales de grado octavo, en los últimos cinco años. Con estos datos y una revisión conceptual sobre aprendizaje significativo, competencias y estándares de ciencias naturales, elaboraron los cinco OVA para los temas objeto de trabajo, los cuales implementaron en las aulas de grado octavo de una institución educativa de Tolima. Durante la aplicación de las OVA, construyeron diarios de campo para documentar la eficiencia en el manejo del OVA, la receptividad, las posibilidades de implementación según los recursos disponibles, entre otros. Y, finalmente, hicieron entrevistas focales a grupos de estudiantes y una prueba evaluativa de cada tema. De acuerdo con los resultados obtenidos, después de la aplicación de las OVA, el desempeño académico de los estudiantes durante el primer periodo en el área de ciencias naturales mejoró en un 65,2 % en comparación con los años anteriores. Concluyeron que para la enseñanza de las temáticas de ciencias naturales se necesita utilizar estrategias diferentes a las tradicionales, las cuales ayuden a los estudiantes lograr una mejor comprensión. Estas nuevas estrategias deben aprovechar el contexto cotidiano para familiarizar a los estudiantes con los nuevos conceptos, e integrar las TIC como forma de despertar la curiosidad y estimular la concentración de los estudiantes en las actividades académicas.

Design-Based Research Collective (2003) argumenta que los métodos de investigación basados en el diseño constituyen una metodología coherente que une la investigación teórica y la

práctica educativa, aportando a superar la separación entre la investigación en educación y los problemas de la práctica diaria, la cual ha sido identificada por investigadores, formuladores de políticas y profesionales de la educación (National Research Council [NRC], 2002, como se citó en Design-Based Research Collective, 2003). Este colectivo señala que, en la investigación basada en el diseño, las intervenciones educativas se conciben de manera integral, es decir, estas se concretan a través de las interacciones entre los materiales, los docentes y los estudiantes, donde el contexto juega un papel central. Además, se explica que esta metodología de investigación va más allá de simplemente diseñar y probar intervenciones particulares, dado que estas las subyacen aspectos teóricos específicos sobre la enseñanza y el aprendizaje, y buscan comprender las relaciones entre la teoría, los materiales diseñados y la práctica. Simultáneamente, la investigación sobre intervenciones específicas puede aportar al perfeccionamiento de las teorías de la enseñanza y el aprendizaje. Los autores consideran que, debido a los métodos utilizados en la investigación basada en el diseño, esta tiene el poder de generar conocimiento que se aplica directamente a la práctica educativa. Finalmente, Design-Based Research Collective (2003) expresa que el desafío para este paradigma de investigación es desarrollar trayectorias de investigación flexibles que cumplan con ambos objetivos: refinar las innovaciones valiosas a nivel local y desarrollar un conocimiento más utilizable a nivel mundial para el campo de la educación.

Cobb et al. (2003), basados en su experiencia de llevar a cabo múltiples experimentos de diseño para distintos propósitos y entornos, plantean cinco características transversales que diferencian a los experimentos de diseño de otras metodologías. La primera característica tiene que ver con que el propósito del experimento de diseño es desarrollar una clase de teorías sobre el proceso de aprendizaje y los medios que están diseñados para apoyarlo. La segunda, es que la metodología de los estudios de diseño es de carácter altamente intervencionista, por ello estos estudios suelen funcionar como bancos de pruebas para la innovación. La tercera se refiere a que estos experimentos crean las condiciones para desarrollar teorías, pero, al mismo tiempo, deben ponerlas en peligro. Por esta razón, los experimentos de diseño cuentan con dos dimensiones: prospectiva y reflexiva. Estas dimensiones, en conjunto, dan como resultado la cuarta característica, el diseño iterativo, el cual presenta ciclos de invención y revisión. Y, la quinta, hace alusión a que las teorías desarrolladas durante el experimento de diseño son humildes no solo porque apuntan a procesos de aprendizaje específicos de dominio o área, sino también porque son responsables de la actividad del diseño. Es decir, estas teorías, al filtrarse de antemano, obtienen

un efecto instrumental, y tratan directamente sobre los tipos de problemas que los profesionales enfrentan en su quehacer. Estas características se aplican a los diferentes tipos de experimentos de diseño: a) Experimentos de diseño uno a uno (profesor-experimentador y alumno), b) Experimentos en el aula, c) Experimentos de formación de profesores en formación, d) Estudios de desarrollo docente en servicio y, e) Experimentos de reestructuración de escuelas y distritos escolares. Adicionalmente, los autores describen lo que implica la realización de un experimento de diseño, haciendo mención de: los aspectos a tener en cuenta durante el proceso de preparación del experimento, el equipo de investigación apropiado según el tipo de experimento de diseño, la importancia de documentar el proceso de diseño y la evolución de las conjeturas, la recopilación y coordinación de una serie compleja de fuentes de datos, entre otros. Finalizan enfatizando en el desafío que representa hacer un análisis retrospectivo sistemático de los amplios conjuntos de datos longitudinales generados durante un experimento de diseño, de manera que las descripciones situadas del aprendizaje resultantes sean confiables.

Collins et al. (2004) resaltan que la investigación de diseño une dos pilares fundamentales para mejorar la teoría y la práctica educativa: un enfoque de diseño y una evaluación de los elementos críticos del diseño. Los experimentos de diseño están contextualizados en entornos educativos, pero orientados a generalizar a partir de esos escenarios para guiar el proceso de diseño y de su refinamiento progresivo. Así, este tipo de investigación formativa llena un nicho en la gama de métodos experimentales necesarios para perfeccionar las prácticas educativas y sus principios teóricos. No obstante, indican que la investigación de diseño, como cualquier metodología, tiene algunas limitaciones a tener en cuenta. Al realizarse en entornos de aprendizaje reales, existen diversas variables que afectan el éxito del diseño, muchas de las cuales no se pueden controlar. Asimismo, en un experimento de diseño por lo regular se recopilan grandes cantidades de datos para analizar lo que está sucediendo con el aprendizaje, lo cual genera normalmente problemas para hacer la reducción de los datos. Estos aspectos hacen que las investigaciones de diseño sean difíciles de realizar. Los autores finalizan brindando pautas sobre la metodología para llevar a cabo adecuadamente este tipo de investigación. Dichas pautas abordan elementos como la implementación y modificación de un diseño, las múltiples maneras de analizar el diseño, la caracterización de las variables dependientes e independientes, y la forma de informar los hallazgos de la investigación de diseño.

2. Antecedentes que fundamentan el marco teórico

Candela (2016) afirma que el diseño educativo o la investigación basada en el diseño ayuda disminuir la ruptura entre la teoría y la práctica educativa en la escuela primaria y secundaria. Para ello, propone los siguientes tres principios que subyacen a esta perspectiva de investigación: principios del diseño de ambientes de aprendizaje, principios de la implementación de ambientes de aprendizaje, y principios de la evaluación de ambientes de aprendizaje. Adicionalmente, el autor ilustra de forma amplia las diferentes perspectivas del diseño educativo que existen en el campo de la educación en ciencias (p. ej., progresiones de aprendizaje, secuencias de enseñanza y aprendizaje, entre otras). También, destaca la coherencia curricular como uno de los principales elementos que debe orientar el diseño, la implementación y la evaluación de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos. Finalmente, en este texto se conceptualiza las principales teorías del aprendizaje y la pedagogía general necesarias en el ciclo iterativo del diseño.

Candela (2019) elabora una reflexión sobre los principales elementos teóricos y metodológicos que constituyen los estudios de diseño, con el fin de exponer las razones por las que la metodología de investigación basada en el diseño es una perspectiva novedosa de indagación educativa. Inicia conceptualizando los estudios de diseño como un paradigma de investigación relativamente novel, que ha generado un extenso marco conceptual el cual guía el diseño de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos en contexto reales. Presenta algunos de los fundamentos teóricos procedentes de Piaget y Vygotsky en los que se ha apoyado este paradigma. También, explica cómo han evolucionado los estudios de diseño como metodología de investigación y el carácter científico que se evidencia en la estructura lógica de este tipo de estudios. Y termina mencionando los principios que fundamentan esta metodología de investigación, los cuales sirven de heurística para orientar el trabajo de diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje. Concluye que los estudios de diseño logran establecer una relación sinérgica entre la investigación y la práctica del diseño con la enseñanza de contenidos. Para ello, los investigadores desarrollan las tareas de indagación en conjunto con los profesores, diseñando e implementando sistemáticamente ambientes de aprendizaje, con el objetivo de refinar los diseños y avanzar en propósitos pragmáticos y teóricos que afecten la experiencia de enseñanza-aprendizaje.

Candela y Cataño (2019) diseñaron una progresión de aprendizaje hipotética (HLP) para la enseñanza de la estequiometría con el fin de generar una propuesta para comenzar a superar la falta de coherencia intraunidad en los materiales instruccionales de las ciencias naturales. Emplearon una metodología cualitativa para hacer un análisis de contenido, desde la perspectiva de Krippendorff, a un conjunto amplio de textos y trabajos relacionados con las progresiones de aprendizaje y la estequiometría. Dicho análisis permitió precisar los principales elementos teóricos y metodológicos de este enfoque de diseño, realizar el marco conceptual y describir el proceso de diseño de la HLP de la estequiometría, basándose en los principios de diseño y la estructura de la HLP. Como resultados de la investigación, lograron construir el marco teórico para la HLP desde la metodología de los estudios de diseño, desarrollar las teorías de dominio específico para la enseñanza de la estequiometría y producir el material instruccional en formato digital. Concluyeron que las HLP, como paradigma emergente dentro del campo de la educación en ciencias, funcionan como una heurística oportuna para generar teorías de dominio específico y materiales instruccionales con coherencia curricular.

Garay et al. (2015), exponen en su libro cómo diseñaron un objeto de aprendizaje sobre el equilibrio químico dinámico con coherencia intracurricular. Por supuesto, dan cuenta del marco conceptual y metodológico que orientó dicho diseño. Comienzan conceptualizando las teorías de diseño instruccional de segunda generación, para luego abordar los principales elementos de la teoría instruccional denominada *Enseñanza y Aprendizaje para la Comprensión* de Perkins y Unger (1999), la cual brinda los principios de diseño desarrollados en la metodología. Y, finalizan explicando los principios teóricos de los Objetos de Aprendizaje. Una de sus conclusiones es que para que los OA puedan apoyar y enriquecer el acto educativo, estos deben ser diseñados bajo teorías del diseño instruccional que iluminen su construcción de forma curricularmente coherente.

Quintero (2009) desarrolló dos objetos de aprendizaje sobre contenidos educativos de nivel universitario, bajo el estándar de especificación LTSA (Arquitectura de Sistema Tecnológico para el Aprendizaje) y el modelo de diseño instruccional de Dick y Carey para permitir su reutilización. Su propósito con esto fue plantear una metodología de construcción de objetos de aprendizaje que permita responder a los requerimientos de estructura y estandarización de contenido, de forma que los OA puedan ser herramientas más fáciles de aprovechar dentro del acto educativo. Para esto aplicó un método de investigación documental buscando alcanzar, desde la perspectiva de diseño

instruccional, la calidad del contenido presente en los recursos a distancia. Afirma que de su metodología para la construcción de objetos de aprendizaje es posible deducir que, si se pueden diseñar OA reutilizables y estandarizados, los cuales permiten ser agregados y modificados con facilidad para adaptarlos a diversos contextos educativos y plataformas digitales.

En relación con las dificultades para el aprendizaje de la corriente eléctrica, la investigación de Borg Marks (2012) afirma que la enseñanza que reciben los estudiantes habitualmente está orientada a entrenarlos para usar ecuaciones que les permitan resolver ejercicios numéricos y recordar información para pasar un examen. De ahí que, brindar explicaciones cualitativas a preguntas relacionadas con la energía eléctrica sea una tarea difícil de hacer para ellos (Borg Marks, 2012). Esto significa que así logren aprobar los exámenes, la retención de lo enseñado es insuficiente. Si bien esto puede decirse de todas las temáticas, aquí toma mayor importancia al tratarse de conceptos abstractos que demandan que los estudiantes incorporen y usen representaciones mentales científicas (Borg Marks, 2012). Adicionalmente, Borg Marks (2012) sostiene que las ideas previas de los estudiantes son un aspecto que suele dejarse de lado por parte de los docentes, quizás por las limitaciones de tiempo para abordar todos los contenidos de la asignatura. Sin duda alguna, estos conocimientos iniciales no pueden ignorarse durante la enseñanza del fenómeno de corriente eléctrica, puesto que son vitales para lograr aprendizajes significativos. Sin embargo, esto solo es posible si los profesores conocen las concepciones alternativas que tienen los estudiantes sobre el tema y diseñan estrategias de enseñanza para mejorar el aprendizaje (Aguirre, 1988, como se citó en Borg Marks, 2012).

Cabe señalar que este estudio presenta un proyecto de investigación-acción sobre la enseñanza y el aprendizaje de los circuitos eléctricos, cuyo propósito es mejorar la efectividad de la enseñanza de este tema. Para ello, recopilaron datos de dos cohortes de estudiantes preuniversitarios de una institución educativa en Malta. Las ideas de los estudiantes se analizaron utilizando preguntas de diagnóstico formuladas en los pretests, postests y postests aplazados. Se realizaron entrevistas semiestructuradas con estudiantes de diferentes habilidades para denotar las representaciones mentales que parecían estar usando. De acuerdo a los resultados obtenidos, se planteó un modelo de aprendizaje unificado para los circuitos eléctricos, en términos de una secuencia de modelos mentales intermedios de corriente, resistencia y diferencia de potencial que conduzcan hacia la visión científica. Se concluyó que las actividades de enseñanza que promueven

la discusión y el razonamiento analógico motivan y comprometen en mayor medida a los estudiantes para comprender lo relacionado a los circuitos eléctricos, que solo memorizar información. Además, estas estrategias permiten a los docentes darle un ligero giro a su enseñanza, haciéndola más efectiva (Borg Marks, 2012).

Por su parte, Stocklmayer y Treagust (1996) en su artículo revisaron jerárquicamente los tipos de imágenes de la electricidad que tenían varios grupos: estudiantes de nivel educativo de secundaria, media, superior, docentes de secundaria y universitarios, y profesionales expertos en electricidad. Esto con el fin de determinar la importancia de las diferentes imágenes sobre electricidad para la práctica en el aula, buscando una imagen mental útil para comprender este fenómeno físico. Esta revisión la hicieron a través del estudio de varios autores y la realización de entrevistas a diversos grupos de estudiantes, docentes y expertos. Uno de los hallazgos más relevantes hace referencia a la dificultad que enfrentan los estudiantes al aprender electricidad como consecuencia a la naturaleza abstracta de este tópico, dado que pueden ver que un bombillo que se enciende, lo que indica que hay corriente en el circuito, más deben imaginar las cargas móviles en los cables, junto con las causas por las que se mueven. Asimismo, deben desarrollar imágenes mentales de cómo una resistencia controla la corriente junto con el voltaje de la batería, lo cual puede resultar difícil de realizar. Como conclusión, los autores afirman que es necesario abordar los problemas experimentados por los estudiantes para aprender este tema, ya que las investigaciones indican que ellos no lo comprenden y tienen imágenes mentales alejadas de los modelos teóricos de las ciencias. No obstante, los expertos en electricidad han desarrollado una imagen similar a un campo y no usan el antiguo modelo de corriente como *flujo de electrones*, por lo que se debería estudiar la utilidad de esta imagen para la enseñanza de este fenómeno (Stocklmayer y Treagust, 1996).

3. Antecedentes que fundamentan el diseño metodológico

Este conjunto de documentos brinda la posibilidad de identificar y apropiar una serie de elementos que direccionan el diseño de la perspectiva metodológica. En este sentido, permiten evidenciar que este estudio es de carácter mixto (CUALITATIVO-cuantitativo) focalizado en los datos de naturaleza cualitativa. Así pues, brindan la posibilidad de identificar las técnicas más apropiadas para recoger la base empírica que medie la evaluación del OA en consideración. Por ejemplo, la lectura de los documentos fundamenta la decisión referente a que la observación

participante, la entrevista semiestructurada, los trabajos de los estudiantes, el pre y postest son las técnicas de recolección de datos más apropiadas con la naturaleza de este estudio. Adicionalmente, este conjunto de manuscritos medió la identificación del modelo de evaluación tripartita utilizado en los procesos de evaluación de ambientes de aprendizaje.

Por tanto, Candela y Reyes (2018) implementaron y evaluaron un OA (las relaciones entre los factores abióticos y los seres vivos) en la escuela primaria, con el fin de contrastar las teorías de dominio específico (toma de decisiones curriculares e instruccionales) que fundamental el OA en cuestión. Es decir, compararon las intenciones de diseño (metas de aprendizaje y acciones de los estudiantes y profesor), con los aprendizajes logrados y las reales acciones llevadas a cabo durante la implementación. La metodología utilizada para dar solución al problema de investigación fue de carácter mixto focalizada en los datos cualitativos (cualitativa-cuantitativa). La evaluación estuvo direccionada por el modelo de evaluación tripartito de Alzaghibi (2010). Candela y Reyes (2018), concluyen que la eficacia de este OA depende tanto de las teorías de dominio específico sobre la enseñanza y aprendizaje del contenido específico, como de los razonamientos y acciones de los estudiantes y profesor durante la implementación. Por supuesto, el compromiso que tienen los estudiantes con su aprendizaje ejerce una fuerte influencia en la apropiación del contenido enseñado.

Alzaghibi (2010) en su tesis doctoral diseñó, implementó y evaluó una secuencia de enseñanza acerca de la nutrición de las plantas en estudiantes de la escuela secundaria. Para ello, utilizó la perspectiva de la investigación basada en el diseño, y una metodología por estudios de casos (cuatro profesores de ciencias y 131 estudiantes). El diseño fue evaluado usando el modelo que describe la asociación entre lo propuesto para los estudiantes y profesores, las metas de aprendizaje y lo que realmente realizaron los estudiantes y el profesor, y las metas de aprendizaje alcanzadas durante la implementación.

Planteamiento del Problema

El campo de la educación en ciencias a lo largo de su existencia ha desarrollado un rico marco conceptual y metodológico, cuyo fin descansa en ayudar a darle solución a las múltiples situaciones problemáticas de la enseñanza y aprendizaje de contenidos del currículo de las ciencias. Desde luego, las diferentes líneas de investigación que configuran dicho campo han generado una serie de constructos con el propósito de brindar a los profesores información

pertinente que ilumine el proceso del diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos (Collins et al, 2004; Candela, 2016). Naturalmente, a dichos constructos los subyace una perspectiva de la enseñanza de naturaleza sociocultural, donde se asumen al aula de ciencias como una comunidad de aprendizaje[2].

Conviene subrayar, que los anteriores marcos teóricos y metodológicos probablemente han informado e iluminado el diseño de las actuales reformas curriculares en educación en ciencias llevadas a cabo a nivel internacional y nacional (ej., lineamientos de educación en ciencias, estándares básicos de competencias, ciencia para todos los americanos, etc.). Si bien, a estas reformas la subyacen un conjunto de expectativas plausible, estas actualmente no se están alcanzando en el aula de ciencias, de hecho, los estudiantes siguen presentando las mismas dificultades/limitaciones y concepciones alternativas para alcanzar una comprensión profunda de los contenidos de las ciencias, situación que quizás vivieron sus antecesores durante la escolaridad.

En este sentido, los investigadores en educación en ciencias han llegado al consenso de que el campo de la educación en ciencias se encuentra en crisis, como consecuencia a que el cuerpo teórico proveniente de la investigación educativa no está impactando el aula de ciencias (Klopfer, 1983). En otras palabras, se ha generado una ruptura entre la teoría proveniente de los estudios de indagación y la práctica del diseño, y la enseñanza de conceptos específicos. De hecho, esta situación se traduce en una pobre comprensión conceptual e integrada que alcanzan los estudiantes 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 traducida 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. Desde luego, en la estructura lógica de dichos materiales no se ve claramente las

[2] La comunidad de aprendizaje es conceptualizada como el espacio físico, social y cultural donde los sujetos de manera individual y colectiva construyen una cultura del cómo aprender a lo largo de la vida. Así, los miembros de la comunidad comparten sus esfuerzos individuales y colectivos con el fin de alcanzar una comprensión profunda de un contenido disciplinar. En este sentido, ellos aprenden a sintetizar múltiples perspectivas; resolver problemas en una variedad de formas; y a usar los diversos conocimientos y habilidades que poseen los miembros de la comunidad como un recurso que media la solución de forma colaborativamente a los diversos problemas con los que se enfrente, y de esta manera poder alcanzar una comprensión del asunto en cuestión (Bielaczyc & Collins, 1999).

relaciones estrechas que deben de 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, contextos relevantes para el aprendizaje de las ideas fundamentales y prácticas científicas. En efecto, los investigadores del campo de la educación en ciencias, consideran que estas relaciones epistémicas entre los aspectos mencionados es uno de los factores altamente predictivo en el éxito o el fracaso de los estudiantes en la comprensión conceptual e integrada de un contenido determinado (Shwartz et al., 2008).

Esta situación problemática en el diseño e implementación de materiales de enseñanza estimuló a los miembros del campo de la educación en ciencias y la educación matemática a desarrollar y consolidar la línea de investigación de los estudios de diseño. Naturalmente, este ámbito de indagación tiene como objeto de estudio el diseño, la implementación y la evaluación de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos que ayuden a andamiar el aprendizaje por compresión conceptual e integrada.

En efecto, el diseño, la implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje de contenidos específicos, han comenzado a ser tenidos en cuenta por los educadores de profesores de ciencias, como consecuencia a que este ámbito de indagación produce una serie de teorías de dominio específico[3], las cuales informan e iluminan el desarrollo de materiales de enseñanza con coherencia curricular (Cobb et al., 2003; Collins et al., 2004; Cataño, 2016; Candela, 2016). Naturalmente, que los educadores de profesores consideran que las teorías de dominio específico le brindan información pertinente al profesor de la escuela acerca de cómo gestionar y representar

[3] Brown, (1990-1992) y Confrey, (2006) conceptualizan las teorías de dominio específico como un cuerpo de conocimiento que emergen durante el diseño de la enseñanza de un contenido particular. Así pues, el diseñador/profesor lleva a cabo una lectura analítica y reflexiva al conjunto de teorías de naturaleza general e intermedia (ej., teorías del aprendizaje, pedagogía general, lingüística, teorías de la enseñanza, literatura en educación en ciencias) con el propósito de encontrar elementos teóricos y metodológicos que sustenten la enseñanza y el aprendizaje de manera eficiente del contenido en cuestión. Es decir, las teorías de dominio específico describen las formas como los estudiantes aprenden un contenido y las estrategias y modelos de enseñanza que son necesarios para andamiar dicho aprendizaje.

la enseñanza de un contenido específico de forma efectiva (Cobb et al., 2003; Collins et al., 2004; Candela, 2016).

Ciertamente, el conjunto de teorías de dominio específico formuladas a partir de la toma de decisiones curriculares e instruccionales sobre la enseñanza de un contenido, deben ser validadas a través de la fase de implementación y evaluación, completando de esta forma el ciclo iterativo del diseño. Para ello, a lo largo de estas dos fases el investigador tiene que dar respuestas a interrogantes, tales como: ¿Qué métodos 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? (Reigeluth y Frick, 1999; Candela, 2016; Cobb et al., 2003).

En definitiva, este ciclo iterativo de diseño cumple con la función de mejorar los materiales de enseñanza y la práctica de enseñanza de contenidos específicos. Para ello, durante dicho ciclo se formulan, comunican y validan esta especie de teorías específicas con el fin de proporcionar a los profesores marcos teóricos y metodológicos que informen la práctica del diseño y la enseñanza de otros contenidos disciplinares (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 una serie de críticas. Por ejemplo, los educadores de profesores de ciencias y matemáticas 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. Desde luego, estas dos fases juegan un papel crítico en los estudios de diseño, dado que, permiten validar el conjunto de teorías de dominio específicos que fueron formuladas en la fase de diseño, situación que direcciona el rediseño del material de enseñanza en consideración (Design-Based Research Collective, 2003; Collins, 1992; Candela, 2016).

Por otro lado, la literatura en educación en ciencias ha dejado ver que la enseñanza y el aprendizaje de la electricidad, tema frecuente incluido en los programas curriculares de la escuela primaria y secundaria, es considerado un contenido complejo para que los estudiantes logren una compresión conceptual e integrada de éste (Becerra Rodríguez, 2014; Periago y Bohigas, 2005). Esta situación probablemente es generada debido a la naturaleza abstracta de este tópico, además,

al razonamiento causal lineal utilizado por los estudiantes cuando enfrentan la explicación de los fenómenos de la electricidad.

Los anteriores presupuestos permiten formular el siguiente interrogante de investigación, el cual direccionarán 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 fin de darle respuesta de esta interrogante se toma la decisión de formular las siguientes preguntas de orientación:

¿En qué forma las intenciones de diseño representadas en el Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*, fueron implementadas en el aula de física del grado once?

¿En qué grado los estudiantes desarrollan los conceptos y habilidades formuladas en el Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*

Capítulo II. Marco Conceptual de Referencia

Con el propósito de comenzar a construir un marco conceptual de referencia que oriente esta investigación, se considera pertinente iniciar con una breve presentación sobre los enfoques de la línea de investigación del diseño de la enseñanza conocidos como los estudios de diseño (metodología de investigación basada en el diseño) y las teorías del diseño instruccional, para luego exponer lo referente a la coherencia curricular y los objetos de aprendizaje.

Estudios de Diseño

En 1990 surgió un movimiento que pretendía desarrollar una nueva metodología de investigación que permitiera realizar estudios de intervención educativa, tomando como objeto central de estudio el aprendizaje de los estudiantes sobre un tópico específico, en contextos reales (Brown, 1992), Dicha metodología hoy se conoce bajo el rótulo *Metodología de investigación basada en el diseño* o estudios de diseño, la cual la comunidad en educación en ciencias considera relativamente novel. Sin embargo, este paradigma de investigación ha generado hasta el momento

un amplio marco conceptual que orienta acerca del diseño de ambientes de aprendizaje (Candela, 2016).

Cabe mencionar que en este paradigma emergente se toma en cuenta la tensión existente entre el diseño de ambientes de aprendizaje y su implementación, al no ser posible materializar todos los elementos que estructuran el diseño al llevarlo a cabo en aulas de clase reales. Con respecto a este problema, en términos de Brown y Campione (1996), se realiza una *mutación letal* en la que los objetivos y los principios que sustentan el diseño son debilitados por la manera en la que el diseño fue finalmente implementado.

De ahí que, los estudios de diseño sean conceptualizados como una metodología de investigación que relaciona los procesos de diseño de ambientes de aprendizaje orientados por una teoría, con los procesos de implementación y refinamiento, dirigidos por los datos (estrategias de enseñanza), en un contexto particular (Shavelson y Towne, 2002). Conviene destacar que este tipo de investigación posee un enfoque analítico que permite estudiar mecanismos fundamentados en ideas teóricas, que son probadas a través del diseño, la implementación y el estudio sistemático de instrumentos educativos como el currículo, las estrategias de enseñanza, las teorías de aprendizaje, y las teorías del diseño instruccional, los cuales representan las conjeturas iniciales de dichos mecanismos (Confrey, 2006).

En concordancia con ello, el propósito de esta metodología de investigación se centra en el diseño, la implementación y la evaluación de ambientes de aprendizaje, de tal forma que se generen guías útiles para apoyar el aprendizaje de tópicos específicos en los estudiantes, como un factor crítico para mejorar la educación (Lagemann, 2002). Como resultado, este paradigma investigativo aporta a la disminución de la brecha existente entre investigación en el campo educativo y los problemas de aprendizaje en contextos reales (Brown, 1992; Collins, 1992)**.**

En este sentido, los estudios de diseño buscan documentar qué conocimientos previos traen los estudiantes al aula, cómo es su interacción con los docentes, cómo emergen y cambian sus concepciones, y qué recursos fueron usados en este proceso. Además, dichos estudios se focalizan en cómo es la enseñanza en el transcurso de la sesión en el aula, estudiando el trabajo de los estudiantes, los registros de video y la evaluación en el aula (Candela, 2016).

Es así como, a través del proceso iterativo de diseño, implementación y evaluación, los investigadores prueban y refinan las conjeturas sobre el proceso de aprendizaje de un tópico específico. Con ello, finalmente, estos producen un nuevo marco teórico sobre el aprendizaje del tópico en cuestión (Confrey, 2006).

En definitiva, se considera que las innovaciones educativas desarrolladas desde los estudios de diseño, "encarnan afirmaciones teóricas específicas sobre la enseñanza y el aprendizaje, y nos ayudan a entender las relaciones entre la teoría educativa, el artefacto diseñado, y la práctica." (Design-Based Research Collective, 2003, p. 5). De este modo, se distingue en este paradigma emergente la posibilidad que ofrece de refinar los componentes claves para una intervención educativa, de manera que produzcan cambios significativos en los procesos de enseñanza y aprendizaje en las aulas de clase.

Ahora bien, en los estudios de diseño se han formulado algunos principios con los que se busca brindar una guía a los investigadores y docentes para el trabajo de diseño, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje, los cuales se presentan a continuación.

Principios de la Investigación del Diseño

No es difícil llegar a la conclusión que este tipo de investigaciones demandan de un equipo de trabajo de alta calidad, es decir, que la tarea de diseñar, implementar y evaluar un ambiente de aprendizaje, debe ser realizada por equipos de investigadores y docentes quienes utilizan metodologías de investigación de carácter mixto (cualitativa y cuantitativa) (Candela, 2016). Para llevar a cabo dicha tarea, se han elaborado unos principios que pueden servir como guía a los investigadores y docentes que la desarrollen, los cuales son:

Principios de Diseño de Ambientes de Aprendizaje. Los ambientes de aprendizaje, fruto de la investigación del diseño, se encuentran conformados por un conjunto de elementos y actividades de aprendizaje secuenciadas, temporalizadas y debidamente articuladas, formando así un sistema curricular coherente. De este modo, los diferentes componentes de los ambientes de aprendizaje configuran un sistema que cumple con el principio de la coherencia intra e intercurricular (Shwartz et al., 2008), siendo fundamentales para apoyar a los estudiantes en el aprendizaje de un tópico específico.

En este sentido, se consideran como principios de diseño los siguientes elementos:

1. Selección de un tópico o concepto generativo.
2. Descomposición y secuenciación del tópico seleccionado.
3. Formulación de las metas de aprendizaje.
4. Diseño de las estrategias de enseñanza de acuerdo con las metas de aprendizaje.
5. Diseño y secuenciación de actividades de aprendizaje que recojan cada una de las ideas que configuran al tópico.
6. Diseño de las estrategias de evaluación formativa.

Principios de la Implementación de un Diseño de Ambiente de Aprendizaje. La fase de implementación de un diseño es estimada como una de las fases claves dentro de todo estudio de diseño. Esto se debe a que la implementación da la posibilidad de verificar cómo los elementos críticos del diseño interactúan dentro de un contexto particular, siendo cada implementación de un diseño diferente, ya que depende de las características del contexto en el que se lleve a cabo. En otras palabras, esta fase permite evaluar la efectividad y eficiencia de cada uno de los elementos principales que conforman el ambiente de aprendizaje implementado. Desde luego, los investigadores trabajan de la mano con el docente durante esta fase, detectando fortalezas y debilidades del ambiente de aprendizaje producto de las teorías de diseño instruccional, con el fin de refinarlo (Candela, 2016).

Conviene mencionar que en la implementación, algunos elementos del diseño son puestos en juego en el aula más o menos como los diseñadores lo plantearon, en cambio otros no son considerados por el docente dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje. Naturalmente, estas decisiones dependen del sistema de conocimientos, creencias y valores del docente, quien lleva a cabo la enseñanza tomando en cuenta las características del contexto (Candela, 2016).

En síntesis, las afirmaciones anteriores se pueden recoger en los siguientes principios:

1. Identificación de elementos críticos del diseño y cómo interactúan en un determinado contexto.
2. Caracterización de cómo cada uno de los elementos que configura el diseño es direccionado durante la implementación.

En el siguiente apartado se presenta algunos elementos importantes acerca de las teorías del diseño instruccional, las cuales conforman uno de enfoques con los que cuenta la línea de investigación del diseño de la enseñanza, proveniente del contexto angloamericano.

Teorías del Diseño Instruccional

De acuerdo con Reigeluth (1999), las teorías del diseño instruccional son un cuerpo teórico y metodológico que orienta explícitamente la forma de enseñar un tópico específico, de manera que se apoye a unos determinados estudiantes tanto en su proceso de aprendizaje sobre dicho tópico, como en el desarrollo de esquemas de pensamiento de orden superior. Conviene aclarar, que estas teorías se diferencian de las teorías del aprendizaje y del currículo, ya que las primeras (diseño instruccional) se enfocan en brindar una orientación clara sobre cómo alcanzar las metas de aprendizaje, mientras que las segundas (aprendizaje y currículo) se concentran en describir cómo aprenden las personas o explicar los resultados de determinados hechos. Sin embargo, la teoría del diseño instruccional conserva una relación muy cercana con las teorías del aprendizaje y del currículo, complementándose entre sí (Reigeluth, 1999). Naturalmente, al elaborar el diseño de ambientes de aprendizaje, el diseñador de la enseñanza debe informar dicho diseño apoyándose en este conjunto de teorías, de manera que se dé a los estudiantes la posibilidad de lograr comprensión conceptual e integrada del tópico generativo elegido (Reigeluth, 1999).

En este sentido, las teorías del diseño instruccional permiten identificar métodos de enseñanza pertinentes para el abordaje en el aula de un tópico específico, es decir, formas para apoyar y facilitar el aprendizaje del tópico en los estudiantes; además de las situaciones en las que pueden o no ser utilizados estos métodos. Esto no quiere decir que estos métodos sean deterministas, sino que más bien son probabilísticos; en otras palabras, estos pueden incrementar la oportunidad de lograr las metas de aprendizaje, más que asegurar lograrlas (Candela, 2016).

De ahí que, se sostenga que la naturaleza de las teorías instruccionales es prescriptiva, debido a que estas brindan las bases para seleccionar cuáles métodos de enseñanza utilizar para enriquecer el logro de una determinada meta de aprendizaje. No obstante, es necesario dejar claro que estas teorías no son prescriptivas bajo el sentido de explicar específicamente qué debería de hacerse y que no, sin dar lugar a algunas modificaciones (Reigeluth, 1999).

A continuación, se explica brevemente la clasificación de las teorías del diseño instruccional en dos generaciones, con el fin de comprender mejor en qué consisten estas teorías en el contexto actual.

Teorías del Diseño Instruccional de Primera y Segunda Generación

A las teorías del diseño instruccional se las ha clasificado dentro de dos generaciones: primera generación del diseño instruccional (DI_1) y segunda generación del diseño instruccional (DI_2) (Garay y Reina, 2016). Dicha clasificación se debe al desarrollo que estas teorías han tenido, en búsqueda de responder a las necesidades de la sociedad.

Así, las teorías de la DI_1 surgieron en el contexto de la sociedad industrial, en la cual era necesaria una gran cantidad de mano de obra con habilidades específicas para la operación de maquinaria y las actividades de producción industrial. En consecuencia. la escuela en ese momento tenía la misión de preparar a las personas para ello, por lo que se apoyó en estas teorías de la DI_1 y en las teorías de aprendizaje de carácter conductual (Garay y Reina, 2016).

En efecto, las teorías de la DI_1 contaban con un enfoque principalmente conductista, ubicadas bajo el marco de las teorías de aprendizaje conductuales. Sin embargo, hacia el final de la primera generación, estas teorías fueron influenciadas por el cognitivismo, lográndose los primeros acercamientos del diseño instruccional con autores como Gagné, considerado el padre de esta nueva línea del diseño (Treviño, 2011). Durante el desarrollo de esta generación, se hicieron evidentes muchas limitaciones en cuanto a herramientas y metodologías para el soporte del diseño y desarrollo de materiales de enseñanza, razón por la cual se da apertura al surgimiento y avance de una nueva generación, la DI_2 (Treviño, 2011).

Las teorías de la DI_2 surgen en un contexto social y educativo diferente, en el que la sociedad de la información y el conocimiento requiere de la formación de personas con competencias para aprender a aprender a lo largo de la vida, de modo que puedan afrontar acertadamente los problemas complejos e inciertos de la cotidianidad, reflexionando y siendo propositivos frente a estos (Garay y Reina, 2016).

En virtud de ello, las teorías de la DI_2 se encuentran permeadas en mayor medida por las teorías de aprendizaje de perspectiva constructivista. Asimismo, se estima que estas teorías reciben aportes en su desarrollo de las teorías de corte cognitivista y socio-cultural, las cuales han influido

de manera importante en la transformación de las teorías de la DI_1 en las teorías de la DI_2 (Treviño, 2011).

Es pertinente precisar que los planteamientos teóricos utilizados para orientar e informar el diseño de los objetos de aprendizaje (OA) provienen de las teorías de la DI_2. Es decir, estas otorgan los elementos de aprendizaje y enseñanza que permiten la representación de los tópicos de modo coherente mediante los principios de diseño (Treviño, 2011).

Ahora bien, en el siguiente apartado se exponen cada una de las principales características de las teorías de la DI_2.

Principales Características de las Teorías de Diseño Instruccional de Segunda Generación. La naturaleza de las teorías del diseño instruccional de la segunda generación es prescriptiva, otorgando las bases para seleccionar los métodos de enseñanza que estén alineados con el alcance de las metas de aprendizaje que se tengan propuestas, favoreciendo la obtención de los resultados esperados del proceso de enseñanza-aprendizaje (Garay y Reina, 2016). Por este motivo, dichas teorías toman en consideración los tipos de aprendizaje que se quieren fomentar, para así dar las orientaciones de cómo debe ser la enseñanza que promueva esos aprendizajes (Reigeluth, 1999). Un ejemplo de ello es la Teoría Uno, en la que según Perkins (1995), para un aprendizaje cognitivo se precisa de los siguientes aspectos:

- Información clara: Presentar a los estudiantes los objetivos y conocimientos a aprender, además de los resultados esperados.
- Práctica reflexiva: Brindar la posibilidad a los estudiantes de participar de forma activa y reflexiva en su proceso de aprendizaje sobre un tópico específico.
- Retroalimentación informativa: Acompañar a los estudiantes en su proceso de aprendizaje de manera precisa, para que ellos puedan mejorar su rendimiento y desenvolverse de forma eficaz, lo cual implica monitorear constantemente su nivel de comprensión, confusión y compromiso.
- Fuerte motivación intrínseca o extrínseca: Plantear actividades que sean significativas para los estudiantes, ya sea porque son muy interesantes y atractivas en sí mismas, o porque permiten el alcance de logros que son importantes para ellos.

En definitiva, las teorías de diseño instruccional de segunda generación son resultado de los estudios que tienen como propósito encontrar alternativas sobre la forma de apoyar a los agentes educativos para enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, se considera necesario precisar las cinco características comunes que poseen estas teorías, para comprenderlas de manera más amplia. De acuerdo con Reigeluth (1999), dichas características son:

1. Orientadas al diseño.
2. Compuestas por métodos y situaciones.
3. Sus métodos están conformados por componentes específicos.
4. Sus métodos son de carácter probabilístico.
5. Reconocen la importancia del sistema de creencias y valores.

A continuación, se explica brevemente cada una de estas características.

1. Orientadas al diseño: Esta característica se refiere a que las teorías del diseño instruccional de segunda generación, se enfocan en los medios que posibilitan alcanzar las metas propuestas, es decir, se centran en cómo facilitar el aprendizaje. Por ello, se reconoce en estas teorías su naturaleza prescriptiva, al guiar la selección de qué método o métodos de enseñanza emplear para alcanzar una determinada meta de forma más efectiva, haciendo uso de las teorías del aprendizaje y del currículo. En este sentido, dicha naturaleza convierte a las teorías de diseño muy útiles para los docentes y diseñadores, al brindar una orientación explícita de cómo lograr las metas de aprendizaje propuestas, sin llegar a ser deterministas (Reigeluth, 1999).

2. Compuestas por métodos y situaciones: Estas teorías requieren de dos componentes esenciales: métodos y situaciones. Los primeros, brindan apoyo para facilitar el aprendizaje y el desarrollo. Por su parte, las situaciones de enseñanza, dan las indicaciones de cuándo hacer uso de aquellos métodos (Reigeluth, 1999). Con ello se pone en evidencia que estos métodos son de naturaleza situacional, no universal, es decir, puede que funcione mejor en una situación que en otra, a pesar de poseer las mismas metas u objetivos.

En este punto, cabe considerar los dos aspectos relevantes dentro de cualquier situación de enseñanza:

- Condiciones de la enseñanza

Estas hacen referencia a la naturaleza de lo que se va a aprender (concepto, habilidad, destreza, ...), lo cual varía para cada actividad diseñada; la naturaleza del estudiante (concepciones alternativas, dificultades de aprendizaje, ...); la naturaleza del ambiente de aprendizaje (número de estudiantes, hora de clase, trabajo en casa, trabajo en grupo, ...); y, la naturaleza de las limitaciones para el desarrollo de la enseñanza (tiempo requerido, materiales necesarios, ...). Estas condiciones deben ser tomadas en cuenta al momento de seleccionar los métodos de enseñanza, ya que pueden afectar que a través de dichos métodos se alcancen o no los resultados esperados (Perkins y Unger, 1999).

- Resultados de la enseñanza

Es necesario aclarar que este aspecto no se refiere únicamente a considerar las metas de aprendizaje, las cuales se incluyen en la primera característica descrita de las teorías instruccionales (Orientadas al diseño). Más bien, este aspecto hace alusión a los resultados educativos deseados de todo el proceso de enseñanza, para lo cual se estiman los niveles de efectividad, eficiencia y motivación. Así pues, el nivel de efectividad se refiere a qué tanto se alcanzaron las metas de aprendizaje, mientras que el nivel de eficiencia toma en cuenta el tiempo y el costo invertidos en el alcance de aquellas metas. Por su parte, el nivel de motivación alude al interés que presentan los estudiantes frente al proceso de enseñanza-aprendizaje (Perkins y Unger, 1999).

3. Sus métodos están conformados por componentes específicos: Esta característica apunta a que los métodos de enseñanza pueden desarrollarse de diferentes maneras, al constituirse por diversas características (Reigeluth, 1999). Para entender mejor esta idea, se retoma lo mencionado al respecto de la Teoría Uno, donde Perkins (1995) señala que uno de sus métodos es *Información clara*, el cual cuenta con los siguientes componentes:

- Identificación de las metas de aprendizaje.
- Seguimiento y orientación en el alcance de las metas.
- Ejemplificación de los conceptos tratados.
- Demostración
- Relación de los conocimientos nuevos con los antiguos, desde la contextualización.

- Legitimación de un nuevo concepto o procedimiento mediante principios ya conocidos por los estudiantes, con confrontaciones entre las representaciones.

Es decir, estos componentes, pertenecientes a un método más amplio, pueden desarrollarse de diversas formas en el aula, al momento de utilizar dicho método en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por ejemplo, las demostraciones pueden realizarse con el uso de distintos tipos de recursos, y la contextualización se puede hacer mediante situaciones problema, o desde la escucha de un diálogo, entre otros. En consecuencia, es necesario tener presente las condiciones y los resultados de la enseñanza a la hora de seleccionar los métodos, puesto que su efectividad depende en gran medida de dichos elementos.

4. Sus métodos son de carácter probabilístico: Esta es una de las características que más debe destacarse de las teorías del diseño instruccional, al definir que los métodos de enseñanza que las orientan son de carácter probabilístico. Dicho de otra forma, estos métodos no son deterministas, por lo que no garantizan el logro de las metas de aprendizaje propuestas, aunque sí incrementan las probabilidades de alcanzarlas (Reigeluth, 1999).

Se puede afirmar entonces que los métodos de enseñanza aquí sólo aumentan las posibilidades de lograr los resultados de enseñanza deseados. En este sentido, resulta imposible determinar la eficacia de un método de enseñanza, debido a que hay una diversidad de factores que influir en ello (Reigeluth, 1999). Por esta razón, el propósito general de las teorías del diseño instruccional, es orientar la ruta para poder alcanzar con mayor probabilidad de las metas propuestas.

5. Reconocen la importancia del sistema de creencias y valores: Esta característica se refiere a que las teorías de diseño instruccional identifican el papel primordial que tiene el sistema de valores y creencias en la toma de decisiones curriculares y de enseñanza. En virtud de ello, se entiende que este sistema afecta de forma importante las decisiones que el docente o el diseñador toma respecto a cuáles metas de aprendizaje son las más convenientes para fortalecer el proceso de aprendizaje y desarrollo de los estudiantes (Reigeluth, 1999). Es decir, se reconoce que dicha decisión no se toma sólo basándose en el conjunto de necesidades del contexto educativo, sino que también en ello el sistema de creencias y valores de las personas que diseñan el ambiente de

aprendizaje cumple una función importante, debido a que son ellas las que transforman el currículo estatal en un currículo planeado.

Asimismo, de acuerdo a las metas de aprendizaje que se hayan planteado, se puede elegir entre varios métodos de enseñanza que permitan alcanzarlas. Dicha elección dependerá indudablemente de los criterios que el diseñador utiliza para valorarlos, en los cuales se reflejan las creencias y valores que poseen los que elaboran el diseño del ambiente de aprendizaje (Reigeluth, 1999).

En conclusión, el principal atributo de las teorías del diseño instruccional de segunda generación es su fuerte interés por orientar un proceso de enseñanza y aprendizaje efectivo. Para ello, como se presentó previamente, estas teorías guían la selección de qué método o métodos son los más apropiados para alcanzar determinadas metas de aprendizaje, considerando las situaciones de enseñanza en las que pueden ser utilizados. Dichas situaciones permiten tomar en cuenta para aquella selección aspectos como: la naturaleza de lo que se va a enseñar; los intereses, las dificultades de aprendizaje y las concepciones alternativas de los estudiantes; las características del contexto; los materiales educativos requeridos; y el sistema de creencias y valores de los diseñadores. Adicionalmente, este tipo de teorías resaltan que estos métodos son de carácter probabilístico en lugar de determinista, y que cada método cuenta con unos componentes que permiten desarrollarlos de diversas formas en cada situación particular de enseñanza, admitiendo así que el proceso educativo es dinámico.

Coherencia Curricular como Principio de Diseño

En el diseño de ambientes de aprendizaje, se valora la coherencia curricular como uno de los elementos determinantes para lograr una comprensión conceptual del currículo de las ciencias por parte de los estudiantes. Esto se debe a que la coherencia curricular toma en consideración tres aspectos fundamentales: el primero, la secuenciación de las ideas esenciales para comprender los tópicos científicos a enseñar; el segundo, la profundidad con la que son estudiados estos tópicos dentro y a través de los grados; y por último, su alineación a las metas de aprendizaje que se hayan definido (Schmidt et al., 2005). Por lo tanto, que un ambiente de aprendizaje presente coherencia curricular significa que existe en este un ordenamiento lógico de dichos aspectos, lo cual permite el establecimiento de un sendero conceptual claro por el que los estudiantes puedan moverse, e ir construyendo un aprendizaje que les permita explicar y predecir fenómenos naturales de su entorno

(Candela, 2016). Es decir, la importancia de este elemento radica en que posibilita al estudiante establecer vínculos conceptuales y jerárquicos pertinentes para comprender lo desarrollado en el aula, relacionando los nuevos conceptos con los aprendidos anteriormente y con los que estudiará en un futuro, de manera que le encuentre sentido a lo aprendido (Candela, 2016).

En este sentido, la coherencia curricular en los ambientes de aprendizaje es considerado como uno de los principios de diseño fundamentales para el adecuado desarrollo y éxito de los procesos de enseñanza y aprendizaje (Schmidt et al., 2005). Sin embargo, existen dificultades relevantes por superar en el diseño curricular. De acuerdo con Kesidou y Roseman (2002), y Stern y Roseman (2004), se han identificado tres limitaciones primordiales en el currículo de USA, las cuales no son ajenas al sistema escolar de otros países. Una de ellas, se refiere a que los currículos en su mayoría abarcan una gran cantidad de temas a lo largo de la escolaridad, además de no elaborar un ajuste coherente de las metas de aprendizaje, las actividades de aprendizaje, las estrategias curriculares y de evaluación, con la edad de los estudiantes. Otra limitación hace alusión a la dispersión y fragmentación de las ideas fundamentales de la ciencia, y su relación dentro y a lo largo de los grados. La última limitación alude a que no se toman en consideración las creencias ni las concepciones alternativas de los estudiantes respecto a los tópicos abordados en clase.

Lo anterior, pone en evidencia la necesidad de un cambio importante en el diseño de ambientes de aprendizaje, los cuales apoyen adecuadamente a los estudiantes en el alcance de un aprendizaje por comprensión conceptual de los tópicos fundamentales del currículo de las ciencias. Para lograr esto, dichos ambientes deben presentar coherencia entre los elementos de la enseñanza, tales como: metas de aprendizaje; ideas centrales de la ciencia; prácticas científicas; conceptos transversales; dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas de los estudiantes, estrategias de enseñanza y de evaluación (Roseman, Linn y Koppal, 2008).

Así pues, la coherencia curricular presupone la comprensión conceptual progresiva sobre las ideas centrales de la disciplina científica por parte de los estudiantes, dentro de un mismo nivel y durante el desarrollo de los distintos grados escolares. Es decir, que ellos avancen poco a poco hacia formas de pensamiento más sofisticadas en la estructura de la disciplina correspondiente, alcanzando cada vez una comprensión más profunda, Cabe mencionar que este nivel de profundidad, permite establecer diferencias entre lo que la escuela debe ofrecer para la educación

formal básica de los ciudadanos, con lo que deben aprender sobre su disciplina quienes pertenecen a alguna especialidad particular (Schmidt et al., 2005).

Por otra parte, la investigación en el campo de la educación en ciencias ha establecido que la coherencia curricular se presenta en diferentes niveles, todos de igual importancia para el diseño, la implementación y evaluación de un ambiente de aprendizaje sobre un tópico de las ciencias. Entre los niveles de coherencia curricular evidenciados, se destacan: a) coherencia en las metas de aprendizaje; b) coherencia intracurricular entre el contenido, las metas de aprendizaje, las prácticas científicas y las actividades de aprendizaje; c) coherencia intercurricular que da soporte a las conexiones multidisciplinares y las dependencias; d) coherencia en los estándares de contenido; e) coherencia en la evaluación; f) coherencia en el lenguaje; y, g) coherencia en el material de enseñanza. Cabe aclarar, que cada uno de los anteriores niveles de coherencia curricular tiene sus propios retos, que deben ser asumidos en relación a las necesidades específicas de cada entorno (Candela, 2016).

En concordancia con lo expuesto sobre la coherencia curricular, se considera que este es un principio transversal en los diseños de ambientes de aprendizaje, ya que posibilita articular apropiadamente diversos aspectos fundamentales de ser tomados en cuenta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de un tópico particular de las ciencias. Así pues, dicha coherencia permite el alineamiento entre aspectos como: estándares de contenido, metas de aprendizaje, prácticas científicas, estrategias de enseñanza, actividades de aprendizaje y evaluación, todos ellos en relación a la enseñanza y aprendizaje de un tópico específico. Así pues, la coherencia curricular hace posible que estos aspectos se asocien debidamente para contribuir a que los estudiantes logren las metas propuestas mediante del currículo prescrito por el Estado, en correspondencia con las necesidades de un entorno y estudiantes específicos (Candela, 2016).

Objetos de Aprendizaje

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han generado grandes cambios en diversos aspectos de la sociedad actual, al aportar innovaciones tecnológicas tan extraordinarias como por ejemplo la Internet, la cual ha transformado totalmente la manera en que las personas se comunican y realizan negocios. Del mismo modo, Internet ha ocasionado un cambio de paradigma en la forma en que las personas aprenden. En este sentido, se ve la necesidad

de actualizar la manera en que los ambientes de aprendizaje son diseñados, desarrollados, y distribuidos a quienes desean aprender (Wiley, 2000).

En virtud de ello, las TIC se han convertido en una de las principales herramientas para construir ambientes de aprendizaje innovadores, los cuales requieren de nuevas estrategias de enseñanza y aprendizaje que permitan el fortalecimiento del proceso educativo, desde el aprovechamiento de los atributos de estas tecnologías (De Roux, 2009). De ahí que, en las teorías del diseño instruccional de segunda generación se ha seleccionado, para la creación de materiales educativos apoyados en TIC, los denominados *Objetos de Aprendizaje* (OA), puesto que poseen un alto nivel de generatividad, adaptabilidad y reutilización (Hodgins, 2000; Urdan y Weggen, 2000, como se citó en Wiley, 2000), lo cual los convierte en elementos que pueden enriquecer efectivamente la construcción de ambientes de aprendizaje.

Es preciso mencionar que en Colombia, desde hace algunos años el Ministerio de Educación Nacional (MEN) viene promoviendo proyectos vinculados a la producción, incorporación, uso y apropiación de los Objetos de Aprendizaje (OA) como recurso didáctico en los procesos de enseñanza y aprendizaje desarrollados en los niveles de educación primaria, secundaria y terciaria. Para ello, se ha contado con la participación de diferentes instituciones de educación superior en dichos proyectos, buscando la implementación de estrategias de diseño, construcción y gestión de contenidos basados en OA (De Roux, 2009).

De acuerdo con esto, se presenta a continuación algunos aspectos sobre los OA que son considerados relevantes de conocer, como su origen, concepto y características, así como el papel que juegan las teorías del diseño instruccional en ellos**.**

Origen de los Objetos de Aprendizaje

En un contexto en el que cada vez tomaba más popularidad la educación virtual, la demanda de cursos, seminarios y postgrados (en modalidades híbridas o a distancia) era cada vez mayor, por lo cual se centró la atención en el diseño y distribución de materiales educativos digitales. Vale aclarar que en dicho contexto, muchas organizaciones comenzaron a necesitar la capacitación eficiente de miembros localizados en lugares lejanos, lo que puso en evidencia la necesidad de contar con metodologías de diseño que permitieran optimizar el tiempo invertido en la elaboración

de los materiales educativos, minimizar las labores de rediseño y establecer una forma efectiva para su distribución (Astudillo, 2011).

Frente a esta necesidad, una de las propuestas que surgió y comenzó a fortalecerse fue la de "descomponer los contenidos en pequeñas partes que pudieran ser reensambladas (reutilizadas) en diferentes actividades." (Astudillo, 2011, p. 5). Dicha propuesta se sustenta en la idea que si los docentes reciben el material educativo en componentes individuales, ello puede aumentar tanto la velocidad y como la eficiencia del desarrollo de ese material (Wiley, 2000). Esta idea fue planteada inicialmente por Gerard en 1969, al sostener que las unidades curriculares podían ser descompuestas en partes más pequeñas para combinarlas como piezas ensamblables de un juego, de modo que se personalicen los programas de estudio para cada contexto. Asimismo, iniciando la década de los 90, David Merril propuso que se podía representar el conocimiento como objetos llamados *Frames* (contenedor), los cuales permiten enlazarse con otros para constituir un curso completo (Astudillo, 2011).

Ya en 1994, Wayne Hodgins usa por primera vez el término *Objeto de Aprendizaje* para denominar a su grupo en la organización Computer Education Managers Association (CedMa) como *Learning Architectures and Learning Objects*. La inspiración para este nombre surgió al ver jugando a sus hijos con piezas de LEGO. Dicha analogía mostraba una concepción de los OA como un conjunto de piezas independientes e intercambiables posibles de combinar entre sí, para crear diversas unidades de aprendizaje. Esta comparación generó polémica en la comunidad de investigación educativa, recibiendo críticas por parte de algunos autores, quienes sustentaban que un OA no puede ser combinado con cualquier otro, tal y como si es posible de hacerlo con los LEGO (Astudillo, 2011). Frente a ello, se propusieron otras analogías, como OA como átomos, como piezas de construcción o como células, con las que se intentaba dar una mejor explicación de lo que eran los Objetos de Aprendizaje. Sin embargo, ninguna de estas analogías nacidas de las discusiones académicas permitió llegar a un consenso para precisar un concepto sobre los OA (Astudillo, 2011).

De ahí que, en el periodo entre 1990 y 2004, la idea de Objeto de Aprendizaje siguió evolucionando, recibiendo así distintas nominaciones a partir de la mirada de diferentes autores, como por ejemplo *Topic* de L'Allier (1998, como se citó en Astudillo, 2011), *Reusable Information Object* (RIO) y *Reusable Learning Object* (RLO) desde Barritt, Lewis y Wieseler (1999),

Information object de Hodgins (2000), *Educational object* de Friesen (2001), y *Reusable Content Object* de ADL (2004, como se citó en Astudillo, 2011). No obstante, ninguna de estas acepciones que proponían modelos para el diseño de materiales educativos reutilizables logró establecerse de tal forma que consolidara la creación de un marco teórico para este nuevo paradigma de diseño de materiales educativos (Astudillo, 2011).

Como se puede inferir, ha sido difícil llegar a un consenso sobre qué es un Objeto de Aprendizaje. A continuación, se presentan algunas definiciones sobre OA estimadas como valiosas, y se exponen las principales características de estos recursos.

Concepto de los Objetos de Aprendizaje

En primera instancia, es necesario aclarar que existe una gran diversidad de definiciones acerca de lo que es un OA. Ello se debe a varios factores, entre los que es preciso destacar que, en un inicio, diferentes líneas de investigación desarrollaron simultáneamente la idea de pequeños paquetes de información que podían usarse (y reutilizarse) para construir unidades de aprendizaje. Dado que ninguna de estas líneas logró imponerse, se produjo una amplia variedad de definiciones referidas al mismo concepto (Astudillo, 2011). Por otra parte, otro factor que obstaculiza dar una definición unificada de esta idea, es lo difícil que resulta especificar, sincrónicamente, qué es y qué no es un OA. Es decir, el fracaso al intentar definir los Objetos de Aprendizaje, consiste en que se define de un modo tan amplio con el fin abarcar todo lo que este puede ser y, paralelamente, todo lo que no es (Parrish, 2004).

Tomando en cuenta el planteamiento anterior, se decide retomar en esta investigación sólo algunas de las definiciones estimadas como principales en el desarrollo del concepto de los OA. Así pues, una de las primeras definiciones dadas acerca de este concepto fue la de James L'Allier (1998), citado por Astudillo (2011, p. 15), quien definió los OA como "la experiencia de formación independiente más pequeña que contiene un objetivo, actividades de aprendizaje y una evaluación". Dicha definición enfatiza en la idea de independencia o autonomía pedagógica de estos objetos, es decir que un OA no debe depender de elementos externos al mismo. Igualmente, define lo que debe contener un objeto (objetivo, actividades y evaluación). Sin embargo, esto último restringe su reutilización, pues la evaluación debe ser definida en función del contexto; además, esta definición no especifica la naturaleza del material, es decir si es digital o no (Astudillo, 2011).

Por otra parte, David A. Wiley (2000) plantea la siguiente definición: “Los objetos de aprendizaje son elementos de un nuevo tipo de instrucción apoyada en los computadores, fundamentada en el paradigma orientado a objetos de la informática” (p. 2). Este autor explica que en dicho paradigma se le otorga gran valor a la construcción de componentes (llamados *objetos*) que ofrezcan la posibilidad de ser reutilizados en diversos contextos. Y es precisamente esta la idea fundamental detrás de los OA, es decir, lo que buscan los diseñadores en este ámbito es construir componentes educativos pequeños (en relación al tamaño de un curso completo) que puedan ser reutilizados muchas veces en distintos contextos de aprendizaje. Conviene subrayar que, por lo general, se entiende que estos objetos son de naturaleza digital, distribuidos a través de Internet, lo que le permite llegar a un indeterminado número de personas, quienes pueden acceder y utilizarlos simultáneamente, en contraste con los medios de enseñanza tradicionales. Adicionalmente, esta naturaleza brinda la posibilidad de colaborar y beneficiarse inmediatamente de nuevas versiones de un determinado OA (Wiley, 2000).

Las anteriores afirmaciones de Wiley (2000), permiten comprender de una forma un poco más amplia el concepto de los OA, entendiendo lo que estos significan, bajo qué paradigma se formulan, y algunas de las ventajas que estos traen. En congruencia con dichas afirmaciones, Parrish (2004) plantea que más que buscar una definición de OA, es considerarlos como un proceso o una estrategia, hablando de esta forma del diseño instruccional orientado a objetos. En este sentido sostiene que: “puede ser más útil […] hablar de ‘diseño instruccional orientado a objetos’, [entendido como] una estrategia para el diseño de contenido digital y actividades en línea que conformen unidades discretas, alcanzables y adaptables, con el fin de conseguir accesibilidad y mejorar la reusabilidad” (Parrish, 2004, pág. 6). De esta manera, Parrish apoya lo que Wiley manifiesta como la necesidad de “una teoría de diseño instruccional que brinde soporte al diseño y uso de los objetos de aprendizaje” (Wiley, 2000, pág. 5).

Ahora bien, considerando el contexto colombiano, el Ministerio de Educación Nacional (MEN) junto con Instituciones de Educación Superior del país, desde el año 2006 están desarrollando el proyecto *Banco Nacional de Objetos de Aprendizaje e Informativos*, que tiene como propósito a almacenar OA en Repositorios de Objetos de Aprendizaje (Zapata, 2009). Naturalmente, en el marco de este proyecto se hizo necesario contar con una definición para los

OA. Para tal fin, el MEN se fundamentó en la definición de Cisco Systems[4], proponiendo así que un objeto de aprendizaje es: "[...] conjunto de recursos digitales, auto contenible y reutilizable, con un propósito educativo y constituido por al menos tres componentes internos: contenidos, actividades de aprendizaje y elementos de contextualización." (Leal Fonseca, 2008, pág. 80). Además, se indica que un OA debe poseer una "estructura de información externa (metadatos) que facilite su almacenamiento, identificación y recuperación" (Leal Fonseca, 2008, pág. 80).

Es claro que esta definición del MEN deja explícitos varios conceptos fundamentales para un OA. Por ejemplo, establece que deben ser recursos digitales, reutilizables, diseñados con una intencionalidad educativa, contar con metadatos y ser autocontenidos. Cabe destacar que, también se indica cuál debe ser la estructura interna del OA: contenidos, actividades y elementos de contextualización.

En síntesis, si se analizan las definiciones presentadas hasta el momento, es posible observar que los distintos autores identifican ciertos rasgos propios de los objetos de aprendizaje, que incluyen en sus definiciones. Así pues, existe una concertación en que los OA deben ser:

- Recursos digitales
- Independientes
- Reutilizables
- Que apoyan el aprendizaje

Lo anterior, lleva a pensar sobre la necesidad de incorporar en la definición de estos objetos, un marco de referencia que permita conocer cuál debe ser la estructura interna de un OA. Vale aclarar que esto no implica una restricción al tipo de contenido de un objeto, sino que es un modo de establecer los requerimientos mínimos que éste debe poseer. Retomando los planteamientos de autores como L'Allier, Leal Fonseca, e instituciones como Cisco, o el MEN, en

[4] *Cisco Systems* es una empresa global estadounidense, principalmente dedicada a la fabricación, venta, mantenimiento y consultoría de equipos de telecomunicaciones.

los que determinan una estructura mínima para los OA, se identifica que estos objetos deben contar con:

- Objetivos
- Contenidos
- Actividades de aprendizaje

En este punto, se evidencia la importancia de analizar las características generales que se consideran deben tener los OA. Por ello, en seguida se exponen con brevedad las características más fundamentales que se le exigen a los OA para llevar a cabo su función educativa.

Características Principales de los Objetos de Aprendizaje

La comunidad científica ha concertado que las características esenciales que los OA deben presentar para ser calificados como tales, son: Accesibilidad, Interoperabilidad y Reusabilidad (Polsani, 2003). Es decir, estas características son las que han logrado mayor aceptación y consenso entre los grupos que investigan sobre esta temática. Por este motivo, se considera pertinente describirlas a continuación.

Accesibilidad: Esta característica hace alusión a que el OA de ser fácilmente identificado, buscado y encontrado, debido a su respectivo etiquetado mediante metadatos[5] que hacen posible su catalogación y almacenamiento en un repositorio específico (García Aretio, 2005). En otras palabras, esta propiedad básicamente se trata sobre que los OA estén disponibles para su uso por parte de docentes y estudiantes, de manera fácil y rápida. Para lograr esto, resulta conveniente que estos objetos cuenten con información pedagógica y tecnológica acerca de ellos, es decir, con metadatos.

Interoperabilidad: Se refiere a que un OA, localizado en un determinado lugar y desarrollado con algunas herramientas específicas, pueda ser usado en otra localización y con otras herramientas o plataformas (ADL, 2009). Dicho, en otros términos, los OA deben ser

[5] Datos que brindan información para el almacenamiento, búsqueda, selección y recuperación de OA a través de la referencia sobre sus atributos y propiedades en repositorios o bancos de objetos (MEN, 2009).

independientes del medio por el cual se distribuyen, de modo que se puedan emplear y trasladar entre distintas plataformas tecnológicas sin ninguna dificultad. Lo anterior implica que los OA no posean derechos de autor, debido a que estos limitarían de manera importante esta característica (McGreal, 2008).

Reusabilidad/Reutilización: Es necesario subrayar que, sobre esta característica, es en la que existe mayor acuerdo entre los diversos autores, destacándola como una de las características fundamentales de los OA. De hecho, según Sicilia (2005), examinando la variedad de definiciones existentes sobre estos objetos, se observa que en todas ellas se hace alguna referencia, explícita o no, a la posibilidad de ser reutilizados.

Así pues, esta característica de reutilización otorga un aspecto innovador al diseño de materiales educativos, tanto así, que se ha convertido en el sello propio de los objetos de aprendizaje, permitiéndoles distinguirse de otros materiales. Es preciso mencionar en este punto que la reutilización de un OA, de manera general, apunta su utilización como recurso didáctico digital, una y otra vez, en distintas áreas temáticas, plataformas tecnológicas y contextos de enseñanza, con el propósito de estructurar recursos más complejos (ADL, 2009; Astudillo, 2011; Hodgins, 2006; Wiley, 2000).

En este sentido, se pretende que un OA pueda ser diseñado a partir de otros provenientes de diferentes contextos, de modo tal que se construyan nuevos materiales de enseñanza con potencial de reutilizar muchas veces, invirtiendo así menos tiempo y dinero (Wiley, 2000). Es por ello que los OA deben ser materiales educativos posibles de descomponer en sus partes, lo cual haga factible su ensamblaje en otros materiales, articulándolo a las necesidades y las metas de aprendizaje propias de un determinado contexto de enseñanza (Reigeluth y Nelson, 1997).

Y ya que se menciona el aspecto de la contextualización, conviene subrayar que es de gran importancia considerarlo al hablar de la reutilización, dado que dicho aspecto incide sobre esta propiedad de los OA de manera significativa. Frente a esto, existe consenso en que hay una relación inversamente proporcional entre contexto y reutilización: a mayor grado de contextualización, menor grado de reutilización (Astudillo, 2011). Al respecto, Higgs et al. (2003) afirman que “Con el fin de maximizar su reutilización, los Objetos de Aprendizaje requieren minimizar la cantidad de información específica de un determinado contexto” (p. 11).

Sin embargo, como es sabido, en las teorías educativas de perspectiva constructivista se estima el contexto como un elemento valioso para propiciar aprendizajes significativos, por lo cual no se ve la conveniencia de separar el diseño del material educativo y el contexto (Higgs et al., 2003). Tomando en cuenta lo anterior, Zapata Ros (2005) expresa que es relevante considerar que un OA no es absolutamente reutilizable en cualquier contexto tecnológico y pedagógico. En este sentido, la propiedad de reutilización requiere prever los contextos posibles en los que el objeto puede llegar a ser utilizado, definiendo así su grado de reutilización. Lo anterior indica que esta característica no es única, sino que depende del contexto (Zapata Ros, 2005).

A modo de conclusión, se puede decir que los objetos de aprendizaje son materiales educativos de naturaleza tecnológica que tiene como principal característica la reutilización que se puede hacer de los mismos por parte de los docentes, quienes pueden acceder a estos objetos en los repositorios o bancos de objetos, debido a los metadatos. Asimismo, los OA pueden ser diseñados desde las iniciativas propias para la enseñanza de una unidad, a partir de otros OA, o de la combinación de ambas. Con ello se pretende aportar a que los docentes no inicien desde cero al momento de diseñar sus materiales de enseñanza, aumentando así la velocidad de producción y disminuyendo los recursos invertidos en esta tarea. Finalmente, vale aclarar que en el diseño de los OA, es indispensable tener en cuenta los principios de diseño proporcionados por las teorías instruccionales y de aprendizaje, las cuales apoyan la toma de decisiones curriculares, pedagógicas y tecnológicas más pertinentes para lograr el alcance de las metas de aprendizaje propuestas frente al abordaje de un tópico particular.

Análisis conceptual sobre la corriente eléctrica

A continuación, se desarrollan los siguientes elementos conceptuales relacionados con el estudio de la corriente eléctrica: energía eléctrica, corriente eléctrica, flujo de cargas, corriente continua y corriente alterna, ley de Ohm, circuitos en serie, circuitos en paralelo, efecto joule y el impacto socio ambiental de las termoeléctricas e hidroeléctricas.

Energía eléctrica

De manera sencilla, se puede decir que la electricidad es una forma de energía basada en los electrones que forman parte de los átomos, los cuales estructuran todos los materiales. El exceso o pérdida de electrones en un material causa que éste adquiera una carga eléctrica negativa o positiva, respectivamente (Hernández y Colmenar, 2014). Los electrones son partículas cuyo

desplazamiento a través de un conductor produce corriente eléctrica, concepto que se ampliará en el siguiente subtítulo (Fowler, 1994).

Esta es la forma de energía más usada en la cotidianidad, lo cual la hace muy importante. Sin energía eléctrica, la vida de la especie humana transcurriría de manera muy distinta y muchas tareas serían más difíciles de lograr. Es evidente la trascendencia de este fenómeno para el desarrollo de la sociedad. No existe actualmente ninguna ciudad, por pequeña que sea, que no utilice energía eléctrica para su alumbrado, transporte, comunicaciones, entre otros aspectos.

Son varias las ventajas que hacen que la electricidad sea utilizada de forma tan amplia y, por lo tanto, tenga tanta importancia. La energía eléctrica puede ser convertida rápida y eficazmente en otras formas de energía como la térmica, la lumínica y la química. Además, este tipo de energía se puede transportar económicamente a grandes distancias para utilizarla donde sea necesario. Esta energía se puede manejar con facilidad y rapidez, lo que facilita su uso para diversos propósitos, como, por ejemplo, la maniobra de ascensores, la alimentación eléctrica de máquinas industriales y de aparatos electrodomésticos, la iluminación y la producción de temperaturas extremadamente elevadas en soldadores y hornos eléctricos. Asimismo, la energía eléctrica es una forma de energía limpia y segura, libre de productos de combustión como humos, cenizas y emanaciones (Purcell, 1988).

Corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el movimiento de partículas con el mismo tipo de carga eléctrica que se dirigen en un sentido a través de un conductor. Cabe mencionar que los portadores de la carga pueden ser electrones o protones. La naturaleza de los portadores de carga no es lo que interesa, sino solamente el transporte neto de carga eléctrica debido a su movimiento. La corriente eléctrica en un conductor es la cantidad de carga que pasa por un punto fijo del mismo por unidad de tiempo. Esta se expresa en culombios/s (C/s) o amperios (A). Una corriente de 1 amperio equivale a $6{,}24 \times 10^{18}$ cargas electrónicas elementales por segundo (Purcell, 1988).

Con esto se quiere enfatizar en que lo que cuenta es el transporte neto de carga, tomando en consideración su respectivo signo. Cargas negativas moviéndose hacia el este equivalen a cargas positivas moviéndose hacia el oeste. El agua que sale de una manguera puede decirse que transporta una gran cantidad de carga (cerca de 3×10^{33} electrones por gramo de agua). Pero, en

este caso, como con los electrones se mueve un número igual de protones, la corriente eléctrica es nula. Por otra parte, si se carga negativamente un hilo de nilón y se lo desplaza uniformemente a lo largo de un tubo no conductor, se obtendría una corriente eléctrica en sentido contrario al movimiento del hilo (Purcell, 1988).

Los términos más importantes referentes a la corriente eléctrica son: intensidad de corriente, diferencia de potencial y resistencia. Una manera de comprender más fácil la relación entre estos términos es hacer la analogía entre un circuito eléctrico simple y un sistema hidráulico. Se considera una bomba que envía agua por un tubo, en el cual existe un estrechamiento en un determinado punto. La cantidad de agua que pasa por dicho tubo se mide en litros por segundo, es decir se mide la cantidad de agua que pasa por un punto fijo del tubo en un tiempo dado. Hay agua en ese tubo todo el tiempo, tanto si funciona la bomba como si está parada; el objeto de ella es crear una diferencia de presión entre los extremos del tubo para que fluya el agua. Además, cuanto mayor sea la diferencia de presión, mayor es esa corriente. El otro factor que afecta a la corriente es la resistencia que ofrece el estrechamiento del tubo: es más difícil para el agua pasar por el estrechamiento que por el resto del tubo. Si ese estrechamiento se intensifica, aumentando la resistencia que produce, disminuye la cantidad de agua en movimiento (Ardley y Matthews, 1986).

Lo descrito anteriormente es similar en muchos sentidos el flujo de una corriente eléctrica dentro de un circuito. Una pila proporciona una diferencia de potencial (análoga a la diferencia de presión), que obliga a la corriente a pasar por el conductor. La intensidad de la corriente eléctrica (medida en culombios -carga por segundo, en analogía a litros por segundo) depende de su diferencia de potencial y de la resistencia que ofrecen a la corriente una serie de componentes (Ardley y Matthews, 1986).

Vale la pena finalizar mencionando que todo cuerpo con electrones libres capaces de moverse entre los átomos de su red cristalina se llama conductor. Una de las causas de este movimiento es la aplicación al conductor de una diferencia de potencial o voltaje.

Flujo de cargas

Para determinar si una sustancia es un conductor o un aislante, es importante tener presente el número de electrones de la órbita externa de sus átomos. Por ejemplo, el cobre solo tiene un electrón en la órbita externa, lo que indica que es un buen conductor. Este electrón, por ser el más

alejado del núcleo, la fuerza de atracción que tiene con este es mucho menor, siendo más fácil de arrancar de su órbita por una acción eléctrica. Un electrón extraído de su órbita se denomina electrón libre. Un átomo que ha perdido un electrón de su órbita externa se dice que está positivamente cargado, por lo que intentará atraer otros electrones libres para completar su órbita externa. El movimiento de estos electrones libres constituye el flujo de corriente eléctrica o flujo de cargas (Fowler, 1994).

Por su parte, aquellos átomos que cuentan con un gran número de electrones en la órbita externa, la fuerza de atracción con el núcleo es mucho mayor, haciendo más difícil extraer un electrón de dicha órbita. Las sustancias formadas por este tipo de átomos se denominan aislantes, puesto que no conducen la corriente eléctrica o presentan gran resistencia a su flujo (Fowler, 1994).

Corriente continua y corriente alterna

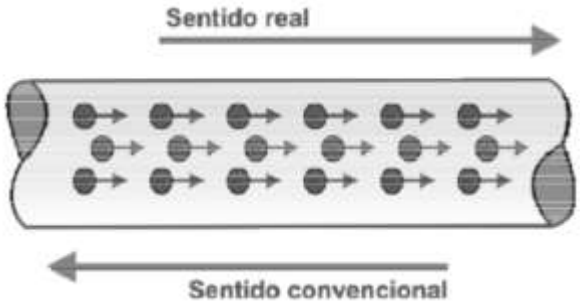
La corriente continua (CC) y la corriente alterna (CA) son los dos tipos de corriente eléctrica con los que se alimentan los circuitos eléctricos. Ambos tipos se diferencian en cómo varían en el tiempo el voltaje, incluyendo su polaridad, y el sentido de la corriente. La corriente que llega a los tomacorrientes de las viviendas es alterna, mientras que la que proporcionan las pilas y baterías es continua.

De manera concreta, se puede afirmar que la corriente continua es la que pasa por un circuito en el mismo sentido todo el tiempo. Por otra parte, la corriente alterna es la que cambia de sentido a intervalos regulares, usualmente muchas veces por segundo. En el caso de una corriente alterna de una intensidad determinada, cada segundo pasa la misma cantidad de carga, independientemente del sentido existente en cualquier momento dado (Ardley y Matthews, 1986).

Corriente continua. Se trata de un flujo de electrones en un mismo sentido (Ver figura 1). Para obtener dicha corriente se necesita un generador eléctrico cuya polaridad no varía en el tiempo, como es el caso de las pilas y baterías. De ahí que, las dos características primordiales de toda corriente continua son: flujo de electrones siempre en el mismo sentido y polaridad constante (Arboledas, 2014).

Figura 1

Ilustración del concepto de corriente continua

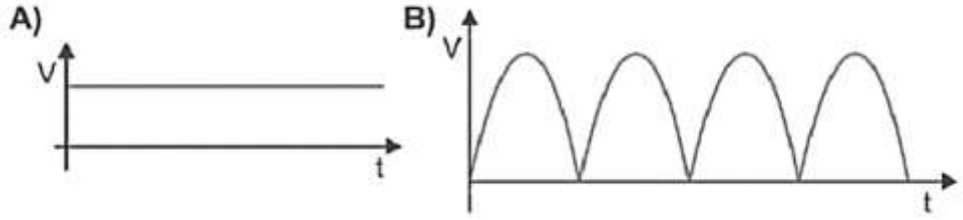


Nota. Tomada de Arboledas (2014, p. 95).

Los portadores de carga de una corriente continua pueden ser negativos o positivos, dependiendo de si se toma el sentido real o convencional de la circulación de la corriente eléctrica, como se señala en la figura 1. Sin embargo, esto no cambia el hecho de que la corriente continua tiene un único sentido de circulación de los portadores de carga. Lo mismo ocurre si los generadores entregan un voltaje constante o variable en el tiempo, pero mantienen la polaridad invariable (Ver figura 2; Arboledas, 2014).

Figura 2

Ejemplos de corriente continua

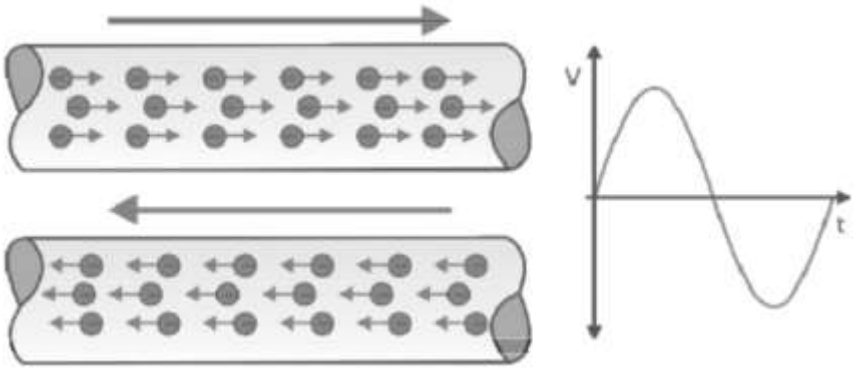


Nota. A) Corriente constante en voltaje y polaridad, B) Corriente variable en voltaje pero constante en polaridad. Ilustración tomada de Arboledas (2014, p. 96).

Corriente alterna. Se caracteriza por el hecho de que la corriente cambia alternativamente de sentido, es decir, que los electrones circulan en un sentido primero y luego en sentido opuesto (Ver figura 3; Arboledas, 2014).

Figura 3

Ilustración del concepto de corriente alterna

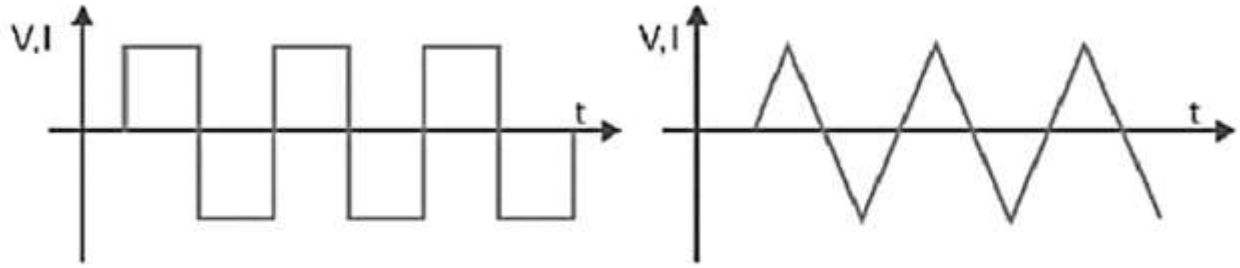


Nota. Tomada de Arboledas (2014, p. 78).

La gráfica obtenida al representar matemáticamente una corriente en función del tiempo se denomina forma de onda. La corriente alterna más usual es la que posee una onda en forma de seno. No obstante, existen corrientes alternas con otras formas, como la cuadrada y triangular (Ver figura 4; Arboledas, 2014).

Figura 4

Otras formas de onda diferentes a la sinusoidal



Nota. Tomada de Arboledas (2014, p. 79).

La gran mayoría de los aparatos eléctricos que se utilizan en las casas, como lavadoras, planchas, televisiones, ordenadores, entre muchos otros, emplean corriente alterna. Los motores y transformadores utilizados en diversidad de máquinas también trabajan con corrientes alternas, así como las señales empleadas en los sistemas de televisión y radio analógicas. A continuación, se

presenta la tabla 1 que compara las características más importantes de los tipos de corriente alterna y continua (Arboledas, 2014).

Tabla 1

Comparación entre corriente alterna y corriente continua.

	Corriente alterna	**Corriente continua**
Sentido de la corriente	Alterno	Fijo
Polaridad	Alterna	Fija
Magnitud de la tensión	Variable	Constante o variable
Amplificación	Sencilla	Compleja
Empleo de transformadores	Sencillo	No factible

Nota. Tomada de Arboledas (2014, p. 97).

Ley de Ohm

Esta ley permite establecer la relación existente entre la corriente, la resistencia y el voltaje en un circuito eléctrico. Representa una de las ecuaciones más importantes para el estudio de los circuitos eléctricos. La ley de Ohm facilita analizar cómo se comporta un circuito eléctrico, dar sentido a la información que brindan las etiquetas de los electrodomésticos y calcular su recibo de consumo eléctrico. Esta importante ley se expresa mediante la siguiente ecuación que matemáticamente no es difícil, pero sí es poderosa al poder ser aplicada a cualquier red en cualquier marco de tiempo. Es decir, se aplica a circuitos de corriente continua, de corriente alterna, circuitos digitales y de microondas (Boylestad, 2017).

$$Corriente = \frac{Diferencia\ de\ potencial\ o\ voltaje}{Resistencia}$$

$$\boldsymbol{I = \frac{V}{R}}$$

En la ecuación de la ley de Ohm, *I* significa la Intensidad de Corriente, *V* el Voltaje y *R* la Resistencia. Según las relaciones que determina esta ley, la corriente es proporcional al voltaje

aplicado e inversamente proporcional a la resistencia. Esto significa que si se aplica un voltaje alto a un circuito el resultado será una corriente alta. Otra idea que se puede inferir es que si no se aplica un voltaje a un circuito eléctrico, no habrá reacción en el sistema ni corriente en dicho circuito. Por tanto, la corriente es consecuencia del voltaje aplicado y no el factor que hace que el sistema se mueva. Naturalmente, a través de despejes simples, es posible determinar el voltaje y la resistencia en función de las otras dos cantidades (Boylestad, 2017).

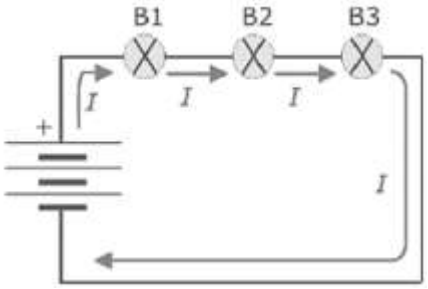
Cabe mencionar las unidades de medida del sistema internacional para cada término de la ecuación. La intensidad de corriente se mide en Amperios (A), el Voltaje en voltios (V) y la Resistencia en ohmios (**Ω**).

Circuito en serie

Según la forma en la que se conecten entre sí los receptores se habla, en esencia, de circuitos en serie y en paralelo. Un circuito en serie se forma cuando los receptores se unen de tal forma que la corriente dispone de una única trayectoria. Para que esto ocurra es necesario que las cargas se conecten a la fuente de alimentación una a continuación de la otra (Figura 5; Arboledas, 2014)

Figura 5

Circuito en serie



Nota. Solo existe una trayectoria cerrada para la corriente. Ilustración tomada de Arboledas (2014, p. 61).

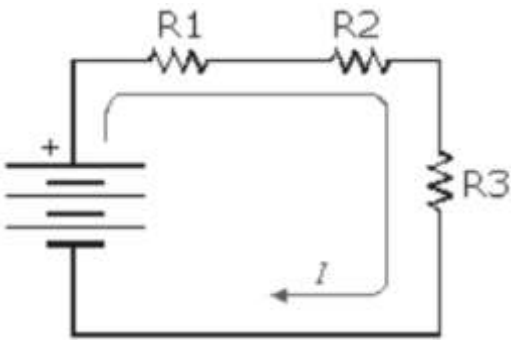
En este circuito, toda la corriente que sale del polo negativo de la batería circula por la bombilla B3, luego por la bombilla B2 y por último por la bombilla B1 antes de entrar por el polo positivo. Si por cualquier causa se interrumpe el paso de la corriente en algún punto del circuito, todas las bombillas se apagarán (Arboledas, 2014).

Circuitos en Serie con Resistencias. Se dice que se tiene un circuito con resistencias en serie cuando este cumple con las siguientes condiciones (Arboledas, 2014):

- Todas las resistencias del circuito, incluida además la fuente de alimentación, se encuentran conectadas una tras otra a través de los conductores para formar una línea o cadena (Ver figura 6).
- Sólo existe una trayectoria cerrada para la circulación de la corriente. Si el circuito se abre en cualquier punto ya no pasará corriente por ninguna resistencia.

Figura 6

Circuito de resistencias en serie



Nota. Las tres resistencias están unidas formando una cadena y que sólo existe una trayectoria para la corriente: la marcada por la flecha. Ilustración tomada de Arboledas (2014, p. 63).

Corriente en un circuito en serie. Dado que sólo existe una trayectoria cerrada, el número de electrones que atraviesa cada resistencia es el mismo y, por ende, también lo será la corriente. Por ello, es necesario tener muy presente que la intensidad de la corriente eléctrica I que circula a través de cualquier resistencia en un circuito en serie es la misma (Arboledas, 2014).

Voltaje en un circuito en serie. La fem suministrada por la fuente de voltaje a una asociación de resistencias en serie se distribuye a través de cada una de ellas. Según la ley de Ohm, la caída de voltaje que aparece en una resistencia es igual al producto de la intensidad de corriente que la atraviesa por el valor de su resistencia eléctrica, $V=I \cdot R$. Como la corriente es la misma para todas las resistencias en serie, la caída de voltaje será diferente en cada una, pues su valor dependerá de lo que valga R. Cuanto mayor sea el valor de la resistencia, mayor será la caída de voltaje, y viceversa (Arboledas, 2014).

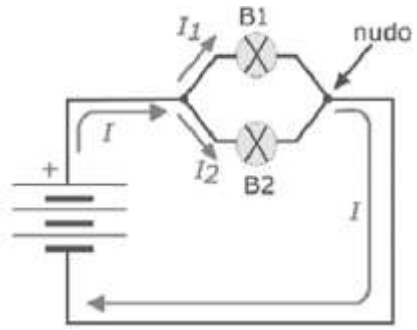
Resistencia equivalente en serie. En todo circuito, independientemente de cómo se unan sus receptores, la fuente de alimentación entregará una corriente $I = V/R_T$; donde R_T es la resistencia total o equivalente del circuito y V el voltaje entregado por la batería. Esto significa que la batería considera todo el conjunto de cargas como una única resistencia de valor R_T. Así, la resistencia equivalente en una asociación en serie de receptores es la suma de cada una de ellas (Arboledas, 2014).

Circuito en paralelo

Un circuito en paralelo se forma cuando los receptores se unen de tal modo que forman más de una trayectoria para la corriente. En un circuito en paralelo existirán nudos entre los que se repartirá la corriente. Un nudo es, por tanto, un punto de un circuito en el que se unen tres o más conductores (Ver figura 7).

Figura 7

Circuito en paralelo



Nota. La corriente I se bifurca en I_1 e I_2 al llegar al nudo. Ilustración tomada de Arboledas (2014, p. 62).

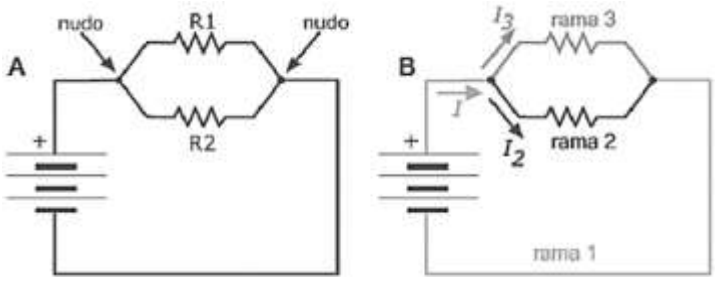
En este caso, la corriente de la batería se distribuye por las dos bombillas. Si por cualquier motivo se interrumpe la corriente a través de la bombilla B1, aquella seguirá circulando por la bombilla B2.

Circuitos en Paralelo con Resistencias. Un circuito está formado por resistencias en paralelo cuando cumple con lo siguiente (Arboledas, 2014):

- Todas las resistencias están unidas simultáneamente a los dos polos de la fuente de alimentación. Recordar que los puntos en los que se unen tres o más conductores se llaman nudos o nodos (Ver figura 8 A).
- Existe más de una trayectoria para el recorrido de la corriente. El camino eléctrico entre dos nudos consecutivos del circuito se conoce como rama. Esto significa que por cada rama circula una intensidad de corriente (Ver figura 8 B).

Figura 8

Circuito con dos resistencias en paralelo



Nota. A) Se observan los nudos, donde se juntan tres conductores, B) Al existir tres ramas, son tres las intensidades que recorren el circuito. Ilustración tomada de Arboledas (2014, p. 66).

Voltaje en un circuito en paralelo. En este tipo de circuito, las resistencias se unen directamente a la fuente de alimentación. Por ello, en todas ellas se debe producir la misma caída de voltaje (Arboledas, 2014). Esto significa que la caída de voltaje que se produce en cada resistencia de un circuito en paralelo, es la misma que el voltaje de alimentación.

Corriente en un circuito en paralelo. Aquí la corriente que suministra la batería (I_T) se distribuye en los nudos a través de las distintas ramas según la resistencia de cada una y de acuerdo con la ley de Ohm, $I_{rama} = V/R_{rama}$. Naturalmente, la suma de la corriente que recorre cada rama coincidirá con I_T. A medida que aumentan las cargas o receptores en un circuito en paralelo, también incrementa la corriente entregada por la batería (Arboledas, 2014). Es por esta razón que puede fundirse un fusible cuando se conectan demasiados aparatos. El circuito se sobrecarga, se demanda más corriente, y llega un momento en que se supera la capacidad nominal del fusible.

Resistencia equivalente en paralelo. La corriente total que entrega la fuente de alimentación depende de cuál es la resistencia equivalente o total del circuito. La batería, por tanto, considera

todo el conjunto de cargas como única resistencia de valor R_T. Cuando se hacen los cálculos para hallar la resistencia equivalente se debe considerar que la resistencia total es siempre menor que la menor de las resistencias en paralelo. Para resolver el cálculo de la resistencia equivalente de un circuito en paralelo, primero se deben hallar las inversas de cada una de las resistencias que forman el circuito. Luego, estas se suman y el resultado es la inversa de la resistencia equivalente (Arboledas, 2014).

Efecto Joule

El paso de la corriente eléctrica *I* a través de una resistencia *R*, implica una pérdida de energía *Q* en las cargas eléctricas, a la que le corresponde una potencia *P*. Esta energía se disipa en forma de calor en el conductor debido a las colisiones que sufren los electrones al moverse a través del mismo (Hernández y Colmenar, 2014). Este fenómeno físico es conocido normalmente como efecto Joule, en honor al físico inglés James Prescott Joule (1818-1889).

El efecto Joule supone la aplicación del principio de conservación de la energía a la transformación de energía eléctrica en energía calorífica. Su expresión matemática, teniendo en cuenta que 1 julio = 0,24 calorías, es:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (julios)} \Rightarrow Q = 0{,}24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ (calorías)}$$

Expresándose la intensidad *I* en amperios, la resistencia *R* en ohmios y el tiempo *t* en segundos.

A partir de la anterior fórmula, es posible expresar la potencia de una resistencia así:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

El efecto Joule puede ser deseable en aquellos casos en los que se quiera producir calor, como por ejemplo: estufas y aparatos de calefacción, fusibles, lámparas de incandescencia, entre otros artefactos. En otros casos, el efecto Joule es nocivo, como por ejemplo cuando provoca el calentamiento de las líneas eléctricas y máquinas eléctricas en general (Hernández y Colmenar, 2014).

Impacto socio ambiental de las termoeléctricas e hidroeléctricas

La electricidad no se encuentra disponible en la naturaleza, sino que es una energía secundaria que se obtiene a través de una fuente de energía primaria. La energía eléctrica se produce en instalaciones llamadas centrales. Existen varios tipos de centrales (Azcárate y Mingorance, 2002):

- Centrales térmicas clásicas, que funcionan por el calor procedente de la combustión de energías fósiles.
- Centrales nucleares, accionadas por el calor desprendido en la fisión del átomo.
- Centrales hidráulicas, que emplean la fuerza de la caída del agua.
- Centrales de energía renovable, que aprovechan todos los recursos renovables originados por el sol.

Estas instalaciones utilizan en cantidad determinada una fuente de energía primaria (agua, vapor, gas, carbón o petróleo) para hacer girar las paletas de una turbina, cuyo eje está conectado a un generador en el que hay unos imanes (rotor) que giran a gran velocidad en el interior de una gran bobina de cobre (estator), produciendo así electricidad. Este principio se aplica en casi todas las centrales eléctricas que funcionan en el mundo, salvo en el caso de las fotovoltaicas, donde la energía lumínica de la radiación solar se transforma directamente en energía eléctrica (Azcárate y Mingorance, 2002).

Considerando los intereses de este trabajo, se amplía a continuación la información acerca de las centrales termoeléctricas e hidroeléctricas. Además, se exponen de manera concreta sus respectivos impactos socio ambientales.

Centrales termoeléctricas. Aproximadamente el 63% de la electricidad mundial es de origen térmico. En estas centrales, se transforma la energía del carbón, fuel o gas en energía eléctrica. Está formada por los depósitos de combustibles, las calderas, las turbinas o máquinas térmicas y los alternadores o máquinas eléctricas (Azcárate y Mingorance, 2002).

Las centrales termoeléctricas tienen varios elementos en común: caldera, que produce el vapor que acciona las turbinas; turbina, que transforma la energía mecánica en corriente eléctrica; y generador eléctrico, conectado a los transformadores para transportar la energía. La única diferencia que existe entre este tipo de centrales es el tipo de combustible utilizado. No obstante,

el fundamento es el mismo: generar vapor de agua que mueva la turbina conectada al magneto del generador. En el caso de las centrales térmicas que usan carbón, petróleo o gas, su combustión permite el calentamiento del agua y su posterior evaporación (Azcárate y Mingorance, 2002).

En cuanto a sus impactos a nivel ambiental, es necesario enfocarse en aquellas centrales térmicas que hacen uso del carbón y el petróleo como combustible, dado que las que utilizan gas contaminan a menor escala. Al observar de forma amplia, se debe considerar, en primer lugar, la contaminación que se genera durante la obtención del combustible en su proceso de minería y extracción y, en segundo lugar, los efectos ambientales causados al quemar dicho combustible en la central (Soto, 2020).

En la producción de electricidad, el carbón y el petróleo emiten en su combustión varios productos contaminantes como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos, los cuales influyen directamente en el deterioro de la calidad del aire. Para evitar la contaminación local o próxima, las termoeléctricas poseen chimeneas de considerable altura, lo que hace que la contaminación química que producen se diluya mucho, pero esta se transporta a largas distancias, llegando a afectar a otras zonas e incluso a otros países. De este modo, las termoeléctricas producen gases de efecto invernadero a gran escala, que a su vez propician el calentamiento global (Soto, 2020).

Centrales hidroeléctricas. El funcionamiento de estas centrales tiene en común con las térmicas el grupo turbina-alternador, pero en este caso el movimiento rotativo de la turbina lo produce la energía cinética del agua en movimiento. Las hidroeléctricas son instalaciones que utilizan los saltos de agua para producir energía eléctrica. El principio básico es que el agua cae por acción de la gravedad e impulsa las turbinas que accionarán los generadores eléctricos. Según este principio, el potencial eléctrico de una central de este tipo depende del caudal de agua y la altura del salto (Azcárate y Mingorance, 2002):

$$P = Q \times h$$

Donde P es la potencia eléctrica que se genera en el alternador, Q es el caudal de agua y h es la altura del agua disponible.

Las condiciones climatológicas son un gran condicionante en la instalación de estas centrales, resultando desaconsejable ubicarlas en lugares con sequías prologadas o con aprovechamientos hidráulicos estacionales muy irregulares. Además, si se compara el rendimiento de este tipo de centrales con las centrales térmicas, se observa que en las primeras el rendimiento es elevado, llegando hasta el 90% (Azcárate y Mingorance, 2002).

Ahora bien, es importante mencionar los efectos negativos de tipo social y ambiental que han llegado a generar este tipo de centrales en las comunidades donde han sido construidas. Si bien Colombia cuenta con una fuerte riqueza en recurso hídrico que la hace propicia para la construcción de hidroeléctricas como principales fuentes generadoras de energía eléctrica, también estas implican varios impactos negativos relacionados con la pérdida de la biodiversidad por la fragmentación de los ecosistemas. Además, es común que las hidroeléctricas, debido a las características técnicas que demandan para su localización (salto hidráulico y caudales de agua suficiente), sean construidas en áreas apartadas donde habitan poblaciones vulnerables, que carecen de recursos económicos para suplir sus necesidades básicas, y donde aspectos vitales para garantizar su calidad de vida, como agua potable, caminos, escuelas, electricidad rural y centros de salud, entre otras, no existen o están desgastados. Es por ello que la ubicación de una hidroeléctrica en dichos lugares, debe realizarse considerando una serie de factores y medidas que repercutan más allá del período de construcción, para que durante el período de operación no impacten negativamente a las poblaciones (Grajales y Salazar, 2019).

Se sabe que las represas tienen un importante impacto sobre la biodiversidad, dado que afectan la dinámica de las poblaciones naturales y propician la pérdida de bosques a través de la fragmentación del hábitat en secciones, lo cual conlleva a un aislamiento de las secciones así como un aumento del efecto de borde. Esto, a su vez, origina efectos biológicos en diferentes especies, y es parte importante de los cambios en el paisaje y urbanización que van alterando los servicios ecosistémicos (Grajales y Salazar, 2019).

Esta pérdida de bosques implica la destrucción de los hábitats naturales, sobre todo por la construcción del área de embalse, lo que altera en gran medida la relación entre los ecosistemas y el comportamiento de las especies que los habitan. Esto se debe al cambio forzoso de las condiciones habituales, lo cual obliga a las especies a desplazarse a otros lugares donde puede que

sean aceptados o que sean presa de aquellos que habitan naturalmente allí (Grajales y Salazar, 2019).

Por último, se evidencian como principales impactos socioeconómicos por la construcción de estas centrales, la alteración de los ecosistemas como medio de sustento y la salud pública de la población. Es decir, se afecta la producción y modo de vida de las comunidades que son desplazadas, las cuales dependían de actividades agrícolas y pecuarias, que en la mayoría de casos son modificadas por efecto que produce la infraestructura sobre la fauna íctica y la actividad económica de la población humana. Estas situaciones atentan contra la seguridad y autonomía alimentaria de las comunidades. En cuanto a la salud, un impacto potencial es la presencia de enfermedades asociadas al agua debido a la pérdida o alteración de fuentes hídricas, y en los casos de desplazamiento o cambio de actividad económica, se dan por cambio en las condiciones de higiene del asentamiento en otros lugares (Grajales y Salazar, 2019).

Capítulo III. Diseño Metodológico

En este capítulo se presenta la propuesta metodológica con la que se dio respuesta a la pregunta de investigación. Por ende, se explican los objetivos, los aspectos metodológicos de este estudio, además del análisis de los datos cualitativos y cuantitativos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la efectividad de la secuencia de enseñanza - aprendizaje que configura el Objeto de Aprendizaje, en términos de las intenciones de diseño, las acciones y los resultados de aprendizaje esperados.

Objetivos específicos

1. Implementar y evaluar la secuencia de actividades de enseñanza-aprendizaje que constituyen el Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* como un mediador para la comprensión conceptual en los estudiantes del grado once.
2. Documentar las fortalezas y debilidades que provienen de la implementación del Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* con el

propósito que estas pueden ser utilizadas por los diseñadores durante la fase de rediseño del objeto en cuestión.

3. Determinar el índice de ganancia de aprendizaje alcanzado por los estudiantes de grado 11° durante la implementación del Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*

Aspectos Metodológicos de la Investigación

La perspectiva de investigación que permitió la recolección y 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 cualitativa permitieron comprender el caso en términos generales, en tanto, la base empírica cualitativa brindó la oportunidad de comprenderlo a profundidad. Asimismo, las afirmaciones provenientes de los datos cuantitativos permitieron triangular la serie de hipótesis que se generaron a lo largo de la recolección y análisis de la evidencia de carácter cualitativo (Hernández-Sampier y Mendoza, 2018).

Por todo esto, se argumenta que este enfoque mixto estuvo centrado en el conjunto de interacciones simbólicas, las cuales emergieron de las acciones sociales acontecidas durante la implementación del OA que representan el fenómeno de la corriente eléctrica. Así pues, el investigador teniendo siempre presente el problema, los objetivos y el marco teórico que fundamenta este estudio, fijo la mirada conceptual en aquellas interacciones de significado alineadas con las características claves del diseño, los razonamientos y acciones llevadas a cabo por los estudiantes y el profesor, y los aprendizajes logrados por los aprendices a lo largo de la implementación.

Descripción de la Metodología

De acuerdo con la revisión y el análisis realizado a diferentes documentos del enfoque de investigación de los estudios de diseño, se optó por emplear una metodología de investigación de perspectiva cualitativa-cuantitativa por estudio de casos. Al respecto, Yin (2003) sugiere hacer uso de la estrategia metodológica del estudio de casos cuando: se busca dar respuestas a preguntas de "cómo" o "por qué", se requieren diversas fuentes documentales para responder la pregunta de investigación, y el problema de investigación se caracteriza por ser contemporáneo. En efecto,

todos estos elementos están presentes en este estudio, al indagar sobre cómo implementar el OA diseñado en el aula, y evaluar los resultados de aprendizaje alcanzados en el proceso. Estos hallazgos logran explicitar las fortalezas y debilidades del ambiente de aprendizaje objeto de estudio, explicando por qué se alcanzan o no las metas de aprendizaje.

Por consiguiente, resultó adecuado utilizar este tipo de metodología para esta investigación, con la finalidad de comprender ampliamente la sinergia y complejidad de los elementos teóricos y metodológicos del material de enseñanza en un tiempo y lugar determinados. En otras palabras, el estudio de casos posibilitó analizar el caso a investigar dentro de su contexto real.

Ahora bien, Yin (2003) formula tres tipos de estudios de casos, según la finalidad de la investigación: exploratorio, descriptivo y explicativo. El primer tipo corresponde a un caso con el que se busca desarrollar una hipótesis o proposición; el segundo, tiene que ver con el desarrollo de una descripción de un fenómeno dentro de un determinado contexto; y el tercer tipo se vincula con estudios que investigan relaciones de causa y efecto.

Sin embargo, Alzaghibi (2010) considera que aunque es posible hacer un estudio de casos perteneciente a uno de aquellos tipos, también puede darse que un caso refleje los tres tipos en diferentes fases de la investigación. Así pues, más que distinguir de manera clara los tres tipos de casos, este autor propone entenderlos como focos que un mismo estudio de caso puede desarrollar en sus diferentes fases, y cuya combinación constituye el estudio de caso completo. Por su parte, los estudios de diseño están estructurados en tres fases: diseño, implementación y evaluación. Es por esto que Alzaghibi (2010), logra relacionar de forma biunívoca las fases de los estudios de diseño con los focos de la investigación por estudio de casos, tal como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2

Relación entre las fases de los estudios de diseño y los tipos de estudio de casos (Yin, 2003)

Estudios de diseño	Diseño del Ambiente de Aprendizaje	Implementación del Ambiente de Aprendizaje	Evaluación del Ambiente de Aprendizaje
Estudio de casos	Exploratorio	Descriptivo	Explicativo

Selección del Caso

Para seleccionar el caso, se usaron criterios pragmáticos[6] y estratégicos[7]. A fin de realizar la investigación, en primer lugar, se solicitó la autorización del rector de la institución educativa a intervenir y, luego, la de los padres de familia, quienes firmaron un consentimiento informado acerca de las actividades a efectuar en el aula. Esto último se hizo principalmente por la necesidad de realizar grabaciones de video en cada una de las sesiones en las que se implementó y evaluó el OA en cuestión. También, se contó con la disposición de los estudiantes de grado 11° para participar en las actividades, la cual es relevante en la búsqueda de cumplir con las metas planteadas en este estudio.

Es necesario indicar que, un factor que influyó en la selección de la muestra fue la conveniencia, es decir, se seleccionaron los participantes por su fácil accesibilidad, al ser estudiantes de la misma institución educativa en la que labora el profesor-investigador encargado de realizar este estudio. Esta situación se resalta como ventajosa, puesto que favorece la disposición de tiempo y participación por parte de los estudiantes, y el uso de los dispositivos tecnológicos de la institución. Efectivamente, el tiempo institucional que se tenía con ellos se empleó para la implementación del OA, durante la cual se expresaron de manera natural y auténtica, gracias a la confianza existente entre las partes.

Cabe indicar que, el profesor del caso estudiado trabaja en la institución educativa desde el año 1993, en el área de Ciencias Naturales, responsable de enseñar la asignatura de Física, en los grados décimo y once. Considerando esto, se seleccionó este último grado para realizar la implementación y evaluación del OA *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* Esto se debió a que la experiencia ha permitido evidenciar la dificultad de los estudiantes de grado 11° para comprender las ideas conceptuales relacionadas con los principios de la energía eléctrica. Se estimó que con la implementación y la evaluación del OA mencionado, se podía orientar a estos estudiantes en la comprensión gradual de este fenómeno físico.

---

[6] Realización o uso de acciones prácticas, no teóricas.
[7] Conjunto de acciones precisas y reflexionadas que buscan alcanzar un determinado fin.

Naturalmente, para concretar la realización de este estudio, se estructuró su procedimiento metodológico en dos fases: Implementación y Evaluación. Dichas fases recogen las acciones necesarias para dar cumplimiento a las expectativas enunciadas en los objetivos específicos y, de este modo responder la pregunta de investigación formulada. A continuación, se describe en qué consiste cada una de estas fases.

Fase de Implementación

Como lo deja entrever su nombre, en esta fase el docente lleva a la práctica el conjunto de actividades de aprendizaje que constituyen el OA en estudio. Por supuesto, la intención con estas actividades es asistir a los estudiantes de grado 11° en el aprendizaje del contenido de los principios de la energía eléctrica. Además, el desarrollo de las actividades de aprendizaje permite recoger información concerniente a las acciones del docente y de los estudiantes, y reunir evidencias del aprendizaje logrado por ellos, para finalmente contrastar lo diseñado, lo implementado y lo alcanzado en términos de aprendizaje.

Contexto del Caso. La Institución Educativa Eustaquio Palacios, presta el servicio de educación en los niveles de la básica y la media técnica vocacional, mediante 11 sedes localizadas en diferentes barrios pertenecientes a la comuna 20 del municipio de Santiago de Cali. Respecto a la infraestructura de la sede central de esta institución pública, puede mencionarse que cuenta con 36 aulas, entre las cuales, cuatro son utilizadas como salas de sistemas, una como sala de audiovisuales, otra como salón para las clases teóricas de educación física, además de poseer una cancha de fútbol y un auditorio para eventos culturales.

En las aulas de la sede educativa objeto de la intervención, se cuenta con la posibilidad de usar dispositivos tecnológicos como proyectores de video, parlantes, tabletas y computadores portátiles para el docente y los estudiantes, todo lo cual facilita la utilización y apropiación de los recursos educativos dispuestos en el OA en cuestión. En otras palabras, la institución educativa cuenta con las herramientas necesarias para efectuar la implementación y evaluación del OA con el que se pretende asistir a los estudiantes de grado 11° en la superación de las dificultades de aprendizaje para comprender los principios de la energía eléctrica.

Por último, conviene subrayar los lineamientos institucionales del centro educativo, el cual tiene como misión facilitar la apropiación del saber, en correspondencia con las necesidades

ambientales, sociales y laborales de la sociedad, formando personas proactivas, responsables y conscientes. Como propósito para el año 2020, la institución espera ser un espacio de convivencia que garantice el respeto a la dignidad humana y la unidad institucional, y fomente la educación integral de seres humanos competentes, con iniciativa, creatividad e innovación. Tomado en cuenta estos objetivos, con este trabajo de investigación se tiene la intención de aportar al mejoramiento y fortalecimiento continuo de la calidad educativa de la institución.

Estudiantes Participantes. Tal y como se indica en la tabla 3, el grupo de grado 11° que participó en esta investigación contó con 20 estudiantes, con edades entre los 16 y 18 años. De acuerdo con el Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la Institución Educativa a la que pertenecen los estudiantes participantes, estos en su mayoría provienen de barrios de la comuna 20, la cual es una de las que presenta los índices de violencia más altos de la ciudad de Cali, y en la que la tasa de escolaridad es aproximadamente del 42%. Este tipo de circunstancias influyen en el ambiente escolar y el rendimiento académico de los estudiantes, quienes llegan a la institución con dificultades de tipo conductual y cognitivo, facilitándose el surgimiento de riñas escolares y problemas de aprendizaje, relacionados a la falta de atención y apoyo desde el hogar.

Tabla 3

Relación Identificación de los participantes de la investigación

Institución educativa a la que pertenecen	Grado escolar	Edad de los estudiantes	Número de estudiantes
Eustaquio Palacios	11	16-18 años	20

Docente Participante. La implementación y evaluación del Objeto de Aprendizaje objeto de investigación, estuvo a cargo de un profesor titulado como licenciado en Matemáticas. Este docente posee una experiencia de 30 años enseñando en la básica secundaria y media asignaturas como Física, Matemáticas, Estadística, Geometría y ha ejercido en instituciones públicas y privadas, en las áreas de ciencias naturales (Ver tabla 4).

Tabla 4

Perfil del docente

Docente	Experiencia	Acciones en la implementación del OA
Licenciado en Matemáticas Especialista en Docencia Universitaria	Docente con 30 años de experiencia en básica secundaria y media. Ha estado a cargo de asignaturas como Física, Matemáticas, Estadística y Geometría	Documentarse acerca de las posibles dudas y dificultades que pueden presentar los estudiantes frente el contenido de la energía eléctrica. Informarse sobre las CCD planteadas para el OA, para poder estar atento en cada aspecto clave abordado durante la implementación de las actividades, y posteriormente hacer una comparación con los elementos de enseñanza dados. Preparar los implementos necesarios para desarrollar las actividades (proyector, computador, materiales de las actividades experimentales, material del estudiante). Orientar la realización de las actividades propuestas en el OA por parte de los estudiantes.

En la fase de implementación del estudio, el docente Alberto se encargó de llevar a la práctica el Objeto de Aprendizaje en cuestión, efectuando en un aula real el conjunto de actividades de aprendizaje contenidas en este ambiente de aprendizaje. Al mismo tiempo, cumplió la tarea de observador participante, para lo cual filmó las actividades ejecutadas con los estudiantes, e interactuó con ellos, recogiendo así información importante que brindó la posibilidad de comparar las intenciones de diseño, con las acciones y los aprendizajes alcanzados.

Aplicación del Conjunto de Actividades de Aprendizaje. La implementación de la secuencia de actividades del OA en cuestión se realizó entre los meses de septiembre y noviembre de 2019. Para ello, esta implementación se distribuyó en 14 sesiones de una duración de 90 minutos cada una, durante siete semanas.

Además, se aplicó un pretest y un postest a los estudiantes, con la finalidad de evidenciar tanto el estado inicial como el final de sus conocimientos y habilidades acerca del tópico estudiado. De esta manera, se hizo posible establecer la ganancia de aprendizaje de dicho tópico, luego de haber participado activamente en todas las actividades de aprendizaje del OA (Ver tabla 6).

Fase de Evaluación

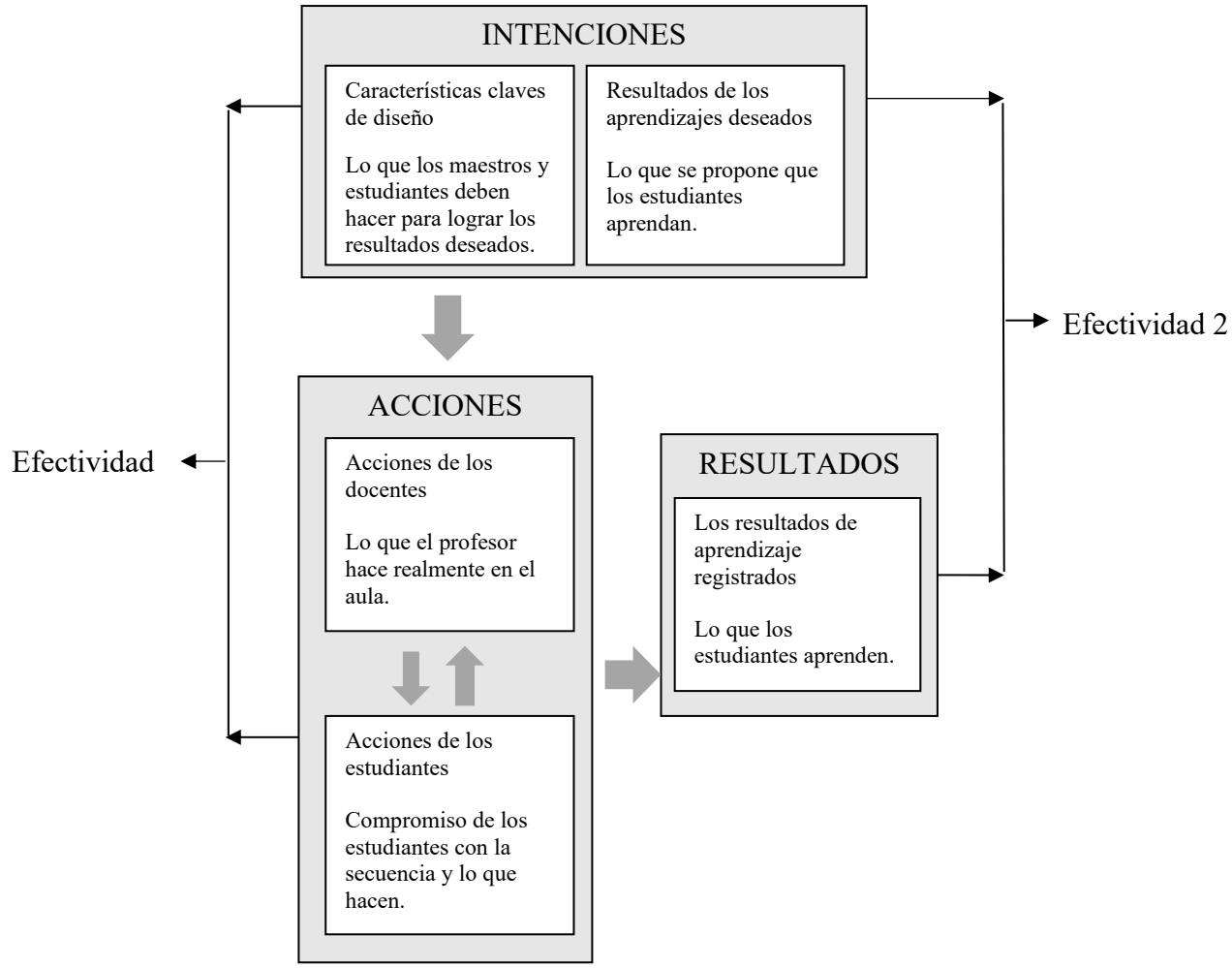
Para esta fase, se utilizó el modelo ampliado de evaluación de la efectividad de las secuencias de enseñanza (Alzaghibi, 2010), de naturaleza tripartita, el cual permite verificar la correspondencia entre (a) las intenciones de diseño (representadas por las CCD), (b) las acciones del profesor y los estudiantes, y (c) los aprendizajes logrados. De esta manera, dicho modelo suministró información de gran utilidad para evaluar la secuencia de actividades del Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*, subrayando sus fortalezas y limitaciones, a partir de lo cual se puede plantear una forma de mejorarlas con la finalidad de cumplir con las características de diseño. Desde luego, este modelo dio la posibilidad de llevar a cabo una evaluación formativa del OA, identificando y describiendo la relación entre los tres elementos mencionados.

En este sentido, el modelo se encamina a la evaluación del diseño de la secuencia de actividades y su implementación, analizando la correspondencia entre lo que se pretende, se aplica, y se logra. Con esta finalidad, Alzaghibi (2010) retoma el modelo de efectividad propuesto por Millar, Tiberghien y Maréchal (2002) para la evaluación de actividades de aprendizaje, y lo adapta para evaluar la efectividad de secuencias de enseñanza, agregando la relación entre las acciones del docente pretendidas en el diseño y las que realmente realizó. Así pues, el modelo ampliado de Alzaghibi (2010) se enfoca en tres aspectos: las Características Claves del Diseño (CCD)[8] (Ver sección *Características Claves del Diseño*), las acciones reales de los docentes y los estudiantes, y los aprendizajes alcanzados por estos últimos (Ver figura 9).

[8] En esta investigación, las Características Claves de Diseño (CCD) se identifican 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.

Figura 9

Modelo de evaluación de la secuencia de enseñanza



Nota. Modelo ampliado desde Millar (2002) por Alzaghibi (2010).

De acuerdo con lo expuesto en la figura 9, el modelo de evaluación ampliado de Alzaghibi (2010) se estructura a partir de tres componentes: Intenciones, Acciones y Resultados. El vínculo entre las intenciones y las acciones, llamado Efectividad 1, hace referencia a la correspondencia entre lo que se pretende implementar y lo que realmente se implementó. La importancia de evaluar esta correspondencia radica en que la documentación de la implementación real de la secuencia de actividades permite validar las intenciones de diseño o hipótesis de enseñanza, lo cual guiará la formulación de las pautas específicas para mejorarlas y/o fortalecerlas. Para ello, es necesario que

los resultados registrados estén basados en las formas cómo el docente y los estudiantes implementaron la secuencia de actividades de aprendizaje en el aula.

Ahora bien, dado que establecer la coincidencia entre todas las intenciones de diseño y todas las acciones del docente y estudiantes es una tarea compleja, resultó fundamental focalizar el rastreo de las acciones de los docentes y los estudiantes en siete Características Claves del Diseño (CCD) (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*). Con estas características fue posible evaluar si las intenciones de diseño del OA en cuestión realmente fueron llevadas a cabo en el aula.

Por su parte, el vínculo entre las intenciones y los resultados, denominado Efectividad 2, representa la correspondencia entre lo que se desea que los estudiantes aprendan (metas de aprendizaje) y lo que en realidad ellos lograron aprender a través del desarrollo de la secuencia de actividades del OA. Esto se constituye en un juicio básico de la calidad de dicha secuencia, por lo cual es relevante evaluarlo (Alzaghibi, 2010). Para tal fin, se utilizaron un pretest y un postest aplicado a los estudiantes, cuyos ítems recogen todos los conocimientos y habilidades planteadas en el OA puesto en práctica.

Los datos recolectados con estos instrumentos se analizaron a través del indicador estadístico de ganancia promedio de aprendizaje de Hake (1998), el cual brinda una medida aproximada de la efectividad de una secuencia de actividades para favorecer el aprendizaje sobre una temática. Desde luego, estos resultados cuantitativos aportan a la construcción de una teoría naturalística que otorgue un entendimiento profundo del caso sobre la implementación y evaluación del OA. En definitiva, la efectividad de una secuencia de actividades debe evaluarse con un modelo tripartito que tome bajo consideración lo diseñado (intensiones de diseño), lo implementado (acciones del docente y los estudiantes) y lo logrado (resultados de aprendizaje alcanzados).

Fuentes Documentales

Es característico de los estudios de diseño utilizar una variedad importante de fuentes que permitan recopilar suficiente información para la adecuada ejecución de las fases de diseño, implementación y evaluación de un ambiente de aprendizaje. En el caso de este estudio, cuyo propósito es evaluar la práctica del diseño y la enseñanza a partir de lo que se planea y se

implementa (PO-Efectividad 1)[9], y lo que se propone y se logra con la aplicación (PO-Efectividad 2)[10], se determinó la necesidad de emplear estas fuentes documentales: Características Claves del Diseño, Observación participante, Videos de las sesiones de clase, Diario reflexivo del docente, Pretest, Postest, y Trabajos de los estudiantes.

Características Claves del Diseño. El diseño del Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*, se encuentra informado por marcos teóricos educativos tanto generales como específicos. Esto quiere decir que, la toma de decisiones curriculares y metodológicas que sustentan el diseño de aquel OA, está orientada por un cuerpo de conocimientos procedente de: teorías del aprendizaje, teoría del currículo, conocimientos acerca de la integración pedagógica de las TIC, estrategias y modelos de enseñanza, lineamientos curriculares, estándares básicos de competencias en ciencias naturales, y literatura en educación en ciencias. En concreto, todos estos elementos teóricos posibilitan diseñar un Objeto de Aprendizaje con coherencia curricular.

Vale la pena indicar que para el diseño de los Objetos de Aprendizaje del área de ciencias naturales a nivel nacional, se formuló un currículo estatal, el cual se encuentra representado en la estructura lógica de los mismos. Dicho currículo se organiza en cinco unidades de aprendizaje enunciadas en forma de preguntas de indagación, a saber: Unidad 1 ¿Dónde estamos ubicados en tiempo y espacio?, Unidad 2 ¿De qué está hecho todo lo que nos rodea?, Unidad 3 ¿Cómo se relacionan los componentes del mundo?, Unidad 4 ¿Cómo cambian los componentes del mundo?, y Unidad 5 ¿Cómo transformamos el planeta? Por supuesto, cada una de estas unidades presenta una coherencia intra e intercurricular de la siguiente manera: la intracurricular, está representada en la alineación existente entre los elementos de la enseñanza como las ideas centrales de los contenidos bajo estudio, las metas de aprendizaje, las dificultades/limitaciones/ideas previas, las estrategias de enseñanza, las actividades de aprendizaje, y la evaluación formativa del contenido y las habilidades desarrolladas; por su parte, la intercurricular se manifiesta en la relación que

[9] Pregunta Orientadora 1 ¿De qué forma las intenciones de diseño representadas en el Objeto de Aprendizaje fueron implementadas?

[10] Pregunta Orientadora 2 ¿En qué grado los estudiantes desarrollaron los resultados de aprendizaje deseados?

poseen las metas de aprendizaje de las diferentes unidades, dentro y a través de todos los niveles de escolaridad.

De ahí que, el cuerpo de conocimientos que fundamenta el OA en cuestión, perteneciente a la Unidad 5, permite conocer el contenido y las actividades de aprendizaje que lo conforman, con sus correspondientes objetivos, estrategias de enseñanza, gestión del aula y evaluación formativa. Ciertamente, cada una de estas actividades se asocia a una de las cuatro fases del flujo de aprendizaje: Introducción, Desarrollo, Resumen y Tarea.

En definitiva, estos elementos hacen referencia a las intenciones de diseño con las que se pretenden abordar las metas de aprendizaje del OA bajo estudio, es decir, aluden a sus características claves del diseño. Específicamente, dichas intenciones están plasmadas en el material del docente y en la interfaz del Objeto. Cabe mencionar que estas intenciones representan las estrategias pedagógicas y otras características de diseño esenciales que el diseñador determinó para informar la elaboración y secuenciación de las actividades de aprendizaje que componen el OA, además de la manera de implementar estas en el aula. Este hecho permite que las características claves del diseño sean la base para evaluar estas actividades y las intenciones de diseño en las que se apoyan (Ver tabla 5).

Con la intención de obtener información que aporte a la evaluación del diseño del OA, se utilizaron los siguientes interrogantes que permiten identificar si en las CCD que fundamentan disciplinar, pedagógica y tecnológicamente este OA, están explícitos o no los siguientes elementos de la enseñanza del tópico de *Energía eléctrica*: metas de aprendizaje, justificación de la enseñanza de dicho contenido, dificultades de aprendizaje, concepciones alternativas, potencialidades de los recursos digitales y analógicos, y estrategias y modelos de enseñanza que ayuden a organizar y gestionar el aula de ciencias.

- ¿Qué meta de aprendizaje se pretende que los estudiantes alcancen?
- ¿Para qué se desea enseñar dicho contenido?
- ¿Cuáles son las dificultades que presentan los estudiantes para aprender dicho contenido?
- ¿Cuáles son los recursos analógicos o digitales que proponen utilizar a fin de ayudar a los estudiantes a aprender el contenido en consideración?

- ¿Qué estrategias y modelos de enseñanza proponen utilizar en el aula con el propósito de asistir a los estudiantes en el aprendizaje del contenido en cuestión?

Tabla 5

Características Claves del Diseño (CCD)

CCD1- Introducir a los estudiantes en el estudio de la energía eléctrica y conocer sus ideas previas al respecto
Con el propósito de iniciar a los estudiantes en el contenido bajo consideración, y hacer explícitos sus conocimientos previos al respecto, el docente, bajo una organización de aula no interactiva, les presenta unas imágenes y textos alusivos a las luces de navidad, para luego enfrentarlos a una situación problema relacionada con el funcionamiento de dichas luces. Les pide a los estudiantes brindar una posible solución a la situación planteada, la cual deberá darse a conocer a todos a través de una organización interactiva del aula. Después, el docente solicita a los estudiantes, organizados en pequeños grupos de discusión (3 a 4 estudiantes), proponer los posibles objetivos que consideran llegar a alcanzar con el contenido abordado, que serán desarrollados por medio de las actividades de aprendizaje. Finalmente, el docente expone el objetivo indicado por el OA, "Conocer los principios básicos por los que se transporta y utiliza la energía eléctrica", y lo compara con los objetivos planteados por los estudiantes. Identificación de los elementos de la enseñanza: En la CCD1 se manifiesta la meta de aprendizaje del tema abordado en el OA, los recursos digitales a utilizar (imágenes y textos alusivos a las luces de navidad), y las estrategias de enseñanza como: la organización del aula (dialógica, no interactiva, pequeños grupos), el reconocimiento de concepciones previas, y el uso de situaciones problema.
CCD2- Explicar la relación entre la corriente eléctrica y el flujo de cargas, y las similitudes y diferencias entre las corrientes continua y alterna
Con la finalidad de determinar la dirección y sentido de la corriente en un circuito, el docente enseña este aspecto empleando actividades tanto experimentales como teóricas. Para comenzar, bajo una organización no interactiva, muestra a los estudiantes una imagen de un circuito básico y les explica brevemente su funcionamiento, buscando generarles la necesidad de aprender al respecto. Además, para una mejor comprensión de este proceso, el docente hace una analogía con un circuito hidráulico, apoyándose en una imagen para ello. Posteriormente, con una organización en pequeños grupos de discusión (3 a 4 estudiantes), el docente plantea la construcción de una pila con la intención de representar el análisis químico del movimiento de los electrones. Los materiales y el procedimiento para dicha construcción son presentados mediante una actividad tipo paso a paso que brinda la información necesaria a los estudiantes para ello. Luego de construida esta pila, cada grupo debe responder cinco

interrogantes asociados al funcionamiento de la misma. Además, deben explicar el funcionamiento a nivel submicroscópico (atómico- teórico) de la pila escribiendo un texto, para lo cual pueden apoyarse, por ejemplo, en el modelo teórico del átomo de Niels Bohr. Después de socializar las respuestas dadas a las preguntas bajo una organización de aula interactiva, el docente expone el modelo teórico en cuestión, recogiendo las ideas surgidas en la socialización, pretendiendo alinearlas con los modelos de las ciencias.

Ya conociendo cómo funciona una pila eléctrica y hacia dónde se mueven los electrones dentro de un circuito simple, el docente propone a los estudiantes, en pequeños grupos, elaborar una brújula para determinar el sentido de circulación de la corriente eléctrica utilizando campo magnético. Al igual que en el experimento de la pila, el docente presenta los materiales y el procedimiento a los estudiantes con una actividad tipo paso a paso. Luego de realizado el montaje experimental, el docente solicita responder cinco preguntas que facilitan a los grupos analizar con mayor detalle la experiencia. Bajo una organización interactiva, el docente promueve la discusión en el aula, y retoma las respuestas e ideas surgidas en la misma, alineadas con los estándares científicos para presentar el modelo teórico acerca del sentido de circulación de la corriente eléctrica.

Abordado el concepto de corriente eléctrica, el docente indica a los estudiantes revisar las especificaciones de amperaje de las baterías de sus celulares, compararlas con las de algunos compañeros y explicar la razón de la diferencia.

Después, el docente pide realizar una lectura de manera individual en el material del estudiante, en la que se conceptualizan dos clases de corriente de uso cotidiano, continua y alterna. Durante la lectura, los estudiantes deben tomar notas acerca de estos conceptos, de modo que luego puedan responder un conjunto de preguntas alusivas al tema que los ayudan a reflexionar y apropiar los conocimientos trabajados. Adicionalmente, esta lectura se complementa con una animación y unas graficas de corrientes continua y alterna de voltaje vs tiempo.

Identificación de los elementos de la enseñanza: En la CCD2 se expresa la meta de aprendizaje de los subtemas trabajados, los recursos digitales y analógicos a usar (imagen de circuito básico y circuito hidráulico, actividad interactiva tipo paso a paso, construcción de una pila y una brújula, baterías de celular, material del estudiante, animación y gráficas de las corrientes continua y alterna), y las estrategias de enseñanza como: la organización del aula (interactiva, no interactiva, pequeños grupos), y el uso de actividades experimentales y teóricas.

CCD3- Comprender la Ley de Ohm e interpretar diagramas de circuitos en serie y en paralelo

Para determinar el modelo matemático de la ley de Ohm en circuito simple, y aplicar los modelos matemáticos respectivos a esta ley en los circuitos serie y paralelo, el docente inicia proponiendo una actividad experimental que consiste en construir un circuito simple, en pequeños grupos de discusión (3 a 4 estudiantes). Expone una pequeña introducción y luego, mediante un recurso interactivo paso a paso, presenta los materiales y el procedimiento necesarios para su construcción. Una vez hecho el montaje del circuito, el docente orienta la deducción de las leyes de la electricidad a partir de este, controlando dos variables: Resistencia y Voltaje. Además, plantea a los estudiantes una serie de preguntas y situaciones que les permiten comprender de

manera más profunda los aspectos trabajados en esta experiencia. Con una organización interactiva, el docente promueve una discusión en la que se socializan y sustentan las respuestas e ideas de los grupos, y destaca aquellas que están en coherencia con los estándares científicos para explicar el modelo teórico sobre ley de Ohm. Con el fin de fortalecer los conceptos de voltaje, corriente y resistencia, el docente pide a los estudiantes que apliquen la ley de Ohm y realicen los cálculos con su celular, tomando en consideración la importancia y el funcionamiento del cargador que viene con el dispositivo.

Ahora bien, para posibilitar a los estudiantes la aplicación de la ley de Ohm en los circuitos serie y paralelo, el docente explica cómo graficar un circuito eléctrico, apoyándose en una imagen de un circuito sencillo y dando a conocer los símbolos convencionales que se utilizan para representar la pila, el cable, el bombillo, el interruptor y el pulsador. Les solicita a los estudiantes realizar el esquema del circuito de la imagen, empleando la simbología adecuada, y construir dicho circuito, usando los materiales de la actividad anterior. Les brinda indicaciones para conectar este circuito en serie y les realiza un conjunto de cuestionamientos para analizar a mayor profundidad lo que sucede en este tipo de conexión.

Seguidamente, el docente hace uso de un recurso interactivo que les permite caracterizar cada una de las configuraciones de dichos circuitos (en serie y en paralelo). Para cada configuración, el docente propone unas preguntas que facilitan la reflexión y la apropiación de los conocimientos estudiados acerca de la aplicación de la ley de Ohm a estos casos, y realiza una explicación sobre el tipo de conexión. El docente finaliza presentando un ejemplo de ejercicio de circuitos que se resuelve usando la ley de Ohm, y deja a los estudiantes un trabajo que les demanda aplicar los conocimientos abordados en las actividades desarrolladas anteriormente.

Identificación de los elementos de la enseñanza: La CCD3 tiene explicita la meta de aprendizaje de los subtemas, al igual que los recursos digitales y analógicos a usar (actividad interactiva paso a paso, imagen de un circuito sencillo, construcción de un circuito simple, calculadora, recurso interactivo sobre circuitos), y las estrategias de enseñanza como: la organización del aula (interactiva, pequeños grupos), y el uso de preguntas para promover la reflexión y la apropiación de conocimientos. Sin embargo, no hay información sobre las dificultades de aprendizaje y la justificación de la enseñanza del contenido.

CCD4- Indagar sobre el efecto joule y su relación con las pérdidas de energía ocasionadas por el transporte en las líneas de alta tensión

En búsqueda de mostrar a los estudiantes que el fenómeno producido por el efecto joule es la principal causa de las pérdidas de energía que se dan en el transporte en las líneas de alta tensión, el docente exhibe unas imágenes referentes al calentamiento de material resistivo como filamentos de bombillo, resistencia de estufa, plancha, entre otros. A partir de la observación de las ilustraciones, el docente, bajo una organización interactiva del aula, plantea una serie de preguntas que llevan a analizar más a fondo el fenómeno representado en estas, y a establecer su relación con las redes eléctricas y las pérdidas de energía en el transporte en las líneas de alta tensión. Las ideas resultantes de la discusión que tengan concordancia con los estándares científicos, son retomadas por el docente para exponer el modelo teórico sobre el efecto joule,

utilizando textos, imágenes y fórmulas que explican dicho efecto, y apoyándose en la situación de las redes eléctricas.

En vista de que los estudiantes conocen el efecto joule, el docente los organiza en pequeños grupos de discusión (3 a 4 estudiantes) para que lleven a cabo una actividad experimental que radica en hacer brillar una mina de grafito. El docente les indica tanto los materiales como el sencillo procedimiento que se requiere para lograr dicha iluminación.

Identificación de los elementos de la enseñanza: En la CCD4 se menciona la meta de aprendizaje del subtema, los recursos digitales a utilizar (imágenes, textos y fórmulas sobre el efecto joule), y las estrategias de enseñanza como: la organización del aula (dialógica, pequeños grupos), y la realización de actividades experimentales.

CCD5- Analizar el impacto ambiental de las termoeléctricas y las hidroeléctricas en Colombia

Con el objetivo de estudiar las formas de producir corriente eléctrica en una termoeléctrica e hidroeléctrica y su respectivo impacto ambiental en el país, el docente plantea la realización de un debate utilizando la estrategia de enseñanza de juego de roles. En este sentido, asigna a la mitad del grupo el papel de central termoeléctrica, y la otra, el de central hidroeléctrica. Asimismo, les explica a los estudiantes que el debate debe concentrarse en defender, en cada caso, las formas de producir corriente eléctrica y el correspondiente impacto ambiental a nivel nacional. También, el docente designa a un estudiante para que sea el moderador del debate y cumpla las respectivas funciones.

Para preparar los argumentos, cada grupo se subdivide en parejas que apuntan sus ideas centrales para el momento de argumentar. Seguidamente, el moderador da inicio al debate haciendo una pequeña introducción al tema, presentando el objetivo del debate e informando la manera en que este se ejecutará. El moderador formula la primera pregunta y da la palabra en orden a los participantes.

Culminado el debate, el docente solicita a los estudiantes escribir un comentario sobre la producción de corriente eléctrica, que presente cohesión y coherencia, en el cual se consideren aspectos como: los modelos para la producción masiva de energía eléctrica, las consecuencias de desarrollo científico y tecnológico para la sociedad colombiana de estos modelos, y el perjuicio ambiental para los ecosistemas del país.

Identificación de los elementos de la enseñanza: En la CCD5 se explicita la meta de aprendizaje del subtema y el uso de estrategias de enseñanza como el juego de roles y la escritura de textos argumentativos. Sin embargo, no se describen los recursos a utilizar ni sus potencialidades para ayudar a la superación de las dificultades de aprendizaje.

CCD6- Socializar la Ley de Ohm y las configuraciones eléctricas en serie y paralelo a través de una mini feria de la ciencia

El docente lleva a cabo una mini feria de la ciencia con sus estudiantes, a quienes organiza en pequeños grupos de discusión (3 a 4 estudiantes), para que hagan un dispositivo eléctrico en el

que puedan aplicar la ley de Ohm y las configuraciones eléctricas en serie y paralelo. Algunos ejemplos de lo que pueden construir son: un juego eléctrico de apareamiento, un semáforo, un pulsímetro.

Para culminar, dentro de una organización interactiva del aula, cada grupo presenta el diseño eléctrico de su dispositivo, especificando el tipo de circuito correspondiente. El docente promueve la discusión y retroalimentación en este espacio.

Identificación de los elementos de la enseñanza: La CCD6 tiene manifiesta la meta de aprendizaje, el recurso a utilizar (construcción de un dispositivo eléctrico) y el uso de estrategias de enseñanza como la realización de una mini feria de ciencia y la organización dialógica del aula.

CCD7- Resumir y aplicar los conocimientos trabajados sobre la energía eléctrica durante las actividades de aprendizaje

Con la intención de recopilar las principales ideas conceptuales abordadas durante el desarrollo del OA, el docente presenta a los estudiantes, bajo una organización interactiva, un organizador gráfico tipo mapa conceptual. El mapa posee el concepto central de Corriente Eléctrica, el cual relaciona conceptos como: Circuito en Paralelo, Circuito en Serie, Ley de Ohm, Corriente Directa, Corriente Alterna, entre otros.

Ahora bien, para que los estudiantes tengan la oportunidad de aplicar lo aprendido a lo largo de las actividades de aprendizaje, el docente les asigna una tarea que se efectúa de manera individual. Dicha tarea consiste en que el estudiante resuelva dos ejercicios empleando los conocimientos apropiados en este OA.

Identificación de los elementos de la enseñanza: En la CCD7 se presenta la meta de aprendizaje, el recurso a utilizar (mapa conceptual) y el uso de estrategias de enseñanza como la organización dialógica del aula, y la asignación de tareas para aplicar lo aprendido.

Como se puede apreciar, en ninguna de las siete CCD hay información expresa acerca de: las dificultades/concepciones alternativas de aprendizaje, las potencialidades que ofrecen los recursos de carácter analógico y digital para superar estas dificultades, y la justificación de la enseñanza de los contenidos. Así, queda en evidencia que estos elementos de la enseñanza no fueron tenidos en cuenta de manera explícita en las intenciones de diseño.

Nota. Elaboración propia.

Observación Participante. Tradicionalmente, la observación participante ha sido una impronta de los estudios tanto antropológicos como sociológicos. Aunque, desde hace ya algún tiempo, en el campo de la educación se ha incrementado el número de investigaciones cualitativas en las que se hace uso de este método como una herramienta para recoger datos (Kawulich, 2006). Esto responde a que, sustancialmente, la observación participante permite a los investigadores

determinar las interacciones entre los participantes, comprender cómo se comunican entre sí, y constatar el tiempo invertido en ciertas actividades (Schmuck, 1997).

Por ende, este método funciona como una fuente documental en la que el docente observador, bajo sus lentes conceptuales, realiza la interpretación y la reflexión de los hechos relevantes de la implementación del OA. Dicha labor demanda un alto nivel de sensibilidad y de suspicacia por parte del observador, quien mediante notas de campo registra las experiencias compartidas en la implementación y plasma sus interpretaciones al respecto (Candela, 2016).

Videos de las Sesiones de Clase. Se hizo un registro fílmico de las cinco sesiones de la fase de implementación (tres horas semanales), de modo que quedaran capturadas en video las acciones e interacciones de los docentes y los estudiantes durante el desarrollo de la secuencia de actividades del OA en cuestión. Esta información tiene gran relevancia, dado que brinda elementos para responder la PO1[11] ¿De qué forma las intenciones de diseño representadas en el Objeto de Aprendizaje fueron implementadas? En este sentido, el objetivo de grabar las sesiones fue averiguar si las actividades del OA se implementaron según lo previsto o no tanto por los docentes como por los estudiantes. Además, estas grabaciones sirven de apoyo para el análisis sobre cómo estos últimos superan las dificultades de aprendizaje y logran construir los conocimientos.

Ahora bien, la documentación en video de dichas sesiones la realizó otro docente observador empleando una videocámara, quien también tomó las notas de campo. Vale la pena resaltar que este docente, al participar en todas las sesiones de implementación y conocer ampliamente los elementos fundamentales del diseño del OA, contaba con lentes conceptuales suficientes para enfocar la filmación y la toma de notas hacia los eventos críticos para los objetivos de la investigación.

Al respecto, Roschelle (2000) propone reducir la totalidad de datos capturados en video a los fragmentos que representan los eventos críticos. En este caso, dichos eventos están asociados a las acciones de los docentes y los estudiantes en relación a las intenciones de diseño resumidas

[11] PO: Pregunta Orientadora.

en las Características Claves de Diseño - CCD (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*). Conviene subrayar que, estos videos, en conjunto con las demás fuentes y el marco conceptual de esta investigación, configuran la materia prima para la producción de descripciones y generalizaciones naturalísticas con las que se busca representar la implementación y evaluación del OA *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?*

Diarios Reflexivos del Profesor. Se utilizó en la investigación esta fuente porque permite la expresión escrita de las reflexiones del docente sobre las experiencias a lo largo de la fase de implementación del OA. Esta situación le posibilita al docente tener conciencia sobre si las intenciones de diseño son implementadas en realidad, si lo que se proyecta es alcanzado, y si el diseño del OA en cuestión puede ser aplicado de nuevo al ser exitoso o, por el contrario, debe ser reformulado para su futura implementación. Es decir, esta fuente permite al docente investigador exteriorizar sus percepciones, acciones y observaciones frente al diseño y su implementación (potencialidades, dificultades, aspectos de las actividades). Cabe señalar que, aun cuando estos diarios son criticados debido a su alto grado de subjetividad (Taber, 2007), aquí son empleados como una fuente secundaria para ser triangulada con otros hallazgos.

Material del Estudiante. El material del estudiante se constituye en una fuente de información valiosa, dado que en éste los estudiantes registraron la totalidad de las actividades efectuadas a lo largo de la implementación del OA, y que, por cuestiones de tiempo, no todos lograron socializar en el aula. Por lo que se refiere a su contenido, este material posee todas las temáticas y actividades planteadas en el OA, además de los espacios necesarios para resolver dichas actividades, motivo por el cual es caracterizado como una fuente documental en esta investigación.

Pretest y Postest. Evidentemente, esta fuente documental alude a los exámenes sobre el contenido de los principios básicos de la energía eléctrica que se les realizaron a los estudiantes. Inicialmente, se aplicó un Pretest con la intención de averiguar sus conocimientos sobre ese contenido de manera previa a la aplicación del OA bajo consideración. Una vez implementadas las actividades de aprendizaje de dicho OA, se efectuó a los estudiantes un Postest para determinar si finalmente desarrollaron las metas de aprendizaje propuestas.

De esta manera, se pudo establecer la sincronía entre los resultados de aprendizaje previstos en las intenciones de diseño del OA, y los aprendizajes alcanzados posterior a su aplicación. En el modelo de evaluación ampliado de Alzaghibi (2010), esta coincidencia constituye la Efectividad 2, razón por la cual la información derivada de estos test aporta elementos fundamentales para resolver la PO2 ¿En qué grado los estudiantes desarrollaron los resultados de aprendizaje deseados? De ahí la relevancia de evaluar en los estudiantes el desarrollo de los conocimientos y las habilidades planteados en el OA en cuestión.

En cuanto a los atributos del test utilizado, se compone de 18 ítems de opción múltiple con una respuesta correcta y tres distractores, los cuales abordan el conjunto de conocimientos y habilidades trabajadas en las sesiones de implementación del material de enseñanza. Cabe mencionar que, las preguntas del test fueron tomadas de las Pruebas Saber 11[12], razón por la cual no fue necesario validarlas. Estas preguntas exigieron a los estudiantes procesos cognitivos de diferentes niveles: 10 tenían un nivel de dificultad básico, 6 fueron de nivel medio, y solo 2 presentaron un nivel alto.

Análisis de Datos

Generalmente, en los estudios de diseño se emplean metodologías de investigación de carácter mixto focalizándose en los datos de naturaleza cualitativa (cuantitativa y cualitativa), caracterizadas por utilizar numerosas fuentes documentales (Leach y Scott, 2002). En el caso de esta investigación, se pretende evaluar la efectividad del diseño de un OA, a partir de la sincronía entre las intenciones de diseño y lo implementado (PO1[13]), y entre los resultados de aprendizaje deseados y los logrados (PO2[14]). Por tanto, para lograr esta finalidad, se usaron fuentes documentales tanto cuantitativas (Pretest y Postest) como cualitativas (CCD, Observación Participante, Videos de las Sesiones, Diario Reflexivo, Entrevista semiestructura, Material del

[12] Las pruebas Saber 11° son evaluaciones estandarizadas aplicadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación -ICFES-, las cuales evalúan el desempeño alcanzado por los estudiantes al término de la educación media, según las competencias básicas definidas por el Ministerio de Educación Nacional.

[13] Pregunta Orientadora 1 ¿De qué forma las intenciones de diseño representadas en el Objeto de Aprendizaje fueron implementadas?

[14] Pregunta Orientadora 2 ¿En qué grado los estudiantes desarrollaron los resultados de aprendizaje deseados?

estudiante), las cuales fueron trianguladas con el fin de brindar confiabilidad y validez ecológica a los resultados generados en el estudio.

Con respecto al análisis cuantitativo, este permite tener una comprensión general y difusa del asunto estudiado. En contraste, el análisis cualitativo da la posibilidad de entender de manera más profunda y situada las acciones e interacciones del docente y los estudiantes durante la implementación del OA bajo consideración. De ahí que, los datos cuantitativos de esta investigación permitan tener conocimiento de los aprendizajes logrados por los estudiantes luego de la aplicación del OA, haciendo uso de una prueba previa (pre) y una prueba final (post) para estimar el aumento máximo posible (Hake, 1998). Por otra parte, los datos cualitativos e interpretativos dan la oportunidad de comprender el caso exploratorio (Yin, 2003) a profundidad, al recopilar información mediante fuentes como las CCD, los videos de las sesiones o los diarios reflexivos, que permiten ejecutar el modelo de evaluación de la efectividad, encaminado a evaluar la práctica del diseño y la enseñanza.

Análisis de Datos Cuantitativos

Para analizar los datos derivados de los pre y postest, se utilizó un indicador estadístico conocido como Factor de Hake (1998), el cual sirve para analizar las ganancias de aprendizaje sobre un contenido que han sido obtenidas a través de procesos de enseñanza. En efecto, este factor permite determinar el Índice de Ganancia (g), que brinda una medida aproximada de la efectividad de una metodología didáctica en términos de los conocimientos previos y posteriores de los estudiantes respecto a un tópico. En este caso, dicho índice posibilitó cuantificar qué tanto aprendieron los estudiantes en la implementación del OA en cuestión. El valor arrojado por g denota la ganancia normalizada del aprendizaje conceptual logrado durante la aplicación del ambiente de aprendizaje.

Ahora bien, para calcular el Índice de Ganancia (g), dado por la ecuación 1, es necesario considerar las respuestas correctas obtenidas tanto en el pretest como en el postest:

$$g = \frac{\%\ promedio\ del\ postest - \%\ promedio\ del\ pretest}{100 - \%\ promedio\ del\ pretest}$$

(1)

Donde los porcentajes corresponden al promedio del porcentaje de respuestas correctas dadas por los estudiantes en el pretest y postest. 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:

1. Si $g \leq 0{,}3$ la ganancia es baja
2. Si $0{,}3 < g \leq 0{,}7$ la ganancia es media
3. Si $0{,}7 < g \leq 1$ la ganancia es alta

En cuanto a la obtención de la información necesaria para el cálculo de este índice, se aplicaron ambos test a 20 estudiantes de 11° grado; el pretest en el mes de septiembre y el postest en noviembre de 2019. Las respuestas correctas de estos test fueron analizadas, calculando la ganancia de aprendizaje de cada estudiante y determinando su promedio. El procesamiento de los datos se llevó a cabo en la herramienta Excel, donde se creó la base de datos que permitió almacenar la información recolectada y hacer los cálculos correspondientes para establecer el índice de ganancia normalizado de Hake.

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 postest con sus respectivos porcentajes de respuesta (Ver tabla 6).

Tabla 6

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

Estudiante	Número de respuestas correctas postest	Número de respuestas correctas pretest	Porcentaje de respuestas correctas pretest	Porcentaje de respuestas correctas postest	Índice de ganancia
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 6, se alcanzó un promedio de ganancia de aprendizaje de 0.44, el cual se categoriza como una ganancia de nivel medio. Además, se presentan en la tabla 7 los resultados obtenidos por pregunta, donde se analiza el total de estudiantes que contestaron correctamente cada interrogante del test, realizando los siguientes cálculos:

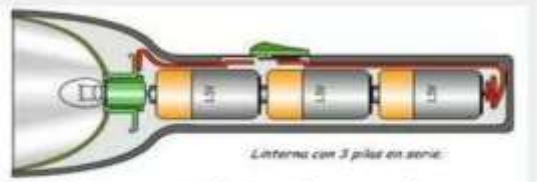
Pretest efectivo	% Postest
Número de estudiantes que contestaron correctamente / Total de estudiantes x 100 -20%. Ejemplo:	Número de estudiantes que contestaron correctamente / total de estudiantes x 100. Ejemplo:
Pregunta 1: 10/20 = 0.5 x 100 -20%	*Pregunta 1:* 14/20 = 0.7 x 100
50 – 10 = 40	70

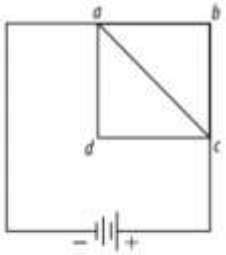
$$g = \frac{70 - 40}{100 - 40} = \frac{30}{60} = \mathbf{0.5}$$

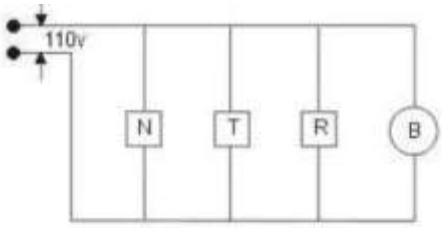
A continuación, se muestra el índice de ganancia normalizado de Hake para cada pregunta del test, relacionada con su nivel de dificultad cognitivo y el conocimiento que aborda del fenómeno de la corriente eléctrica (Ver tabla 7).

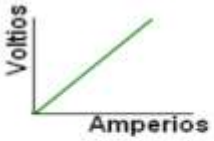
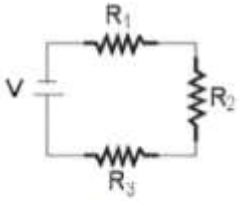
Tabla 7

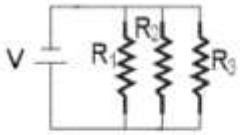
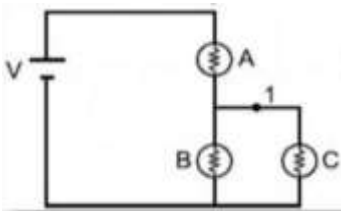
Índice de ganancia por pregunta

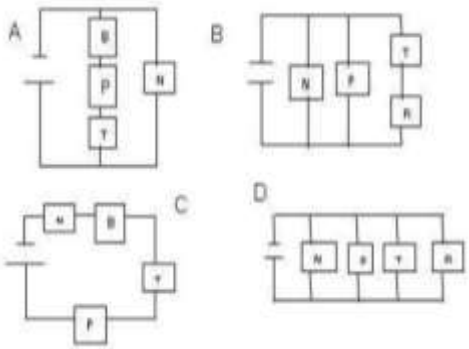
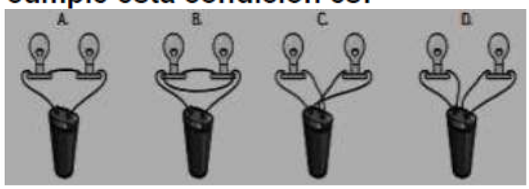
Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
1. Relación entre corriente eléctrica y flujo de cargas	 Posición correcta de tres pilas en serie en una linterna **4. La linterna de Jorge emite muy buena luz; pero, a pesar que las baterías están nuevas, no enciende, porque los polos positivos están en contacto y cuando esto pasa** **A. la corriente eléctrica no puede fluir y no llega a la bombilla** **B. la linterna consume la energía de las pilas instantáneamente** **C. la resistencia eléctrica de la linterna se vuelve cero inmediatamente** **D. la suma del voltaje de las pilas es negativa y repele los electrones**	Básico	0,42

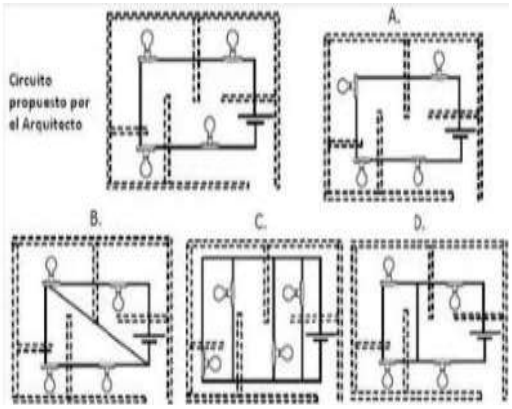
Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
1. Relación entre corriente eléctrica y flujo de cargas	6. La electricidad es: A. Un fenómeno físico cuyo origen son las cargas eléctricas B. La acumulación de un exceso de cargas eléctricas C. Es el flujo de carga por unidad de tiempo D. Es la oposición que presenta un cuerpo a ser cargado eléctricamente	Básico	0,82
	7. Como se puede observar la electricidad A. En Forma de rayos atmosféricos B. En la naturaleza C. En forma natural en fenómenos atmosféricos D. De ninguna forma se puede observar	Básico	0,86
	8. Que es la fuente eléctrica A. Es la que permite la generación eléctrica B. Es la que es capaz de generar una diferencia de potencial C. Es la que permite el paso a la electricidad D. Permite la distribución de electricidad	Básico	0,38
	 12. En la figura, los lados del cuadrado abcd y la diagonal ac han sido construidos con el mismo tipo de alambre conductor. La corriente por la diagonal es 6 A. La corriente por cada uno de los lados del cuadrado es, en amperios: A. 2 B. $2\sqrt{2}$ C. $3\sqrt{2}$ D. 3	Medio	0,42

Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
1. Relación entre corriente eléctrica y flujo de cargas	 $P = I \cdot V$ **13. Una persona construye una casa a la cual necesita hacerle la instalación eléctrica de manera que pueda usar los siguientes aparatos: un Bombillo (B) de 60 W, un Radio(R) de 300 W, un Televisor (T) de 390 W y una Nevera (N) de 2000 W. Si la planta eléctrica utilizada suministra una diferencia de potencial de 110 V y Si estos aparatos se conectan como indica la figura, el aparato por el cual circula la mayor corriente es** **A. El Bombillo** **B. El Radio** **C. La Nevera** **D. El Televisor**	Medio	0,52
2. Similitudes y diferencias entre las corrientes continua y alterna	**14. Cuando una persona conecta un instrumento eléctrico a una toma de corriente y no funciona, empieza a mover el enchufe en todas las direcciones y observa que el instrumento se enciende y apaga. Cuando el instrumento se apaga es porque el circuito eléctrico tomacorriente- enchufe se encuentra** **A. Cerrado y permite el flujo de electricidad** **B. Abierto y no permite el flujo de electricidad** **C. Abierto y permite el flujo de electricidad** **D. Cerrado y no permite el flujo de electricidad**	Básico	0,90

Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
2. Similitudes y diferencias entre las corrientes continua y alterna	**16. En los circuitos Eléctricos de las casas se utiliza corriente alterna en vez de corriente continua, esto se debe a que:** **A. La generación de la corriente Alterna es más barata que la de corriente continua.** **B. En las casas, la corriente alterna se puede transmitir atraves de cables mientras la continua no.** **C.La corriente continua es muy nociva para el ser humano** **D. La corriente continua ha tenido mala fama en cuanto a su utilización, en donde se anunciaba que podría causar daños a los seres vivos**	Básico	0,84
3. Ley de Ohm y diagramas de circuitos en serie y en paralelo	 **1. En la gráfica para los conductores Óhmicos (Que cumplen la ley de Ohm: V = R.I), el valor de la resistencia permanece constante. Al duplicar el voltaje aplicado, ¿qué sucede con el valor de la corriente que pasa por el resistor?** **A. permanece igual** **B. se duplica** **C. se reduce a la mitad** **D. se reduce a una tercera parte**	Medio	0,50
	 **2. Para el circuito mostrado en la figura y V = I R. Si la resistencia R1 es mayor que la resistencia R2 y a su vez, la resistencia R2 es mayor que la resistencia R3, entonces, el voltaje será mayor en la resistencia:** **A. R2 B. R3 C. R1 D. R1 = R2 = R3**	Medio	0,20

Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
3. Ley de Ohm y diagramas de circuitos en serie y en paralelo	 **3. Para el circuito mostrado en la figura, la expresión correcta es:** **A. El voltaje en R1 es igual al voltaje en R2 e igual al voltaje en R3** **B. La corriente que pasa por R1 es mayor que la que pasa por R2 y por R3** **C. El voltaje en R1 es mayor que el voltaje de R2 y el voltaje de R2 es mayor que el voltaje de R3** **D. La corriente que pasa por R1 es igual a la que pasa por R2 y por R3.**	Alto	0,41
	 **5. Una batería y tres bombillos idénticos se conectan como se ilustra en la figura. Respecto a la intensidad luminosa (brillo) de los bombillos es correcto afirmar que:** **A. las intensidades luminosas de B y C son iguales y menores que la de A** **B. la intensidad luminosa de A es mayor que la de B y la de B es mayor que la de C** **C. las intensidades luminosas de B y C son mayores que la de A** **D. las intensidades luminosas de A y B son iguales y mayores que la de C**	Alto	0,34

Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
3. Ley de Ohm y diagramas de circuitos en serie y en paralelo	**9. En una casa se tienen las siguientes instalaciones eléctricas de manera que su cantidad, voltaje de operación, potencia consumida por cada uno se halla descrito en la siguiente tabla: NEVERA(N).....110VOLTIOS.....POTENCIA.....2000W. TELEVISOR.....110VOLTIOS.....POTENCIA.....400W. PLANCHA.....110VOLTIOS.....POTENCIA.....800W. BOMBILLO.....110VOLTIOS.....POTENCIA.....100W. Para que todos los aparatos funcionen a la diferencia de potencial mostrado en la tabla, la forma de conectarlos es:** 	Medio	0,74
	10. Un estudiante dispone de dos bombillos, dos roscas para bombillo, una pila y suficiente alambre. Él desea construir un circuito en el cual la pila mantenga los dos bombillos encendidos el mayor tiempo posible. De los siguientes circuitos, aquel que cumple esta condición es: 	Básico	0,27

Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
3. Ley de Ohm y diagramas de circuitos en serie y en paralelo	 **15. Para la iluminación interna de una casa, un arquitecto propone el siguiente circuito. Un electricista le dice al arquitecto que debe cambiar el circuito porque al fallar uno de los bombillos se apagarán los demás. Él explica que en un circuito en serie, la corriente es la misma en todos las partes del circuito, mientras que en un circuito en paralelo, la diferencia de potencial es la misma en todas las partes del circuito. De acuerdo con lo que explica el electricista, ¿cuál es el mejor diseño que debería elaborarse para que la casa siempre esté iluminada si se daña un bombillo?** **A. C B. A C. B D. D**	Medio	0,69
4. Efecto joule y su relación con las pérdidas de energía en líneas de alta tensión	**18. Un generador eléctrico, ¿se comporta como una bobina o como un condensador?** **A. Como una bobina, ya que su función es la de acumular la corriente eléctrica** **B. Como condensador debido a que se requiere que haya variación en la corriente eléctrica** **C. Como una bobina debido a que su función es la de incrementar la corriente eléctrica que pasa por ella** **D. Como un condensador puesto que su función es de crear una variación en el voltaje, ocasionando con ello una variación en la resistencia eléctrica**	Básico	0,92

Eje Temático	Pregunta	Nivel de dificultad	Índice de Ganancia
5. Impacto ambiental de las termoeléctricas y las hidroeléctricas	**11. En una tormenta, la descarga eléctrica a la que llamamos rayo se origina por:** **A. acumulamiento de carga por fricción en las nubes.** **B. chispas que se producen por conducción.** **C. acumulamiento de carga positiva sobre la tierra inducida por la carga negativa de las nubes.** **D. la ira de los dioses griegos.**	Básico	0,89
	17. Según un estudio publicado por la universidad de Michigan (EEUU) en 1996, la corriente continua es perjudicial para el ser humano, esto es debido a que: **A. Las centrales hidroeléctricas son contaminantes del medio ambiente** **B. Las baterías al ser elaboradas en materiales contaminantes deben se recicladas** **C. La corriente continua es de carácter nuclear** **D. Al ser producida atraves del agua, deteriora el medio ambiente**	Básico	0,90

Nota. Elaboración propia.

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) luego 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, corriente continua y alterna, circuitos en serie y en paralelo, generador eléctrico y descarga eléctrica. 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[15].

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. Esta información es necesaria para llevar a cabo la evaluación de la efectividad del objeto de aprendizaje, en conjunto con el análisis cuantitativo. Para la recolección de este tipo de información, se hizo uso de la observación participante, el registro de los videos de las sesiones de clase, el diario reflexivo del docente, la entrevista semiestructurada, y los trabajos de los estudiantes. En estas fuentes documentales, se representan las relaciones causales establecidas en el marco de las transacciones de significado y formas de significar a lo largo de la implementación del material, las cuales vinculan los siguientes elementos de la enseñanza: contenidos, metas de aprendizaje, justificación de la enseñanza de los contenidos, dificultades de aprendizaje, concepciones alternativas, potencialidades de los recursos, estrategias y modelos de enseñanza.

Por supuesto, el análisis de estos datos fue primordial para aplicar el modelo tripartito de efectividad (Ver sección *3.3.4 Fase de evaluación*), cuya dinámica se sustenta en tres elementos: las intenciones de diseño, las acciones realizadas en el aula por el maestro y los estudiantes, y los aprendizajes alcanzados por los estudiantes (Ver figura 9 en sección *Fase de evaluación*). En este sentido, la confiabilidad y credibilidad de los resultados se fundamenta a partir de la triangulación de fuentes y métodos (Denzin, 1970). Naturalmente, con estas acciones se tiene como propósito responder a la pregunta de investigación ¿Qué

[15] Ver *Capitulo IV: Presentación de resultados*, para un mayor desarrollo teórico de estos aspectos.

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?

Cabe mencionar que la finalidad de analizar la información recogida en las fuentes documentales cualitativas, es dar respuesta a la pregunta orientadora 1: ¿En qué forma las intenciones de diseño representadas en el objeto de aprendizaje fueron implementadas?, la cual busca establecer la coincidencia entre lo diseñado en la secuencia de enseñanza y lo implementado. Para ello, fue necesario comparar las intenciones de diseño del objeto de aprendizaje formuladas en el material del profesor y en la interfaz, sintetizadas mediante las Características Claves de Diseño (CCD), con las acciones del docente y los estudiantes durante la implementación, y con los aprendizajes alcanzados por los jóvenes. Estas tareas analíticas son un punto de referencia para evaluar la efectividad del OA, como consecuencia a que estas permiten evidenciar cuánto de lo diseñado es implementado, y cuáles metas de aprendizaje fueron logradas por los estudiantes.

Si bien, durante las sesiones de implementación se tomaron como base las acciones del maestro y estudiantes descritas en el diseño (CCD), para evidenciar el nivel de efectividad del OA se consideró central, además, tener en cuenta las acciones del profesor y los estudiantes que no fueron especificadas en las CCD, y los aprendizajes alcanzados por estos. Estas nuevas acciones son pertinentes en el proceso de evaluar el objeto de aprendizaje bajo estudio, con la finalidad de que sean tomadas como un referente a lo largo del rediseño del material de enseñanza.

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, parcial, y si se le hicieron ajustes o fue ignorada por completo. En el caso de este estudio, muchas de las acciones llevadas a cabo por el profesor estuvieron informadas por la toma de decisiones curriculares e instruccionales representadas en las CCD. Sin embargo, el maestro también tomó algunas decisiones de enseñanza diferentes a las plasmadas en el diseño, basado en sus conocimientos pedagógicos, en su amplia experiencia docente, y en las dificultades que identificó en los estudiantes al abordar el OA en aula. Adicionalmente, se tomaron en

consideración aquellos aprendizajes logrados por los estudiantes que no fueron conjeturados en el diseño del OA.

Con respecto al análisis de la información recogida por medio de las fuentes documentales, vale decir que se realizó tomando en cuenta el problema, la pregunta de investigación, las preguntas orientadoras y el marco teórico. Sobre las categorías empleadas para hacer este análisis, es importante mencionar que no son de carácter inductivo sino deductivo, dada la naturaleza del problema. Estas categorías, encarnadas por las CCD, permitieron documentar y representar los razonamientos y las acciones inteligentes de los estudiantes y el profesor durante la implementación y evaluación del OA. En este orden de ideas, las CCD son el sistema de categorías deductivas, cuyo desarrollo teórico validado por las evidencias empíricas dio respuesta a la problemática de estudio planteada.

A fin de realizar el análisis cualitativo de esta información, se utilizó la perspectiva analítica de la teoría fundamentada y el método de comparación constante (Glaser y Strauss, 1968). Si bien, la teoría fundamentada permite generar categorías a partir de los datos, para este estudio solo se utilizarán algunos de sus elementos: los principios de codificación abierta y codificación axial, más no la codificación selectiva. Esta decisión responde a que el problema de investigación cuenta con categorías deductivas, es decir, categorías que no emergen del proceso de codificación abierta, sino que vienen preestablecidas por las teorías de dominio específico y la estructura curricular e instruccional que fundamentan el material de enseñanza (Ver tabla 8).

Tabla 8

CCD - Categorías deductivas que orientan la documentación de las relaciones entre las intenciones de diseño, las acciones y los aprendizajes.

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 de circuitos 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 y las 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.

Nota. Elaboración propia.

Para el proceso de codificación abierta, vale decir que 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 fuentes. Esto posibilitó comparar de manera constante las propiedades de las unidades de análisis con la pregunta de investigación, las preguntas orientadoras y el marco teórico. Este análisis permitió identificar las intenciones de diseño del OA, las acciones del docente y los estudiantes durante la implementación, y los aprendizajes logrados. Estos aspectos fueron agrupados y descritos dentro de las categorías deductivas brindadas por el problema de investigación, las Características Claves de Diseño. Es preciso indicar que esta agrupación se realizó por medio de ciclos iterativos, lo que dio la posibilidad de revisar de forma repetitiva la similitud entre las características de la unidad de análisis y las propiedades de las categorías deductivas.

Ahora bien, el proceso de codificación axial se caracterizó por analizar la relación tripartita entre la trayectoria de aprendizaje planteada en las intenciones de diseño, las acciones ejecutadas por los integrantes del aula durante la implementación, y los aprendizajes alcanzados por los estudiantes. Para ello, cada una de las unidades de análisis fue adscrita a una de las categorías deductivas, lo que permitió desarrollar unas teorías naturalísticas que documentaran las relaciones buscadas entre las teorías de dominio específico, las intenciones de diseño, las acciones realizadas por los agentes áulicos, y los aprendizajes de los

estudiantes. Adicionalmente, muchas de las unidades de análisis fueron utilizadas de forma deliberativa para darle confiabilidad y validez empírica a estos desarrollos teóricos de la relación tripartita.

Capitulo IV. Presentación de Resultados

Este apartado tiene como objetivo dar respuesta al interrogante de esta investigación ¿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? Para ello, se recopilaron y analizaron tanto datos cuantitativos (Pretest y Postest) como cualitativos (CCD, Observación Participante, Videos de las Sesiones de Clase, Diario Reflexivo del docente, Material del estudiante).

Ahora bien, este capítulo está estructurado en siete secciones, las cuales abordan cada una de las CCD del Objeto de Aprendizaje implementado. Estas inician con una captura de pantalla de la actividad que materializa cada CCD, tomada de la interfaz digital del OA; 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; junto con los aprendizajes alcanzados por los estudiantes. Para finalizar, se hace una conclusión orientada a precisar 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.

Es importante destacar que el OA fue diseñado y desarrollado dentro del contexto curricular de la educación en ciencias en Colombia. En consecuencia, las metas de aprendizaje y las habilidades que plantea este material de enseñanza están en coherencia con los lineamientos curriculares y los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales definidos por el Ministerio de Educación Nacional. Es por ello que las CCD expuestas a continuación se encuentran integradas y articuladas coherentemente con el siguiente Estándar Básico de Competencia y Derecho Básico de Aprendizaje:

- *Estándar de grado décimo a undécimo*: Identifico aplicaciones de diferentes modelos biológicos, químicos y físicos en procesos industriales y en el desarrollo tecnológico; analizo críticamente las implicaciones de sus usos.
- *Derecho básico de aprendizaje N°3 (grado undécimo):* Comprende las relaciones entre corriente y voltaje en circuitos resistivos sencillos en serie, en paralelo y mixtos.

Característica Clave de Diseño 1 (CCD1): Introducir a los Estudiantes en el Estudio de la Energía Eléctrica y Conocer sus Ideas Previas al Respecto

Figura 10

Captura de pantalla de la sección del OA "Introducción: Luces de navidad"

Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3ovEPa8

De acuerdo con las intenciones de diseño del OA, para iniciar a los estudiantes en el contenido bajo estudio, y hacer explícitos sus conocimientos previos al respecto, el docente presentaría imágenes y textos alusivos a las luces de navidad, y luego los enfrentaría a una

situación problema sobre el funcionamiento de estas luces. Les pediría plantear una posible solución a tal situación, y darla a conocer a todos.

Después, el maestro les solicitaría manifestar los posibles objetivos que los estudiantes creen que podrían llegar a alcanzar con el contenido abordado. Finalmente, el profesor expondría el objetivo indicado por el OA y lo compararía con los objetivos planteados por los estudiantes (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

Ahora bien, con relación a las acciones llevadas a cabo en el aula, el profesor, con el propósito de introducir a los estudiantes en el estudio de la corriente eléctrica de una forma situada, comenzó la clase indicándoles que iban a explorar experimentalmente para construir una primera idea de qué era electricidad. Para el docente, es importante representar este fenómeno físico a partir de situaciones contextualizadas como la planteada en esta actividad, puesto que, al tratarse de una situación cercana a la vida de los estudiantes como lo es el arreglo de las luces navideñas, es muy probable que contaran con alguna experiencia o conocimiento previo relacionado con el fenómeno de los circuitos eléctricos.

Asimismo, el profesor les explicó a los estudiantes que esta temática era relevante para afrontar con éxito las Pruebas Saber 11°, dado que es un contenido clave para alcanzar comprensiones más abstractas y complejas que permiten explicar diferentes situaciones problema comúnmente planteadas en esta evaluación. Adicionalmente, el docente resaltó la importancia de la electricidad, mencionando que se trataba de un servicio básico y fundamental para que las personas realicen gran parte de sus actividades cotidianas. Les indicó que esta es una de las principales formas de energía usadas en la vida moderna. Sin ella no existiría la iluminación eléctrica, ni comunicaciones de radio y televisión, ni servicios telefónicos, y no se podrían utilizar dispositivos eléctricos que hoy son parte integral de toda casa. Además, sin la electricidad el transporte no sería como es actualmente. Todo esto significa que el uso de la electricidad es imprescindible para el funcionamiento de la sociedad. El anterior presupuesto es validado mediante la siguiente viñeta:

> Estamos utilizando la energía en este preciso momento ¡y no sabemos qué es! […] Usamos una gran cantidad de cosas con electricidad todos los días, y por eso hay que mirar qué es eso […] Hace poco se fue la energía en mi casa por muchas horas, y eso

> no me permitió dictar clases ese día, ni pude cargar el computador y el celular, y mucho menos utilizar internet […] Acabo de cambiar hace menos de una semana todos los bombillos que iluminan mi casa por lámparas led, y nosotros nos preguntaremos ¿qué es eso? (Video de clase, septiembre 23 de 2019).

Luego de esta introducción, el profesor informó a los estudiantes que al finalizar la clase les haría un quiz de exploración para identificar sus concepciones alternativas. A pesar de que en el diseño del material educativo no se tuvo en cuenta de manera explícita estas concepciones de los estudiantes, para el docente es esencial no solo conocerlas él como profesor, sino, también, brindar la posibilidad a sus estudiantes de tomar conciencia de ellas. Esto con el fin de que ellos, a partir de reconocer sus concepciones alternativas y el trabajo en el aula, las vayan refinando de forma progresiva, de tal manera que sus modelos mentales frente a la corriente eléctrica sean cada vez más cercanos a los planteamientos teóricos de la física.

Después, el profesor hizo la petición a un estudiante de leer en voz alta algunos párrafos de la sección *Introducción* del material del estudiante, en la que se plantea una situación problema relacionada con una serie de luces navideñas de 400 focos en la que no encienden los bombillos rojos. Durante la lectura, el docente hizo algunas intervenciones para aclarar conceptos y aspectos mencionadas en ella, y permitir un espacio para resolver las posibles dudas de los estudiantes. Al finalizar la lectura, les solicitó contestar por escrito con sus palabras la siguiente pregunta: "¿por qué piensan que sucede la falla señalada en la situación problema?" Como se puede apreciar, el profesor hace uso de las preguntas abiertas, considerando que facilitan la reflexión y el debate, y logran que los estudiantes se predispongan al aprendizaje. Les indicó que podían resolver la pregunta de manera individual o en pequeños grupos de discusión de máximo tres integrantes. Decidió brindar a los estudiantes autonomía para elegir entre estos tipos de organización, de modo que ellos puedan fortalecer sus habilidades en las distintas formas de trabajo, y reconocer las diferentes maneras en que se construye el conocimiento. La resolución de esta actividad la dejó como tarea para la casa. Esta teoría naturalística está en coherencia con el siguiente diálogo entre el profesor (P) y los estudiantes (E):

> P: De forma individual, o en pequeños grupos de dos o tres personas, van a contestar lo siguiente: ¿por qué piensan que sucede la falla señalada en la situación problema? Entonces, van a escribir lo que consideran que ocasiona que no prendan los bombillitos rojos. Y si cambiaran cada foco rojo ¿qué creen que pasaría? No les estoy pidiendo que consulten en internet, sino que me respondan desde lo que ustedes piensan que puede causar la falla.
> E: Si señor.
> P: Y en sus palabras, bien escrito, con ortografía. La idea es que discutan la respuesta entre ustedes como grupo, en caso de trabajar en grupo. Y si lo hacen de forma individual, piensen muy bien su respuesta (Video de clase, septiembre 23 de 2019).

Igualmente, el docente requirió a los estudiantes escribir los objetivos que pensaban alcanzar durante el estudio de la electricidad, indicándoles que debían utilizar sus propias palabras. Así pues, para el profesor resulta clave no solo exponer a los estudiantes la importancia de aprender este contenido, sino, también, permitirles a ellos construir sus razones al respecto, y así brindarles la posibilidad de autorregular su aprendizaje. Es decir, hacer partícipes a los estudiantes de la construcción de las metas de aprendizaje, promueve la autoevaluación, dado que ellos mismos se plantean lo que esperan lograr, y pueden definir, con ayuda del profesor, acciones académicas que les permitan ir desde donde se encuentran hasta donde quieren llegar. Además, esto le permite al docente adaptar su enseñanza a los intereses y necesidades de los estudiantes (Romero et al., 2018).

Posteriormente, el docente solicitó a algunos estudiantes leer el objetivo construido por ellos, y luego les presentó el objetivo indicado en el material del estudiante, con la intención de contrastar las metas planteadas por los estudiantes con la meta del OA. El maestro pudo observar que muchos estudiantes se acercaron al objetivo formulado en el material. De este modo, el profesor continuó trabajando en pro de que los estudiantes tomen consciencia de las metas de aprendizaje y, en consecuencia, enfoquen su trabajo en el aula de tal manera que puedan alcanzarlas.

Con respecto a la correspondencia entre lo diseñado y lo implementado en clase, se concluye que, si bien el profesor implementó la actividad tal como fue diseñada, tomó

algunas decisiones pedagógicas que ayudaron a mediar el logro del conocimiento/habilidad que representa esta CCD, y que quizás puedan ser tenidas en consideración en el rediseño de este OA. Una de estas decisiones fue indagar por las concepciones alternativas de sus estudiantes mediante la implementación de un test, pues en el diseño y desarrollo del OA esto no fue tomado en consideración de manera explícita. Esta decisión abrió la posibilidad de que los estudiantes hicieran explícitas sus concepciones acerca del contenido a aprender y, por tanto, fueran conscientes de ellas para lograr evolucionarlas durante el proceso de aprendizaje. Algunas de las concepciones alternativas que detectó el maestro en sus estudiantes fueron: a) no consideran la necesidad de cerrar el circuito para que funcione, dado que conciben la electricidad como algo que se almacena en depósitos, como una batería, y que se consume con el funcionamiento de los dispositivos, como una bombilla; b) no tienen la idea de corriente eléctrica como flujo de cargas; c) piensan que la corriente eléctrica se gasta a medida que circula por los elementos del circuito; d) no reconocen el circuito como un sistema en equilibrio donde la variación de uno de sus elementos afecta a todos los demás.

Otra decisión pedagógica del docente fue justificar ante los estudiantes la importancia de aprender sobre la corriente eléctrica, pues este aspecto tampoco se define en el diseño del material educativo. Esto permitió que los estudiantes se comprometieran en mayor medida con su proceso de aprendizaje, apropiando más fácilmente los conceptos abordados.

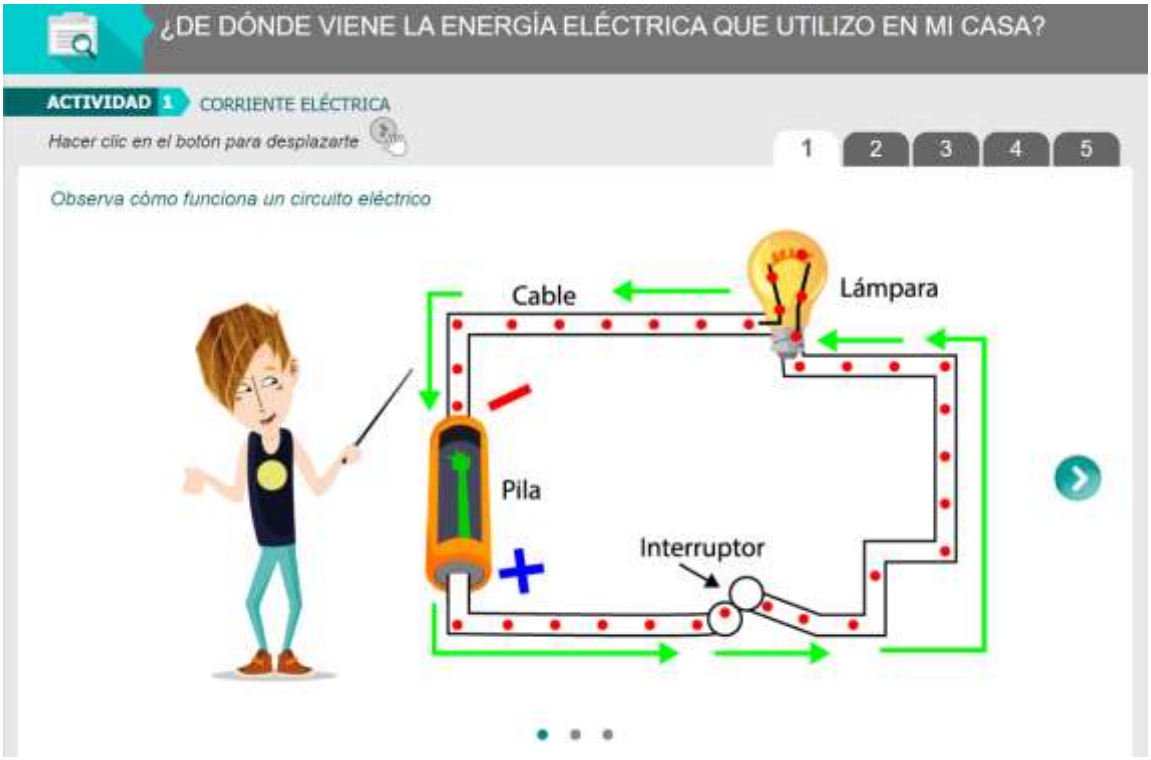
Además, el docente hizo algunas modificaciones en cuanto a la organización y gestión del aula, teniendo en cuenta la intención que tenía con la clase y las características de sus estudiantes. El maestro decidió darles la posibilidad de elegir trabajar de manera individual o en pequeños grupos, considerando las fortalezas de cada forma de trabajo. Al trabajar individualmente, el estudiante tendría la posibilidad de comprometerse intensamente con su proceso de aprendizaje. En cambio, si escogían trabajar en pequeños grupos, ellos podrían reforzar sus habilidades para discutir y debatir ideas (Candela, 2016). Así, el docente permitió a los estudiantes determinar qué aspectos fortalecer según la forma de organización. Este evento se evidencia mediante la siguiente viñeta:

> Bueno, esta pregunta me la van a resolver, ya sea trabajando de forma individual, o en pequeños grupos que pueden ser de dos o tres estudiantes. Ustedes deciden cuál forma de trabajo les sirve más (Video de clase, septiembre 23 de 2019).

Característica Clave de Diseño 2 (CCD2): Explicar la Relación Entre la Corriente Eléctrica y el Flujo de Cargas, y las Similitudes y Diferencias Entre las Corrientes Continua y Alterna

Figura 11

Captura de pantalla de la sección del OA "Actividad 1: Corriente eléctrica"



Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3hSq3J2

Las intenciones de diseño prescriben que el docente realice actividades teóricas y experimentales, con la finalidad de determinar la dirección y sentido de la corriente en un circuito. El profesor iniciaría mostrando a los estudiantes la imagen de un circuito básico y les explicaría brevemente su funcionamiento. Luego, les haría una analogía con un circuito hidráulico, apoyándose en una imagen.

Posteriormente, el maestro plantearía y orientaría a los estudiantes en la construcción de una pila con el fin de representar el análisis químico del movimiento de los electrones. Una vez construida la pila, cada grupo respondería algunos interrogantes asociados al funcionamiento de la misma, y explicaría el funcionamiento a nivel submicroscópico

(atómico- teórico) de la pila escribiendo un texto. Después de socializar las respuestas, el docente expondría el modelo teórico en cuestión, recogiendo las ideas surgidas en la socialización, para alinearlas con los planteamientos científicos.

Ya conociendo cómo funciona una pila eléctrica, el profesor ayudaría a los estudiantes a elaborar una brújula para determinar el sentido de circulación de la corriente eléctrica utilizando campo magnético. Luego de realizado el montaje experimental, el maestro solicitaría responder cinco preguntas para facilitar a los grupos analizar la experiencia. Las respuestas serían socializadas a través de una discusión en el aula, y el docente retomaría aquellas alineadas con la ciencia para presentar el modelo teórico acerca del sentido de circulación de la corriente eléctrica. Después, el profesor indicaría a los estudiantes revisar las especificaciones de amperaje de las baterías de sus celulares, compararlas con las de sus compañeros y explicar la razón de la diferencia.

Para finalizar, el maestro pediría a los estudiantes realizar una lectura acerca de la corriente continua y corriente alterna de manera individual en el material del estudiante. Les indicaría que, durante la lectura, tomen notas sobre estos conceptos, para que luego puedan responder un conjunto de preguntas alusivas al tema. Adicionalmente, el docente complementaría esta lectura con una animación y unas graficas de corrientes continua y alterna de voltaje vs tiempo (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

El maestro inició la clase con una organización centrada en el profesor, y pidió a un estudiante hacer lectura en voz alta de las consignas de las actividades de aprendizaje a realizar en el aula: elaborar una pila y una brújula. El docente decidió llevar a cabo ambas prácticas experimentales porque es consciente de la oportunidad que estas brindan para generar un espacio de discusión en el que los estudiantes socialicen sus ideas acerca del fenómeno eléctrico. De esta forma, ellos pueden empezar a tomar consciencia de sus concepciones alternativas, al mismo tiempo que el profesor puede determinar cuáles son las concepciones y los modelos mentales con los que llegan los estudiantes al estudio del fenómeno en cuestión. De acuerdo a lo que el maestro logra identificar, orienta la toma de decisiones curriculares e instruccionales para apoyar a los estudiantes en el refinamiento de sus modelos mentales.

Además, con estos experimentos, el docente busca que los jóvenes puedan manipular de cierta forma el fenómeno eléctrico, de modo que se hagan visibles determinadas características del mismo, al aislarlo en un montaje experimental. Así, los estudiantes pueden aprender nuevos detalles sobre cómo se comporta la electricidad y compartir lo aprendido con sus compañeros.

Como se puede evidenciar, en estas actividades experimentales convergen dos aspectos importantes de las prácticas científicas: el aspecto social y el aspecto material (Ford y Forman, 2006). Para el profesor, estos aspectos deben ser promovidos en el aula de ciencias, dado que apoyan de manera efectiva el proceso de aprendizaje de los estudiantes, al ser parte de las formas en las que se construye el conocimiento científico. Por lo tanto, estos aspectos posibilitan que los estudiantes expliciten y socialicen sus ideas sobre el fenómeno con sus pares, negocien sus significados y formas de significar, apoyándose en evidencia que les permite defender y/o contraargumentar. Es decir, la experimentación les permite comenzar a hablar sobre el fenómeno bajo estudio, aun cuando sus modelos mentales estén alejados de aquellos aceptados por la ciencia. El anterior presupuesto es validado por medio de la siguiente viñeta:

> Los experimentos que plantea el material de enseñanza me parecen muy interesantes de llevar a la clase para ayudar a los muchachos a aprender sobre electricidad. Por ejemplo, ponerlos a hacer una pila para introducirlos en el concepto de circuito de una forma llamativa, que les permita acercarse al fenómeno y comenzar a hablar sobre éste. La pila es un circuito muy sencillo que permite la circulación de corriente, y por eso sirve mucho para entender qué es un circuito eléctrico y cómo se desplazan las cargas eléctricas en el mismo. Esta práctica experimental les permite a los estudiantes hablar sobre cómo es que un bombillo llega a iluminarse, utilizando elementos muy sencillos y fáciles de conseguir. El estudiante puede ver más de cerca cómo ocurre el fenómeno de la electricidad, analizarlo y empezar a debatir sobre eso con sus compañeros. Además, ellos comienzan a perder ese miedo irracional a electrocutarse por tocar algo por donde circule corriente, pues entre ellos mismos hablan y empiezan a entender que no todo puede causar ese tipo de accidentes (Entrevista al docente, octubre 30 de 2019).

El maestro indicó a los estudiantes que antes de pasar a realizar los montajes experimentales, primero harían lectura de un párrafo sobre el voltaje en el material del estudiante. En dicho párrafo se representa una diversidad de palabras contenido alineadas con el fenómeno de la corriente, cuyo significado es desconocido para los estudiantes (p. ej., tensión, resistencia, generador, potencial eléctrico y conductor. Tomando en cuenta el carácter técnico del lenguaje relacionado con los circuitos eléctricos, el profesor decidió presentar esta serie de términos a los estudiantes para así brindarles la oportunidad de comenzar a identificarlos. Les manifestó que poco a poco a través del desarrollo de las actividades del OA, irían apropiando los significados de esta terminología, la cual les ayudará a construir la comprensión de los modelos teóricos autorizados de la física acerca de la electricidad. En la siguiente viñeta se valida este evento:

> Sé que para que los muchachos puedan entender qué es un circuito y cómo se comporta la corriente eléctrica en éste, es muy necesario que conozcan algunos términos como: tensión, potencial eléctrico, y resistencia. El fenómeno de la electricidad maneja un lenguaje muy técnico y abstracto, lo que puede generar que sea difícil de entender para los estudiantes que apenas están comenzando en el estudio de este fenómeno. Por eso es importante que uno introduzca esos términos al inicio, así ellos los empiezan a reconocer, a saber qué significan, para que luego los puedan relacionar entre sí y aplicar en diferentes situaciones problema (Entrevista al docente, octubre 30 de 2019).

Luego, el maestro proyectó una imagen con la intención de hacer una analogía entre un circuito eléctrico y un sistema hidráulico. Antes de explicarla, el docente definió el concepto de analogía a los estudiantes, exponiendo que se trata de establecer relaciones de semejanza entre dos elementos o conceptos diferentes. Es decir, la analogía permite detectar que una característica presente en un elemento, es compartida con otro elemento distinto. El profesor les aclaró que usaría esta analogía porque era contextualizada, dado que en sus casas ellos contaban con un sistema hidráulico que les permitía utilizar el agua en toda la vivienda. Este referente tomado de la cotidianidad, tiene una relación analógica con el concepto de

circuito eléctrico, el cual es de naturaleza abstracta y, por tanto, es conveniente facilitar su aprendizaje con este análogo concreto[16] (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

El docente procedió a explicar a los estudiantes los elementos que constituyen la analogía del sistema hidráulico con el circuito eléctrico. Les especificó que el agua era el análogo de los electrones, la cual lleva una sola dirección al igual que la corriente eléctrica. Por otra parte, les dijo que la llave de paso era el análogo del interruptor, más conocido por los estudiantes como *swiche*, que cumple la función de interrumpir el paso del agua en el sistema hidráulico, o el paso de los electrones en el circuito. Además, les manifestó que la tubería era el análogo del cable conductor de la corriente, cuyo ancho representa el tamaño del mismo. Los invitó a analizar con detenimiento la imagen proyectada, la cual también estaba en el material del estudiante, para comprender adecuadamente cómo cada elemento del sistema hidráulico tenía su contraparte en el circuito eléctrico, con funciones y/o comportamientos similares. Esto se puede observar en la siguiente viñeta:

> El agua que vemos arriba es como un referente de los electrones. En este caso, el agua se comporta parecido a los electrones dentro de un circuito […] Y aquí hay una llave de paso. Las llaves de paso las vemos todo el tiempo en nuestras casas. En cualquier casa hay al menos una llave de paso, y ¿por qué?, porque cuando se rompe una tubería, para arreglarla es necesario impedir o interrumpir el paso del agua. O sea que es como el interruptor del circuito. Entonces, ¿qué interrumpe acá en el sistema hidráulico la llave de paso? pues el paso del agua, y ¿qué interrumpe en el circuito el interruptor? En este caso interrumpe el paso de los electrones (Video de clase, septiembre 25 de 2019).

El maestro terminó la explicación de la analogía esclareciendo a los estudiantes que, a pesar de que el agua sea un análogo físico, eso no significaba que el electrón tuviera

[16] Los análogos concretos son dispositivos didácticos facilitadores del aprendizaje de conceptos abstractos, los cuales usan conceptos y situaciones que tienen un claro referente en la estructura cognitiva de los estudiantes. Este referente se relaciona analógicamente con los conceptos científicos cuyo aprendizaje se quiere facilitar (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

existencia física, pues se trata de un modelo teórico. Solo que él, para facilitarles la comprensión de este modelo a nivel submicroscópico, utilizaba esta analogía que conectaba con situaciones que ellos conocen de antemano dentro de sus contextos.

Una vez presentada la analogía, el profesor pasó a dar las indicaciones para realizar la primera actividad experimental: construir una pila. Les manifestó a los estudiantes que uno de los propósitos de esta actividad era acercarlos experimentalmente al fenómeno, y más adelante profundizar en aspectos teóricos, para no condicionar las observaciones que puedan hacer a partir de su interacción inicial con el mismo. También, les indicó que tenía la intención de generar un espacio de aprendizaje en el que ellos pudieran comenzar a apropiarse de las prácticas culturales de la comunidad científica. Para el docente resulta importante llevar a cabo trabajos experimentales desde una perspectiva sociocultural, en los cuales se favorezca la discusión entre los estudiantes sobre el fenómeno bajo estudio, de tal forma que comiencen a construir los conocimientos necesarios para comprender la corriente eléctrica. Es más, el maestro considera que desarrollar de este modo las actividades experimentales, permite poner en juego en el aula dos aspectos relevantes de la actividad científica: el aspecto social y el aspecto material (Ford y Forman, 2006).

En efecto, estas actividades de aprendizaje brindan la posibilidad a los estudiantes no solo de acceder y comprender herramientas conceptuales, sino, además, de apropiar las prácticas culturales características de la construcción del conocimiento científico. Esto exige implementar el trabajo experimental dentro de un contexto social. Por esta razón, para el desarrollo de esta práctica experimental, el profesor organizó el aula en pequeños grupos de discusión con el objetivo de estimular el debate, y se movió entre todos ellos a fin de monitorear el nivel de comprensión y participación de los estudiantes. Decidió hacerles preguntas problema de carácter abierto para facilitar a los jóvenes construir sus modelos mentales acerca de las entidades que configuran el fenómeno de la electricidad, y evaluar entre ellos esos modelos generados. Los anteriores presupuestos se validan a través de la siguiente viñeta:

> Las actividades experimentales son útiles para acercar a los estudiantes al fenómeno y brindarles un escenario en el puedan desarrollar habilidades científicas. Además, otro aspecto muy importante que se puede trabajar en este tipo de actividades, es dar

> a los muchachos la oportunidad de hablar entre ellos acerca del fenómeno estudiado, debatir sus puntos de vista sobre lo observado en el experimento, fortalecer la competencia argumentativa y la práctica de la modelación del fenómeno. Para esto es muy útil usar preguntas abiertas y buscar que se respondan entre los mismos estudiantes. Todos estos elementos son fundamentales dentro de la física para la construcción del conocimiento científico, y por tanto deben ser empleados en la clase de ciencias, guardando las proporciones entre la práctica en el aula y la investigación científica. Abordar desde esta óptica los experimentos en clase, facilita que los estudiantes accedan a los modelos teóricos aceptados por la ciencia, construyan o refinen sus modelos mentales sobre el fenómeno en estudio, y evalúen entre ellos y con apoyo del profesor dichos modelos (Diario reflexivo del docente, octubre 20 de 2019).

El maestro decidió emplear la estrategia *Predecir, Observar y Explicar* (POE) para implementar esta práctica experimental en clase, dado que ayuda a conocer el nivel de comprensión que tienen los estudiantes sobre un determinado concepto y fomenta el desarrollo de tres habilidades de pensamiento concreto indispensables para aprender ciencias (Candela, 2016). Por consiguiente, el profesor comenzó realizando una demostración, para lo cual hizo el montaje experimental de la pila planteado en el material educativo, y les pidió a los grupos de estudiantes formular predicciones sobre lo que podría ocurrir si él efectuaba determinados procedimientos en aquel montaje. A medida que ellos expresaban sus predicciones, el docente les solicitaba justificarlas y discutirlas con sus compañeros, y así logró que manifestaran las concepciones alternativas y los modelos mentales iniciales con los que llegaron a la clase. Seguidamente, los pequeños grupos de discusión observaron el fenómeno de la corriente eléctrica mediante la realización del experimento de la pila. Esta observación fue orientada por el maestro a través de una serie de preguntas, las cuales permitieron que los jóvenes recogieran por escrito un conjunto de datos sobre el comportamiento del fenómeno bajo estudio. Luego, el profesor los invitó a contrastar sus predicciones o hipótesis con los datos empíricos recogidos durante la observación del fenómeno. Esta comparación posibilitó que los estudiantes advirtieran algunas discrepancias entre lo que habían predicho y lo observado en el experimento. Ante estas discrepancias, el

docente les hizo la petición de explicarlas, para lo cual debían interpretar lo ocurrido integrando el mundo macroscópico con el submicroscópico.

Cuando el maestro detectó dudas o confusiones en los estudiantes durante los debates en los pequeños grupos, no las solucionó inmediatamente, sino que generó preguntas de menor nivel, cercanas a la zona de desarrollo próximo de los jóvenes, las cuales promovieron la discusión. De este modo, los estudiantes comenzaron a refinar sus modelos mentales. En la siguiente viñeta se evidencia cómo el profesor (P) formuló preguntas para favorecer la participación y el debate entre los estudiantes (E):

> P: ¿Por qué creen que no les prende el led? Dígame, López.
> E1: De pronto hay algo mal puesto.
> P: ¿Será que está mal realizado el montaje, Angie?
> E2: Pues, no sé si los cablecitos estén bien conectados.
> E3: Si, están bien, profe.
> P: Si las conexiones están correctas ¿qué otra razón puede causar que no prenda el led?
> E3: Pues yo creo que hay que pelar más las puntas de los cables, profe.
> P: Ah bueno, háganlo para ver si les funciona (Video de clase, septiembre 25 de 2019).

Para cerrar esta actividad experimental, el docente estructuró la clase de forma interactiva-dialógica y, apoyado en los modelos mentales construidos por los estudiantes, les realizó una serie de interrogantes que fueron resolviendo poco a poco mediante la discusión, bajo su orientación. El discurso interactivo-dialógico permite el intercambio entre todos los miembros de la comunidad áulica, de tal manera que favorece el aprendizaje en el plano social, al brindar la posibilidad a los estudiantes de compartir, negociar e interactuar con los dos lenguajes sociales que llevan al aula: el cotidiano y el científico (Candela, 2016). Para efectuar este intercambio, los estudiantes se ven en la necesidad de recuperar de su memoria, las ideas y conceptos aprendidos a lo largo de sus experiencias en el mundo cotidiano y escolar. Así, los estudiantes continuaron refinando sus modelos mentales, acercándose

progresivamente al modelo teórico aceptado por la física, que explica hacia dónde se mueven los electrones en un circuito simple.

En cuanto a los aprendizajes construidos por los estudiantes durante esta actividad experimental, estos se pueden clasificar entre herramientas conceptuales y prácticas culturales de la ciencia. Con respecto a lo conceptual, los estudiantes aprendieron a: (a) reconocer en su entorno el fenómeno de la electricidad en circuitos eléctricos, (b) armar circuitos eléctricos simples como una pila, (c) identificar las funciones básicas de las partes de un circuito eléctrico sencillo y (d) relacionar voltaje y corriente con los elementos de un circuito eléctrico. Por otro lado, las prácticas culturales que los estudiantes fortalecieron con la realización de esta actividad, tienen que ver con el desarrollo de habilidades científicas para aproximarse al fenómeno de la corriente eléctrica, tales como la argumentación apoyada en la evidencia, la representación de datos y el proceso de modelación del fenómeno en estudio (Ford y Forman, 2006). En definitiva, los estudiantes tuvieron la posibilidad de construir argumentos, de debatir, de escuchar la argumentación de sus compañeros basada en evidencia empírica, de representar y modelar la corriente eléctrica. Es decir, lograron construir un marco teórico para enlazar ideas abstractas a aspectos observados y analizados del fenómeno natural. Las siguientes viñetas permiten observar algunos de estos aprendizajes alcanzados por los estudiantes:

P: ¿Qué se necesitará para que el led permanezca encendido?

E1: Que siga fluyendo la corriente por el circuito.

P: ¿Y qué permite que se mantenga ese flujo constante?

E2: Que el zinc del sacapuntas y el cobre estén en el vinagre.

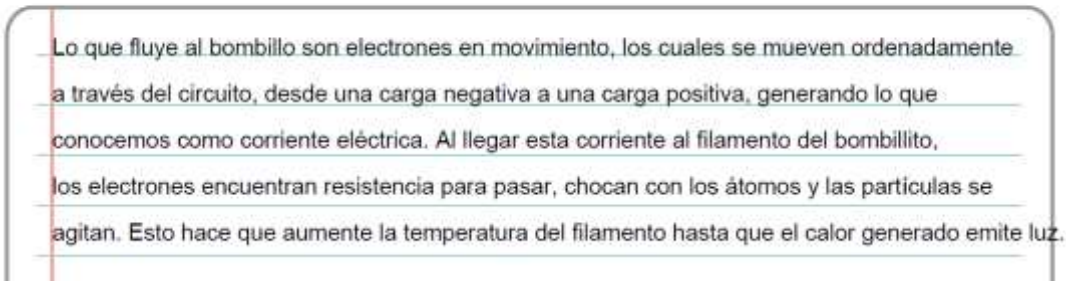
P: ¿Qué pasará a nivel submicroscópico en esa situación que podemos observar a nivel macro? ¿Qué opina el compañero?

E1: A nivel submicroscópico lo que está pasando es que los átomos de zinc están perdiendo electrones, y pasan al vinagre como iones positivos. Al mismo tiempo, los iones positivos de cobre que están en el vinagre ganan electrones, y se colocan sobre el cobre como átomos de cobre metálico

P: Entonces para que el led se mantenga prendido ¿Qué se necesitará?

E3: Que no se acabe el zinc ni los iones positivos de cobre, para que se puedan seguir produciendo las reacciones químicas que permiten el flujo de los electrones en el circuito (Video de clase, septiembre 30 de 2019).

¿Qué es lo que fluye al bombillo y es transformado en luz?



(Trabajo del estudiante, septiembre 30 de 2019).

Adicionalmente, otras evidencias empíricas de los aprendizajes logrados por los estudiantes mediante esta actividad, son los índices de ganancia de las preguntas 4, 6, 7, 8, 12 y 13, establecidos a partir de los resultados del pre y postest (Ver tabla 7 en sección *3.4.1 Análisis de datos cuantitativos*). Estas preguntas abordan el conocimiento de la relación entre corriente eléctrica y flujo de cargas. En primer lugar, la pregunta 4 tuvo un índice de ganancia de 0.42, la pregunta 6 de 0.82, la pregunta 7 de 0.86, la pregunta 8 de 0,83, la pregunta 12 de 0.42 y la pregunta 13 de 0.52. Lo primero a destacar es que los índices de las preguntas 4, 12 y 13 revelan una ganancia de nivel medio, mientras que las preguntas 6, 7 y 8 obtuvieron un índice de ganancia alto. Estos datos de naturaleza cuantitativa en conjunción con los resultados cualitativos, permiten deducir que las teorías de dominio específico que subyacen a esta CCD resultan ser apropiadas para andamiar a los estudiantes en el aprendizaje de la relación entre corriente eléctrica y flujo de cargas. Desde luego, las intenciones de diseño por si solas no garantizan este logro, sino, además, está mediado por los razonamientos y acciones pedagógicas del profesor, y el compromiso que los estudiantes asuman con su proceso de aprendizaje.

Abordado el funcionamiento de la pila eléctrica y el movimiento de los electrones dentro de ella, el maestro planteó a los estudiantes realizar la segunda actividad experimental desde una perspectiva sociocultural, encaminada a determinar el sentido de la corriente mediante la construcción y uso de una brújula. Les recalcó que, tanto esta actividad como la

anterior, eran situadas y centradas en ellos, planteaban el uso de materiales fáciles de conseguir, y promovían principalmente la utilización del sistema sensorial para estudiar las manifestaciones de la corriente eléctrica.

El profesor hizo esta segunda práctica experimental con la intención de hacer uso de la intertextualidad e intercontextualidad, es decir, empleó dos recursos semióticos y dos contextos distintos para ayudar a los estudiantes en la comprensión del comportamiento de la corriente eléctrica en un circuito simple. Esta decisión la tomó al ser consciente de la relevancia de ofrecer diferentes escenarios del mismo fenómeno a los estudiantes, ya que esto les facilita hacer conexiones entre experimentos, identificar y comenzar a entender patrones, hablar de estos en sus propias palabras, y ser capaces de reproducirlos.

Nuevamente, el docente dispuso a los estudiantes en pequeños grupos de discusión para iniciar el segundo trabajo experimental, y utilizó la estrategia de enseñanza POE para su ejecución. Durante el acompañamiento a los grupos, el maestro usó la técnica de formular preguntas abiertas para facilitar la comprensión del fenómeno a través del debate. Cuando los jóvenes culminaron la actividad experimental y explicaron las discrepancias que surgieron, el profesor organizó el aula en una estructura interactiva-dialógica a fin de discutir el modelo teórico acerca del sentido de circulación de la corriente eléctrica. Para ello, el docente retomó los modelos mentales expresados por los estudiantes durante el experimento y les formuló diversas preguntas que respondieron entre todos a través de la discusión. En la siguiente viñeta se muestra la manera en la que el profesor (P) formuló preguntas a los estudiantes (E) para incentivar la argumentación basada en evidencia:

> P: ¿Qué comportamiento observaron que tuvo la aguja de la brújula durante el experimento?
> E1: Que primero se movió hacia un lado y luego se desvió hacia el lado contrario.
> P: Aristizábal ¿Está de acuerdo con su compañero?
> E2: Si profe.
> P: ¿Y por qué piensan que pasó eso?
> E2: Yo creo que fue porque la aguja primero tendió hacia el campo magnético generado por la tierra. Pero al conectar el cable a la pila, este creó su propio campo magnético, lo que hizo que la aguja tendiera a alinearse con ese nuevo campo

magnético generado por la electricidad que pasaba por el cable (Video de clase, octubre 02 de 2019).

Una vez más, el maestro estructuró la clase en pequeños grupos de discusión y les solicitó a los estudiantes revisar las especificaciones de amperaje en las baterías de sus celulares, compararlas con las de sus compañeros y explicar las razones de la diferencia. El docente decidió implementar esta actividad porque, al utilizar un elemento tan cotidiano para los estudiantes, propicia en ellos hablar con mayor fluidez sobre sus aprendizajes. Al pasar por cada grupo para monitorear la comprensión alcanzada por los estudiantes, el profesor formuló algunas preguntas abiertas que suscitaron la discusión. Esto les permitió a los jóvenes reflexionar acerca de sus propias explicaciones y comprender mejor el concepto en estudio.

Para realizar la lectura de un texto sobre dos clases de corrientes de uso común en la cotidianidad, ubicado en el material del estudiante, el maestro les pidió a los estudiantes trabajar de manera individual. Les indicó que debían tomar apuntes de las ideas principales desarrolladas en la lectura para retomar dichas ideas al momento de responder los interrogantes asociados al tema de la lectura. Para la solución de estas preguntas, el docente organizó el aula bajo una estructura interactiva-dialógica a fin de promover el diálogo y el debate entre los estudiantes, bajo su orientación, y así ayudarlos a continuar evolucionando sus concepciones alternativas hacia explicaciones más elaboradas sobre la electricidad.

Ahora bien, el profesor decidió complementar esta lectura con una animación sobre corriente continua y corriente alterna, para lo cual organizó el aula bajo una estructura interactiva-dialógica. Cabe mencionar que, el maestro dividió la visualización de la animación en segmentos que identificó como episodios críticos, a los cuales les asoció algunas preguntas abiertas. Durante el avance de cada episodio crítico, pausó la reproducción de la animación para destacar algunos conceptos y profundizarlos cuando fue necesario, y generar momentos de discusión mediante las preguntas. Esto lo hizo con la intención de cambiar el enfoque de la animación centrada en el contenido a un trabajo en el aula centrado en el estudiante.

El docente es consciente de que las animaciones facilitan que los estudiantes hagan una diferenciación e integración más efectiva de los niveles de representación de los fenómenos de la física (macroscópico, submicroscópico y simbólico), superando la imagen estática y en dos dimensiones otorgada por los modelos representados en papel (Raviolo, 2010). De esta manera, los jóvenes tienen la posibilidad de comenzar a construir el lenguaje propio de la física, aprendiendo a hablar, leer y escribir sobre el fenómeno eléctrico.

Los resultados de estas decisiones pedagógicas del docente en el aprendizaje de los estudiantes, se pueden triangular con los índices de ganancia de Hake obtenidos en las preguntas 14 y 16, las cuales están relacionadas con el conocimiento de las similitudes y diferencias entre las corrientes continua y alterna (Ver tabla 7 en sección *3.4.1 Análisis de datos cuantitativos*). De hecho, la pregunta 14 alcanzó un índice de 0.90, y la pregunta 16 de 0.84, valores categorizados dentro de una ganancia alta. De esta forma, queda claro que, después de la implementación del OA en el marco de un aula de ciencias sociocultural, los estudiantes continúan apropiando de forma progresiva los modelos teóricos referentes al fenómeno de la corriente continua y alterna.

Respecto a la correlación entre las intenciones de diseño, las acciones implementadas en el aula y los aprendizajes logrados por los estudiantes, se concluye que el profesor eligió implementar la secuencia de actividades tal como están planteadas en el material de enseñanza, dado que las consideró contextualizadas y centradas en los estudiantes. Se puede observar que el maestro enriqueció el desarrollo de estas actividades a través de la implementación de diversas herramientas provenientes de la pedagogía general, para fortalecer la gestión del aula y ayudar en la comprensión del conocimiento/habilidad que describe esta CCD. Por ejemplo, el docente utilizó la técnica de formular preguntas abiertas y distribuir entre diferentes estudiantes estas preguntas para suscitar el debate de ideas. Además, usó la estrategia de enseñanza POE para llevar a cabo las prácticas experimentales, la cual motiva una participación activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje. Y para visualizar la animación en clase, decidió dividirla en episodios críticos a los cuales les asoció preguntas abiertas, a fin de fomentar la discusión y facilitar la comprensión de los conceptos abordados. Evidentemente, el profesor orientó el desarrollo de las actividades de

tal manera que el debate en el aula fue un recurso fundamental para promover la construcción de aprendizajes significativos en los estudiantes.

Cabe destacar que, el diseño del OA plantea representar entidades y procesos centrales del fenómeno de la corriente eléctrica a través de actividades experimentales, las cuales el maestro decidió implementar desde una perspectiva sociocultural. Al hacerlo a partir de esta visión, predominó el uso del diálogo interactivo en la clase con el objetivo de ayudar a los estudiantes a generar hipótesis y respaldarlas con argumentos basados en evidencia. Esto permitió negociar los diferentes puntos de vista cotidianos y científicos, bajo la orquestación del docente. De este modo, los estudiantes lograron construir y refinar sus modelos mentales sobre elementos del fenómeno eléctrico, y evaluarlos entre sí.

Finalmente, es posible reconocer que tanto el material educativo como el profesor, cuentan con la fortaleza de emplear diferentes textos y contextos para representar conceptos y procesos centrales del comportamiento de la corriente eléctrica. En otras palabras, se aprovecha la intertextualidad y la intercontextualidad con el propósito de brindar a los estudiantes la posibilidad de establecer y comprender los patrones que conectan prácticas experimentales distintas, lo cual es una práctica típica dentro de las ciencias (Ford y Forman, 2006).

Característica Clave de Diseño 3 (CCD3): Comprender la Ley de Ohm e Interpretar Diagramas de Circuitos en Serie y en Paralelo

Figura 12

Captura de pantalla de la sección del OA "Actividad 2: Ley de Ohm y Circuitos"

Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3epX3po

Desde las intenciones de diseño se plantea que el docente comenzaría proponiendo una actividad experimental que consiste en 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 para luego explicarles los materiales y el procedimiento 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, les propondría preguntas y situaciones a los estudiantes que les permitan discutir y comprender los aspectos trabajados en el experimento, bajo una organización interactiva-dialógica. De este modo, el maestro abordaría con los estudiantes el modelo teórico sobre 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 y al cargador que viene con el dispositivo.

A fin de posibilitar a los estudiantes aplicar los modelos matemáticos de esta ley en los circuitos serie y paralelo, el profesor primero explicaría cómo graficar un circuito eléctrico, usando una imagen de un circuito en serie y dando a conocer 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 cada tipo de circuito (en serie y en paralelo). Para cada caso, el profesor realizaría ciertas preguntas a fin de facilitar en los estudiantes la reflexión y la apropiación de los conocimientos estudiados acerca de 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 a los estudiantes una tarea escolar que demande la aplicación de los conocimientos abordados en las actividades desarrolladas en clase (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

Ahora bien, con relación a las acciones en el aula, el docente decidió comenzar la clase bajo una organización de pequeños grupos de discusión, e implementar la estrategia de enseñanza POE para llevar a cabo la actividad experimental de la ley de Ohm en un circuito simple. Desde luego, el profesor inició con una demostración, para lo cual hizo el montaje del circuito, y les comentó a los estudiantes acerca de las tres variables fundamentales de todo circuito simple: voltaje, corriente y resistencia. También, les realizó preguntas a los grupos con el fin 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 a la clase acerca de los conceptos de corriente, voltaje y resistencia. Por ejemplo, confunden voltaje con corriente, o creen que el voltaje es consecuencia del flujo de

corriente, no su causa; ignoran que, si el circuito está abierto entre dos puntos, la resistencia es infinita; consideran que la pila es una fuente de corriente, no una fuente de voltaje. Después, ellos observaron el comportamiento de la corriente eléctrica mediante la realización de los procedimientos del experimento, observación que fue acompañada por el maestro con una serie de preguntas que ayudaron a los jóvenes a tomar datos por escrito sobre el comportamiento exhibido por el circuito. 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.
> P: ¿Y por qué?
> E3: Pues lo 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. Recuerden escribir en todos los grupos las respuestas a las preguntas que les he hecho (Video de clase, octubre 07 de 2019).

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 la práctica experimental. Estas discrepancias fueron explicadas por los estudiantes, lo que les exigió integrar los niveles macroscópico y submicroscópico para interpretar lo observado. Para el profesor es sabido que el estudio del fenómeno eléctrico requiere de la diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la materia planteados por Johnstone (1982): macroscópico, submicroscópico y simbólico. Esta necesidad se debe a que el manejo consciente de estos niveles por parte de los estudiantes, les facilita la comprensión de conceptos abstractos asociados al fenómeno bajo estudio, los cuales, al no poder ser percibidos por los sentidos,

son más difíciles para asignarles un significado preciso. Para que los estudiantes construyan relaciones conceptuales adecuadas que les permitan entender gradualmente el fenómeno abordado, es preciso que acudan a sus modelos mentales y, a través de la discusión los acerquen a los modelos de autoridad de la ciencia. En resumen, la diferenciación e integración de los niveles de representación ayuda a que los estudiantes reconozcan sus modelos mentales, los usen para entender conceptos abstractos que explican comportamientos observados en el mundo macroscópico, y los refinen progresivamente, logrando finalmente moverse de lo concreto a lo abstracto, de lo situado a lo general, de lo macro a lo submicroscópico. Esta teoría naturalística está en coherencia con el siguiente diálogo entre el profesor (P) y los estudiantes (E):

> P: ¿Recuerdan que varios de sus compañeros al principio predijeron que al conectar más pilas al circuito, el bombillo se iluminaría más?
> E1: Sí profe, y así fue.
> P: ¿Pero se acuerdan de la razón que dieron?
> E2: Que eso pasaría porque aumentaría la corriente en el circuito, al tener más pilas.
> P: ¿Y será que esa es la razón correcta? ¿Qué cree usted, López? ¿Y por qué?
> E3: Que sí, porque las pilas dan más corriente o más voltaje.
> P: ¿O sea que corriente y voltaje es lo mismo?
> E4: No profe, hasta donde yo sé, no son la misma cosa.
> P: ¿Y cuál es la diferencia entonces?
> E4: 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 dentro del 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 2019).

Otra muestra del aprendizaje alcanzado los estudiantes con respecto a la ley de Ohm, es el índice de ganancia de Hake de la pregunta 1, la cual aborda la relación entre el voltaje y la corriente (Ver tabla 7 en sección *3.4.1 Análisis de datos cuantitativos*). El índice de esta pregunta fue de 0.50, el cual es considerado como una ganancia media, lo que deja en

evidencia que aumentó el número de estudiantes que lograron contestar correctamente esta pregunta.

El maestro, luego de orientar a sus estudiantes en la deducción del modelo matemático de la ley de Ohm mediante la experimentación, les hizo la petición de aplicar esta ley a su celular, tomando en cuenta el funcionamiento del cargador que viene con él. El docente decidió llevar a cabo esta actividad al ver que aprovechaba un elemento tan cercano y 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 ir realizando actividades cada vez más abstractas, propias de los niveles submicroscópico y simbólico (Ford y Forman, 2006). En la siguiente viñeta, el maestro comenta su punto de vista sobre el uso de actividades de aprendizaje situadas:

> Pienso que cuando se va a enseñar un nuevo tema en clase, es necesario iniciar con actividades que permitan al estudiante tomar como referencia situaciones que ha vivido o visto en su contexto, ya que así puede comenzar a identificar ciertos aspectos teóricos que explican el comportamiento del fenómeno en estudio, e ir apropiando progresivamente estos aspectos con ayuda de otras actividades. Es importante que las actividades iniciales no demanden manejo de un lenguaje abstracto a los estudiantes. Por eso me parece muy útil comenzar con actividades experimentales, que parten de lo concreto y fomentan la observación del fenómeno, de manera que poco a poco van introduciendo al estudiante en la comprensión del mismo, para lo cual deben acudir a sus modelos mentales (Entrevista al docente, octubre 30 de 2019).

Antes de abordar la aplicación de la ley de Ohm en los circuitos serie y paralelo, el docente consideró esencial dar a conocer a los estudiantes la simbología necesaria para graficar un circuito. El maestro estima que si los jóvenes reconocen y se apropian del sistema semiótico que sustenta la comprensión del fenómeno eléctrico, ellos podrán manejar adecuadamente el lenguaje en gran medida técnico y abstracto que caracteriza a los fenómenos de la física. Por esta razón, el profesor dedica 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 convencionales que representan los componentes de un circuito, el docente utilizó una imagen de un circuito en serie brindada por el OA. Luego de una pequeña explicación, les pidió hacer uso de la simbología correcta para dibujar un esquema del circuito observado en la imagen, y armarlo bajo la guía de dicho esquema. El profesor organizó el aula en pequeños grupos de discusión para realizar esta actividad, y acompañó a los estudiantes mediante la formulación de interrogantes que les permitieran aclarar sus dudas frente a cómo graficar un circuito en serie y el comportamiento de la electricidad bajo este tipo de conexión.

De esta manera, el maestro pretende que los estudiantes articulen tres elementos de la comunicación: el signo, el significado y el fenómeno (o *signo, interpretante* y *objeto* en términos de Charles S. Peirce) (Santaella, 2001). El signo representa parcialmente características del fenómeno, y el significado del signo es resultado de la interpretación que hace el sujeto del fenómeno natural. La siguiente viñeta permite observar la importancia que tiene para el docente abordar aspectos semióticos en el aula de física:

En mi experiencia como profesor de física, he visto que una de las dificultades que tienen los estudiantes para comprender los fenómenos de la física es el manejo del lenguaje de esta disciplina, el cual es altamente técnico y abstracto. Ante esta dificultad, considero que puede ser muy útil que el estudiante conozca la simbología que permite la comunicación del fenómeno, que en este caso se refiere al circuito eléctrico. Es importante que él sepa diferenciar cada símbolo, sabiendo qué representa y qué significa, de forma que se le facilite apropiar esos modos semióticos que sustentan la comprensión del fenómeno. Además, al tener clara esta simbología, los estudiantes van a entender las especificaciones técnicas que tienen los dispositivos eléctricos, y así evitar posibles accidentes eléctricos en su entorno (Entrevista al docente, octubre 30 de 2019).

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 un circuito en serie y en paralelo, el cual le permitió discutir con los estudiantes la disposición de los componentes del circuito en cada tipo de configuración, 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, de manera que continuaran apropiándose de los conocimientos abordados acerca de la ley de Ohm, y refinando progresivamente sus modelos mentales sobre el fenómeno eléctrico. En la siguiente viñeta se valida este evento:

> P: ¿Cómo es el recorrido de la corriente en este tipo de circuito (paralelo)? ¿En qué se diferencia al recorrido 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: ¿Y qué será que pasa con la intensidad de corriente que circula por cada camino? Otro estudiante que opine al respecto, por favor.
> E3: Pues supongo que es menor la cantidad de corriente que pasa por cada camino, comparada con la corriente total que ingresa 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 2019).

Asimismo, es posible comprobar el aprendizaje logrado por los estudiantes en el conocimiento de 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 este conocimiento (Ver tabla 7 en sección *3.4.1 Análisis de datos cuantitativos*). Así pues, 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 que se obtuvieron 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. Por esta razón, es posible inferir 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 la ley de Ohm. 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 posibilitó al profesor estimular en los estudiantes el desarrollo de una doble función: constructor y crítico de afirmaciones científicas. En primera instancia, el estudiante construye y discute las afirmaciones en los pequeños grupos de discusión, y luego las evalúa críticamente con toda la clase. Así, estas estrategias pedagógicas mediaron la apropiación de los conocimientos y habilidades de ley de Ohm por parte de los estudiantes.

A fin de cerrar el abordaje de la ley de Ohm, el profesor organizó el aula bajo una estructura no interactiva-de autoridad[17] para mostrar a los estudiantes cómo solucionar un ejercicio de un circuito en paralelo aplicando la ley de Ohm. Finalmente, les dejó como tarea resolver una serie de preguntas relacionadas con analizar los circuitos eléctricos presentes en sus casas, y hacer un ejercicio sobre circuitos usando la ley de Ohm. El maestro decidió plantear esta actividad de aprendizaje con la intención de brindar la posibilidad a los estudiantes de profundizar en la comprensión del fenómeno en estudio, y transferir lo aprendido a situaciones de su cotidianidad.

En relación con la correspondencia entre lo diseñado, lo implementado en clase y lo aprendido por los estudiantes, es posible concluir que el docente implementó en su totalidad el conjunto de actividades plasmadas en el diseño del material de enseñanza, 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 planteada por esta CCD, a pesar de que en el diseño y desarrollo del material de enseñanza estos elementos pedagógicos no fueron conjeturados explícitamente.

[17] Mortimer y Scott (2003) plantean cuatro clases de enfoque comunicativo para brindar una perspectiva sobre cómo el profesor trabaja con los estudiantes a fin de desarrollar ideas en la clase de ciencias. Uno de estos enfoques es el *no interactivo-de autoridad*, en el cual el docente presenta un punto de vista específico de la ciencia.

El profesor empleó estos recursos pedagógicos a fin de focalizar el desarrollo de la argumentación apoyada en evidencia en los estudiantes. Este es un aspecto social de la práctica científica que permite a los estudiantes apropiar 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, durante las discusiones en clase, presentan sus argumentos sobre el fenómeno estudiado a partir de sus modelos mentales, frente a los cuales los compañeros pueden contraargumentar o no. En caso de ser refutado, el estudiante reflexiona y discute sobre ello con el ánimo de comprender y explicar adecuadamente el comportamiento del fenómeno de interés, hasta llegar a un consenso entre todos los compañeros de la clase. Claramente, ambos roles dependen el uno del otro, de cómo interactúan a nivel comunitario. Por ejemplo, un buen crítico no podría serlo sin ser también un constructor, y viceversa. Es decir, la práctica científica implica ser capaz de desempeñar los dos roles apropiadamente (Ford y Forman, 2006). En definitiva, a lo largo del desarrollo de las actividades que representan esta CCD, los estudiantes tuvieron la posibilidad de ejercer ambos roles, fortaleciendo su conocimiento y habilidades científicas.

Vale la pena destacar que, los estudiantes 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, los jóvenes superaron algunas confusiones conceptuales, de tal modo que lograron avanzar en los ámbitos disciplinar, cognitivo y social. Esto fue posible debido a que el docente decidió implementar el OA involucrando principios que fomentan este tipo de compromiso en ellos, tales como: a) problematizar el fenómeno bajo estudio (que los estudiantes propongan, analicen, interpreten, busquen evidencia), b) dar autoridad a los estudiantes (que tengan un papel activo en el abordaje del fenómeno, siendo autores y productores de conocimiento), c) responsabilizarlos de la calidad de su trabajo intelectual (que responda a las prácticas científicas establecidas dentro y fuera del aula), y d) brindarles los recursos suficientes para lograr los principios anteriores (Engle y Conant 2010). Si bien, promover el compromiso disciplinario productivo entre los estudiantes no hace parte de los aspectos planteados dentro del diseño del material de enseñanza, éste si cuenta con algunos principios que favorecen

dicho compromiso, dado que busca enfrentar a los estudiantes a problemas situados, favorecer la argumentación basada en evidencia, y brindar recursos educativos en distintos formatos. Los anteriores presupuestos se validan mediante el siguiente diálogo entre el profesor y los estudiantes:

> P: De acuerdo con lo que hemos discutido en la clase ¿Qué tipo de circuito piensan ustedes que se usa en la instalación eléctrica de sus casas?
> E1: Seguramente se utilizan circuitos en paralelo.
> P: ¿Por qué?
> E1: Porque si se usaran circuitos en serie para el sistema eléctrico de una casa, sucedería, por ejemplo, que sólo podríamos tener un interruptor para todos los bombillos de la casa, el cual encendería todas las luces al mismo tiempo. Además, cada vez que se fundiera algún bombillo, tendríamos que cambiarlo para volver a tener luz.
> P: ¿Y usted cómo haría para saber cuál es el bombillo fundido?
> E1: Tendría que probar cada bombillo de la casa hasta descubrir el que está fundido, así como las luces navideñas. Y eso sería mucho trabajo.
> P: Correcto, ahora ¿Me pueden decir otra ventaja de usar circuitos en paralelo en este caso? ¿Qué otros aspectos hacen que sea viable usar los circuitos en paralelo para las instalaciones eléctricas de viviendas, comercios, fábricas?
> E2: Otra ventaja es que, como lo hablamos antes, los aparatos eléctricos funcionan con un voltaje fijo. En un circuito en serie, al pasar la corriente eléctrica por cada elemento, se genera una caída en el nivel de tensión, mientras que, en paralelo, la tensión que alimenta cada elemento se mantiene constante, evitando que se dañen las máquinas de la casa, la oficina o la fábrica (Video de clase, octubre 16 de 2019).

Finalmente, una fortaleza que demuestra tanto el diseño del OA como su implementación por parte del docente, es realizar y aprovechar al máximo actividades de aprendizaje contextualizadas a fin de representar el fenómeno eléctrico, utilizando para su desarrollo materiales fáciles de conseguir y manipular por los estudiantes. Además, el docente llevó a cabo estas actividades en su clase desde una perspectiva sociocultural, donde el diálogo interactivo jugó un papel central en ayudar a los estudiantes a explicitar sus

modelos mentales, e irlos refinando mediante la discusión de los diferentes puntos de vista cotidianos y científicos. Tal vez estos elementos agregados por el docente durante la implementación del material de enseñanza puedan ser tomados en cuenta al momento de rediseñar este OA.

Característica Clave de Diseño 4 (CCD4): Indagar Sobre el Efecto Joule y su Relación con las Pérdidas de Energía Ocasionadas por el Transporte en las Líneas de Alta Tensión

Figura 13

Captura de pantalla de la sección del OA "Actividad 3: Efecto Joule"

Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3rIfKdH

Según las intenciones de diseño, con el propósito de hacer ver a los estudiantes que el efecto joule es la principal causa de las pérdidas de energía en las líneas de alta tensión, el maestro mostraría fotografías alusivas al calentamiento de material resistivo en algunos aparatos eléctricos. Bajo una organización dialógica del aula, el docente realizaría preguntas

a los estudiantes con la finalidad de llevarlos a analizar el fenómeno representado en esas fotos, y establecer su relación con las redes eléctricas y las pérdidas de energía en las líneas de alta tensión. Las ideas expresadas por los estudiantes durante esta discusión, serían retomadas por el profesor al exponer el modelo teórico sobre el efecto joule y su aplicación a la situación de las redes eléctricas, apoyándose en textos, imágenes y fórmulas que expliquen dicho efecto.

Una vez que los estudiantes reconozcan el efecto joule, el maestro estructuraría el aula en pequeños grupos de discusión y llevaría a cabo una actividad experimental relacionada con hacer brillar una mina de grafito. El docente indicaría a los estudiantes los materiales y el procedimiento del experimento, y los orientaría durante su ejecución a fin de que superen sus dudas y confusiones sobre el tema (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

Para la implementación en el aula, el profesor decidió cambiar la secuencia de las actividades de esta CCD, enfrentando a los estudiantes primero a la experimentación, y posteriormente al modelo de autoridad sobre el efecto joule. El maestro sustenta este ajuste en que una de las potencialidades pedagógicas de la actividad experimental que él más valora es la posibilidad que ofrece a los estudiantes de comenzar a construir conocimientos acerca del fenómeno, partiendo de la observación y la predicción. Además, destaca que la actividad experimental planteada para esta CCD es muy sencilla de realizar y usa materiales de fácil acceso, de manera que ayuda a que los estudiantes pongan en juego y refinen sus modelos mentales a través de la discusión que promueve la estrategia de enseñanza POE, y los enfoques comunicativos interactivo-dialógico e interactivo-de autoridad.

Así pues, el docente dio inicio a la clase bajo una organización del aula en pequeños grupos de discusión, e implementó la estrategia POE para desarrollar la actividad experimental que consistía en hacer que una mina de grafito brillara. Naturalmente, el profesor comenzó con la demostración, realizando el montaje de dos cables conectados a tres pilas en serie y una mina, y les hizo preguntas a los grupos con el objetivo de llevarlos a predecir acerca de lo que pasaría al poner en funcionamiento este circuito, además de justificar y discutir sus predicciones. De este modo, los estudiantes pudieron dar a conocer sus modelos mentales sobre este fenómeno, lo cual le permitió al maestro identificar que

algunos continuaban confundiendo voltaje con corriente, o creían que la pila era una fuente de voltaje y no de corriente. Después, los jóvenes observaron el efecto joule en el circuito armado al efectuar los procedimientos del experimento en cada grupo. El docente acompañó esta observación a través de preguntas que ayudaron a los estudiantes a recoger datos por escrito sobre el comportamiento exhibido por el circuito. La siguiente viñeta presenta algunos de los interrogantes generados por el profesor (P) hacia los estudiantes (E):

> P: ¿Qué pasó después de tener un momento conectados todos los elementos del circuito?
> E1: Yo toqué la mina y la sentí caliente.
> P: ¿Qué pasará si apagamos la luz y tapamos un poco con las manos la entrada de luz a la mina?
> E2: No sé profe, me imagino que nada.
> E3: Yo sí sé, se ve como medio rojiza.
> P: ¿Qué opina usted de lo que dice su compañero?
> E4: Que sí profe, o sea la mina se ve así porque está brillando un poquito (Video de clase, octubre 21 de 2019).

Posteriormente, el maestro pidió a los estudiantes contrastar sus hipótesis con los datos recogidos durante la observación, lo que les permitió advertir algunas pequeñas discrepancias entre sus predicciones y lo observado en el experimento. Ellos lograron explicar dichas discrepancias, movilizando así sus modelos mentales acerca del efecto joule hacía unos más elaborados y cercanos a la ciencia.

Una vez culminada la actividad experimental, el docente organizó el aula bajo una estructura interactiva-de autoridad[18], y proyectó imágenes proporcionadas por el OA, en las que se observaba el calentamiento del material resistivo de tres electrodomésticos. Luego de permitir a los estudiantes contemplar las fotografías por un momento para identificar qué

[18] En el enfoque comunicativo **interactivo-de autoridad**, el maestro guía a los estudiantes a través de una secuencia de preguntas y respuestas con el objetivo de permitirles refinar sus ideas hacia el punto de vista de la ciencia (Mortimer y Scott, 2003).

aparatos eran, el maestro les formuló preguntas con la intención de asistirlos en el análisis del fenómeno físico que se apreciaba en las fotos. Asimismo, por medio de estas preguntas, ayudó a que ellos establecieran la relación del efecto joule con las redes eléctricas y la pérdida de energía en las líneas de alta tensión. El docente resolvió llevar a cabo esta actividad, dado que aprovecha elementos del contexto cotidiano de los estudiantes (estufa, bombillo), para llevarlos a reflexionar sobre el fenómeno de interés, además de motivar la discusión en clase, la cual les permite desarrollar la argumentación. La siguiente viñeta permite validar estos presupuestos:

> P: ¿Por qué creen que se calienta la parrilla de la estufa eléctrica?
> E1: Pienso que es porque le llega un flujo de electrones constante mientras la estufa está prendida.
> P: ¿Pero será que solo sucede eso, o qué más pasará para que esa parrilla se caliente tanto que nos permita cocinar alimentos?
> E2: Debe pasar algo similar a lo que vimos en los bombillos.
> P: Amplíe más la idea Rojas, por favor.
> E2: Pues en los bombillos dijimos que el filamento se iluminaba porque el flujo de electrones, al llegar allí, chocaba con los átomos del filamento, lo que hacía que se agitaran las partículas, generando tanto calor hasta el punto de emitir luz. Si vemos el caso de la parrilla de la estufa, prácticamente podemos aplicar la misma explicación.
> P: ¿Usted está de acuerdo con lo que dijo su compañera?
> E3: Si profe, tiene mucho sentido. En la estufa también pasa esa interacción que explicó ella entre los electrones de la corriente eléctrica y los átomos del conductor, lo que hace que nosotros podamos percibir el calor y la luz que expulsa la parrilla.
> P: Bueno ¿Qué ventajas y desventajas piensan ustedes que tiene el hecho de que se genere calor y luz al mismo tiempo? ¿Qué dice Quiñones?
> E4: Yo creo que una desventaja es que si uno solo necesita usar el calor, la luz sería un desperdicio, como en el caso de la estufa.
> P: ¿Qué opina usted de lo que acaba de decir su compañero?
> E1: Sí, estoy de acuerdo, porque para generar esa luz se gasta energía que se podría haber utilizado para generar calor, que es lo que se necesita de la estufa. Con el caso del bombillo, también podemos decir que se pierde energía en el calor que se genera,

porque uno toca un bombillo y está caliente, pero lo que se necesita de él es que ilumine.

P: Muy bien, ahora pensemos en las redes eléctricas y la transformación de la energía […] (Video de clase, octubre 21 de 2019).

Cuando el profesor reconoció que los estudiantes habían logrado hacer un análisis suficiente de las imágenes, orientó la discusión hacia un estudio más minucioso del modelo teórico del efecto joule. Durante el desarrollo de esta discusión, les presentó textos, imágenes y fórmulas propias de este fenómeno, con el objetivo de suscitar más aspectos sobre los cuales debatir y aprender. Desde luego, también se abordaron las consecuencias del efecto joule sobre las redes eléctricas. De este modo, el maestro propició que los estudiantes refinaran sus modelos mentales sobre el efecto joule, con el fin de acercarlos poco a poco al modelo teórico aceptado por la ciencia. Esto se pone en evidencia en la siguiente viñeta:

P: Hemos logrado establecer a través del análisis y el debate que todo conductor recorrido por una corriente eléctrica se calienta ¿Será que hay manera de mermar las pérdidas de energía causadas por el efecto joule en las líneas de alta tensión?

E1: Debe haberla.

P: ¿Cuál plantean ustedes?

E2: Una forma sería reduciendo el flujo de electrones, es decir, reducir la corriente que circula por los cables de las redes eléctricas.

P: ¿Está de acuerdo con su compañero, no es necesario hacer nada más?

E1: Lo que dice él está bien, solo que también se debe aumentar el voltaje, según lo que analizamos en la fórmula.

P: ¿Y qué analizamos en la fórmula de energía calorífica?

E3: Que el calor es inversamente proporcional al voltaje.

E4: Y que si se aumenta ese voltaje al máximo, la pérdida de energía en forma de calor sería mínima (Video de clase, octubre 23 de 2019).

Otra evidencia del aprendizaje logrado por los estudiantes con relación al efecto joule, es el índice de ganancia de la pregunta 18 del test, el cual fue de 0.92 (Ver tabla 7 en sección *3.4.1 Análisis de datos cuantitativos*). Este valor significa que se obtuvo una ganancia alta,

de modo que, luego de la implementación del OA, las respuestas correctas a esta pregunta aumentaron de gran manera.

En cuanto a la relación entre el diseño del OA, su implementación en clase y los aprendizajes alcanzados por los estudiantes, se concluye que el profesor implementó todas las actividades planteadas en el diseño, pero realizó algunas modificaciones referentes a su secuenciación y a la organización de la clase, con el fin de fortalecer la apropiación de los conocimientos y habilidades que representan esta CCD. Cabe mencionar que el maestro, haciendo uso de sus conocimientos pedagógicos, decidió enfrentar a los estudiantes primero a la actividad experimental y luego a las actividades orientadas a abordar el modelo teórico del efecto joule. Esto se debió a que él considera que se debe brindar al estudiante la posibilidad de comenzar a construir su conocimiento desde la interacción directa con el fenómeno, en la medida de lo posible. Asimismo, decidió poner en práctica en su clase el enfoque comunicativo interactivo-de autoridad, a pesar de que en las intenciones de diseño se sugería usar una estructura dialógica. Esta decisión se debió a que el docente identificó que los estudiantes, a través de las actividades de las CCD anteriores, habían refinado sus modelos mentales sobre el fenómeno eléctrico a puntos de vista próximos a lo científicamente aceptado; por ello, le resultó más provechoso utilizar un enfoque comunicativo que le permitiera a los estudiantes profundizar en la discusión sobre el modelo teórico del efecto joule.

Justamente, incorporar este tipo de elementos en el desarrollo de las actividades, hizo posible que los estudiantes continuaran fortaleciendo su compromiso disciplinario productivo con el aprendizaje de la física. Al tener el espacio de intercambiar y negociar significados sobre el fenómeno de la electricidad, los jóvenes pudieron establecer con mayor facilidad las relaciones conceptuales necesarias para comprender el efecto joule y argumentar sus posturas al respecto. Si bien, aspectos como los enfoques comunicativos en el aula de ciencias o el compromiso disciplinario productivo no están conjeturados en el diseño del material de enseñanza, el conocimiento pedagógico del contenido de la física que posee el profesor le permitió implementarlo desde una perspectiva sociocultural.

Para finalizar, vale la pena destacar cómo el maestro justifica la importancia de que los estudiantes aprendan sobre el efecto joule, a través de la siguiente viñeta:

El modelo teórico del efecto joule se encuentra relacionado de forma significativa con la vida del estudiante. Conocer este efecto, comprenderlo, le permitirá contar con argumentos para tomar decisiones concernientes a la energía eléctrica en su casa o en su trabajo; es decir, le aporta a mejorar su calidad de vida. De ahí que sea muy importante desarrollar actividades de aprendizaje contextualizadas. El conocimiento sobre el efecto joule permite que los estudiantes tomen decisiones informadas. O sea que las acciones que lleven a cabo en los diferentes ámbitos de actuación a nivel personal o profesional, van a estar fundamentadas en ese conocimiento (Entrevista al docente, octubre 30 de 2019).

Característica Clave de Diseño 5 (CCD5): Analizar el Impacto Ambiental de las Termoeléctricas y las Hidroeléctricas en Colombia

Figura 14

Captura de pantalla de la sección del OA "Actividad 4: Impacto ambiental"

Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3Cgjurp

Las intenciones de diseño indican que el maestro iniciaría llevando a cabo un debate bajo la estrategia didáctica del juego de roles, con la intención de estudiar las formas de producir corriente eléctrica tanto en una termoeléctrica como en una hidroeléctrica, y considerar su impacto ambiental en el país. Para ello, organizaría a los estudiantes en dos grandes grupos, asignando a uno el rol de central termoeléctrica y al otro el de central hidroeléctrica. Les informaría que el debate debe centrarse en defender la forma de producción de corriente eléctrica asignada a cada grupo y su impacto ambiental a nivel nacional. Con el fin de preparar los argumentos, el docente solicitaría a cada grupo subdividirse en parejas y anotar aquellas ideas que les sirvan al momento de argumentar durante el debate. Adicionalmente, el profesor designaría a un estudiante como moderador del debate, a quien le pediría preparar una breve introducción y algunas preguntas para ambos grupos. Le indicaría que dentro de sus tareas está asegurarse de que los participantes sean concretos al hablar y respeten los turnos de la palabra.

El debate iniciaría con una corta introducción por parte del moderador, quien mencionaría además el objetivo del debate y la manera en que éste se realizará. El moderador formularía la primera pregunta y daría la palabra en orden a los participantes.

Cuando el debate finalice, el maestro les pediría a los estudiantes escribir un comentario acerca de la producción de corriente, el cual presente cohesión y coherencia, tomando en cuenta los siguientes aspectos: los modelos para la producción de energía eléctrica masiva, las consecuencias del desarrollo científico y tecnológico de estos modelos para el bienestar de los colombianos, y el perjuicio ambiental para los ecosistemas nacionales (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

El docente comenzó la clase bajo una estructura interactiva-dialógica, y les propuso a los estudiantes realizar un debate sobre las formas de producir corriente eléctrica y su impacto ambiental, para lo cual los dividiría en dos grupos iguales y a cada grupo le asignaría el rol de central termoeléctrica o de central hidroeléctrica. El profesor decidió efectuar esta actividad, puesto que considera que los juegos de roles, en el caso de la enseñanza de las ciencias, son una estrategia útil para fortalecer la argumentación en los estudiantes, utilizando evidencia científica y un lenguaje apropiado, acorde a su edad (Juárez González et al., 2019). Los juegos de roles facilitan poner en discusión en el aula temas controversiales a nivel social

que tienen en su base principios científicos, como la producción de energía en las centrales termoeléctricas e hidroeléctricas, lo cual motiva a los estudiantes a buscar información y plantear soluciones, relacionando explicaciones y pruebas (Agell et al., 2013). Por consiguiente, el maestro identifica en esta estrategia los siguientes beneficios para los estudiantes: favorece el acceso al conocimiento de forma significativa, enriquece el vocabulario, genera interacción entre los compañeros de clase, permite el desarrollo de la creatividad y la construcción de nuevos significados, fomenta la lectura y la indagación, y desarrolla el pensamiento crítico mediante la controversia propuesta (Grande de Prado y Abella, 2010). Esta teoría naturalística se encuentra en coherencia con lo expresado por el docente en la siguiente viñeta:

> La dinámica del juego de roles es muy interesante utilizarla en el aula de física, pues permite analizar a profundidad las diferentes posturas que tienen los estudiantes sobre los fenómenos y conceptos abordados en la clase, y discutirlas con respeto. El debate que esta suscita, hace que ellos sientan la necesidad de tener una opinión más argumentada, lo cual los motiva a informarse muy bien para participar y ganarle a sus compañeros. Además, después de participar en el juego de rol, muchos expresan que entendieron mejor los temas de la clase, y que ya ven las cosas desde otro punto de vista. Yo creo que este tipo de actividades ayudan a los jóvenes a formarse una opinión más informada, a aprender de forma significativa y, sobre todo, a tomar decisiones de forma responsable y con argumentos sólidos (Entrevista al profesor, octubre 30 de 2019).

El maestro realizó aleatoriamente el reparto de los roles a participar en el debate (grupo termoeléctrica, grupo hidroeléctrica, moderadores), y solicitó a ambos grupos organizarse en parejas a fin de preparar sus respectivos argumentos. Para ello, el docente les facilitó a los jóvenes una breve descripción de su rol con ideas centrales sobre las que debían buscar más información, y anotar los aspectos más relevantes para defender su posición en el debate. Asimismo, el profesor les explicó a los dos estudiantes con rol de moderadores sus funciones dentro del desarrollo del debate: hacer una pequeña introducción del tema, preparar preguntas que guíen el debate, y garantizar que sus compañeros fueran concretos al brindar sus puntos de vista y respetaran la asignación de la palabra.

Una vez los estudiantes tuvieron preparados sus roles, el debate empezó con una introducción de tres minutos realizada por el moderador, en la que se planteó el objetivo del debate y la forma en que se desarrollaría el mismo. Luego, el moderador formuló la primera pregunta y dio un turno de palabra de tres minutos para cada rol, en los cuales presentaron sus argumentos a favor de su forma de producción de energía eléctrica, y sus argumentos en contra de la forma de producción del otro rol. En este momento no se permitió la interrupción ni la contraargumentación. Después de un descanso de 10 minutos, en los que cada grupo se preparó para la ronda de contraargumentaciones apoyados en sus notas, ambos roles tuvieron la posibilidad de defender o contraargumentar las distintas opiniones, durante 30 minutos. Para cerrar el debate, los moderadores retomaron el objetivo del debate a fin de establecer si se había logrado. La siguiente viñeta muestra un fragmento de la ronda de contrargumentaciones entre los estudiantes bajo el rol de central termoeléctrica (Estudiante Termoeléctrica, **ET**) e hidroeléctrica (Estudiante Hidroeléctrica, **EH**):

> EH_1: Los compañeros de la termoeléctrica no pueden dejar de lado el gran problema de contaminación que provoca ese tipo de centrales al emitir residuos a la atmósfera, los cuales se generan de la combustión de carbón, gas natural o petróleo, todos combustibles fósiles usados por las termoeléctricas para funcionar y producir electricidad.
>
> EH_2: Exactamente, en cambio las hidroeléctricas usan uno de los métodos más antiguos para generar energía eléctrica, que es aprovechar el movimiento del agua, ya sea de caídas de ríos o en las mareas, para transformarla en electricidad mediante un generador. Tanto así que actualmente se considera que la energía eléctrica generada en las centrales hidroeléctricas es limpia.
>
> ET_1: Bueno, pero así como nosotros los de la central termoeléctrica no podemos dejar de lado el problema de las emisiones de partículas contaminantes a la atmosfera, ustedes no pueden negar los daños ambientales y sociales que pueden causar las hidroeléctricas.
>
> EH_3: Claro, y no lo dejamos de lado. Por lo menos, para el caso de Colombia, un país tan montañoso, esta clase de central tiene una gran ventaja, pues se pueden construir hidroeléctricas sin tener que hacer intervenciones muy complejas, aprovechando la topografía montañosa. Lo que toca es realizar y promover buenas prácticas en estos

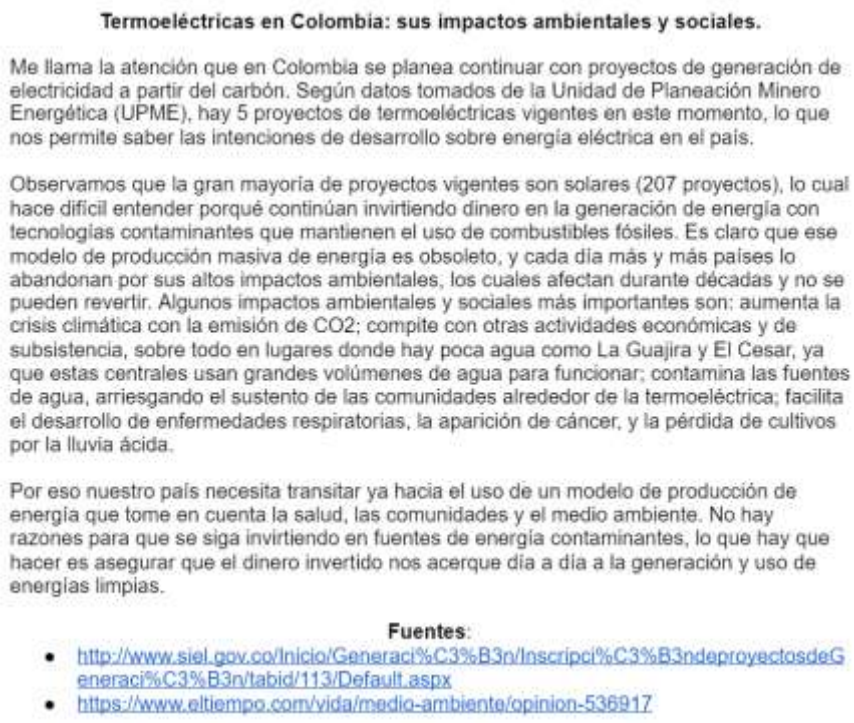
proyectos, que el Estado aplique los controles ambientales necesarios en todos los proyectos de hidroeléctricas que se hagan en el país, y castigue fuertemente a aquellas empresas que rompan las normas solo por buscar beneficios económicos, sin importarles lograr un equilibrio entre el desarrollo y el medio ambiente.

EH_4: Para cerrar, creo que también es importante decir que nuestro tipo de central no contribuye al aumento de la concentración de CO_2 en la atmosfera, el principal gas relacionado con el efecto invernadero. Después de todo lo dicho, al comparar ambos sistemas, podemos decir que el más eficiente y el menos contaminante es el hidroeléctrico.

ET_2: Veo que se están centrando mucho en la parte ambiental, que claro, es muy importante, pero están descuidando los impactos sociales negativos que puede provocar una hidroeléctrica sobre la gente del territorio donde esta se decida construir. Un caso en Colombia del que todos hemos escuchado es el de Hidroituango, un proyecto muy controversial. Por ejemplo, líderes sociales de esa zona denuncian que con ese proyecto se afectó la actividad de pesca como su forma de sustento, se atentó contra el bosque seco tropical, el cual está a punto de desaparecer en Colombia, se desplazó la fauna, se despojó a decenas de habitantes de sus territorios sin una compensación justa. No se puede negar además que las hidroeléctricas son uno de los factores que aporta a la pérdida de la biodiversidad (Video de clase, octubre 28 de 2019).

Además de la anterior viñeta, los aprendizajes desarrollados por los estudiantes alrededor del impacto ambiental de las termoeléctricas e hidroeléctricas se pueden evidenciar en los índices de ganancia de Hake obtenidos en las preguntas 11 y 17 (Ver tabla 7 en sección *3.4.1 Análisis de datos cuantitativos*). La pregunta 11 alcanzó un índice de 0.89, y la pregunta 17 de 0.90, los cuales son valores que revelan una ganancia alta. Frente a estos resultados, vale la pena destacar que el debate, al ser una actividad contextualizada que despierta el interés de los estudiantes, le permite al docente aumentar en ellos el nivel de compromiso con su aprendizaje. Esto significa que tanto la actividad de debate como la forma en que el docente la implementó, permitieron que las respuestas correctas a estos interrogantes aumentaran en gran medida.

Cuando terminó el debate, el maestro les solicitó a los estudiantes organizarse de manera individual y escribir un comentario sobre la producción de corriente eléctrica, en el que consideraran aspectos como los modelos de producción de energía eléctrica masiva, y las consecuencias del desarrollo científico y tecnológico de estos modelos en los diferentes ámbitos de la sociedad colombiana (ambiental, social, económico, político). Les indicó que para producir este texto, podían consultar en diferentes fuentes de información como internet, libros, periódicos, entre otros, y parafrasear. Les recordó que el parafraseo se trataba de reescribir la idea de un autor usando el lenguaje propio, sin distorsionar el significado, lo cual les exigía entender lo que el autor desea comunicar para poder informarlo nuevamente. El docente hizo la aclaración de que cuando les decía que utilizaran sus propias palabras, no se refería a usar un lenguaje coloquial, sino que debían emplear los términos formales que ellos habían ido conceptualizando a lo largo de las actividades anteriores del OA. Además, les advirtió que si iban a tomar datos y/o parafrasear algunas fuentes de información, estas debían ser referenciadas al final del texto, por razones de ética de la comunicación. Finalmente, les pidió a los estudiantes que el texto tuviera cohesión y coherencia. En la siguiente viñeta se puede observar la producción textual de uno de los estudiantes:



Termoeléctricas en Colombia: sus impactos ambientales y sociales.

Me llama la atención que en Colombia se planea continuar con proyectos de generación de electricidad a partir del carbón. Según datos tomados de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), hay 5 proyectos de termoeléctricas vigentes en este momento, lo que nos permite saber las intenciones de desarrollo sobre energía eléctrica en el país.

Observamos que la gran mayoría de proyectos vigentes son solares (207 proyectos), lo cual hace difícil entender porqué continúan invirtiendo dinero en la generación de energía con tecnologías contaminantes que mantienen el uso de combustibles fósiles. Es claro que ese modelo de producción masiva de energía es obsoleto, y cada día más y más países lo abandonan por sus altos impactos ambientales, los cuales afectan durante décadas y no se pueden revertir. Algunos impactos ambientales y sociales más importantes son: aumenta la crisis climática con la emisión de CO_2; compite con otras actividades económicas y de subsistencia, sobre todo en lugares donde hay poca agua como La Guajira y El Cesar, ya que estas centrales usan grandes volúmenes de agua para funcionar; contamina las fuentes de agua, arriesgando el sustento de las comunidades alrededor de la termoeléctrica; facilita el desarrollo de enfermedades respiratorias, la aparición de cáncer, y la pérdida de cultivos por la lluvia ácida.

Por eso nuestro país necesita transitar ya hacia el uso de un modelo de producción de energía que tome en cuenta la salud, las comunidades y el medio ambiente. No hay razones para que se siga invirtiendo en fuentes de energía contaminantes, lo que hay que hacer es asegurar que el dinero invertido nos acerque día a día a la generación y uso de energías limpias.

Fuentes:

- http://www.siel.gov.co/Inicio/Generaci%C3%B3n/Inscripci%C3%B3ndeproyectosdeGeneraci%C3%B3n/tabid/113/Default.aspx
- https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/opinion-536917

(Trabajo del estudiante, octubre 28 de 2019).

El profesor decidió mencionar a los estudiantes la posibilidad de consultar en otras fuentes de información aparte de los argumentos presentados en el debate, con la intención de llevarlos a realizar el proceso de la intertextualidad. Así pues, los jóvenes debían relacionar el texto[19] abordado en clase a través del debate, con otros textos provenientes de diversas fuentes. Este proceso es importante no solo para apoyar la comprensión del fenómeno de la corriente eléctrica, sino, también, para contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la habilidad científica de la argumentación basada en evidencia en los estudiantes.

Respecto a la afinidad entre lo planteado desde el diseño, lo implementado en clase y lo aprendido por los estudiantes, es posible concluir que el docente decidió llevar a cabo, con algunos ajustes, la actividad propuesta en esta CCD, al reconocer su potencial para diseñar auténticos problemas de índole controversial. Este tipo de problemas promueve el desarrollo de la argumentación basada en evidencia en los estudiantes, dado que deben recurrir a los modelos mentales que han construido y refinado al transitar por el corredor conceptual de las CCD anteriores, a fin de argumentar frente a nuevos contextos situados, tomando una posición y defendiéndola. Así pues, la actividad de esta CCD permite a los estudiantes poner en práctica los dos roles centrales en la actividad científica: *constructor* y *crítico* de afirmaciones de conocimiento (Ford y Forman, 2006).

Cabe resaltar que, esta actividad posibilitó a los estudiantes fortalecer sus habilidades de comunicación oral y escrita en ciencias. Sin embargo, el profesor identificó en ella algunas debilidades que subsanó realizando pequeños ajustes. Durante la preparación previa al debate, el maestro notó que hacía falta guiar con más detalle a los estudiantes en la construcción de sus argumentos para el momento de la discusión; no bastó con anunciarles que debían defender una de las formas de generación de energía y su impacto ambiental en el país, sino, también, fue necesario darles información básica sobre el modelo de producción energética asignado e ideas centrales sobre las cuales consultar para formular sus argumentos.

[19] Aquí se asume como texto todo recurso semiótico de tipo oral, escrito, visual, auditivo y gestual.

Además, al leer como está planteada la actividad, se observa que sólo brinda el contexto problemático y sus conceptos clave, quedándose así en el plano conceptual que subyace a la situación problematizadora, dejando de lado los aspectos sociales, económicos y políticos que hay alrededor de esta situación. Frente a esto, el docente, tanto en la preparación del debate como en las sugerencias para la escritura del comentario, decidió pedir a los jóvenes considerar los efectos generados por las formas de producción de energía eléctrica en las diferentes esferas de la sociedad, a fin de ayudarlos a tomar conciencia sobre los elementos sociales, económicos y políticos del fenómeno y el problema estudiado.

Característica Clave de Diseño 6 (CCD6): Socializar la Ley de Ohm y las Configuraciones Eléctricas en Serie y Paralelo a Través de una Mini Feria de la Ciencia

Figura 15

Captura de pantalla de la sección del OA "Actividad 5: Socialización"

Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3fv4SuB

En las intenciones de diseño se prescribe que el profesor comenzaría organizando a los estudiantes en pequeños grupos de discusión, y le solicitaría a cada grupo construir un

dispositivo eléctrico en el que apliquen la ley de Ohm y las configuraciones eléctricas en serie y paralelo. Por ejemplo, los estudiantes podrían hacer un semáforo o un pulsímetro. Una vez terminados los dispositivos, el maestro, bajo la estrategia de una mini feria de ciencia, invitaría a cada grupo a explicar el diseño eléctrico de su construcción, indicando el tipo de circuito correspondiente (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

El profesor comenzó la clase bajo una estructura no interactiva- de autoridad a fin de explicar a los estudiantes qué es un multímetro, cuáles son sus usos más comunes y cómo funciona. Luego, el maestro les pidió organizarse en pequeños grupos de discusión y a cada grupo le entregó un multímetro junto con un circuito en paralelo y una batería, con la finalidad de facilitarles un espacio donde pudieran practicar la manipulación de dicho instrumento. El docente decidió llevar a cabo estas acciones antes de implementar la actividad planteada en el material de enseñanza para esta CCD, puesto que es consciente de la necesidad de que los estudiantes sepan manejar un multímetro que les permita medir corrientes, resistencias y voltajes, de modo que puedan aplicar la ley de Ohm en sus artefactos y comprobar su tipo de configuración eléctrica (en serie o en paralelo), tal como lo demanda la actividad de esta CCD.

Una vez los estudiantes resolvieron sus dudas sobre el multímetro, comprendieron su utilidad y practicaron cómo utilizarlo, el profesor les indicó que estaban listos para participar del Máster Eléctrico, el cual consistía en que ellos construyeran dispositivos eléctricos en grupo, tomando los materiales necesarios de las cajas dispuestas en el aula. El maestro tomó la decisión pedagógica de modificar la actividad de la mini feria de ciencia para convertirla en un Máster Eléctrico, tomando como referencia el programa de televisión *Master Chef*, donde, en lugar de preparar comidas, elaborarían artefactos eléctricos poniendo en práctica todo lo aprendido. Este cambio se debió a que el docente, quien trabaja en una institución educativa pública de escasos recursos, tiene conocimiento de la situación económica de sus estudiantes, motivo por el cual prefirió suministrarles los materiales e instrumentos necesarios para diseñar y desarrollar sus dispositivos eléctricos. En la siguiente viñeta, el profesor explica sus razones para tomar esta decisión:

> Se supone que es desde el Gobierno que se debe brindar la dotación de materiales e instrumentos para equipar el laboratorio de la institución, pero la realidad es que uno

> como docente sabe que, así no haya disponible en el colegio un laboratorio o este no esté dotado, es necesario que los muchachos manejen algunos instrumentos y puedan experimentar ciertas situaciones en el laboratorio para que puedan aprender y desarrollar determinados conocimientos y habilidades científicas. Por eso, en el abordaje del fenómeno de la electricidad con los estudiantes, decidí comprar algunos multímetros y materiales que les permitieran armar circuitos y crear sus dispositivos eléctricos. De este modo, poco a poco he ido equipando mi laboratorio de física. Los multímetros decidí comprarlos porque sé que el manejo de estos instrumentos permite a los estudiantes medir y recoger datos empíricos que pueden contrastar con sus hipótesis sobre la ley de Ohm para comprobarlas, además de corroborar lo que dice la teoría sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos en serie, en paralelo y mixtos. Este tipo de prácticas experimentales son fundamentales desarrollarlas en el aula para andamiar la comprensión del fenómeno de la corriente eléctrica. (Entrevista al profesor, octubre 30 de 2019).

Efectivamente, los estudiantes se organizaron en pequeños grupos de discusión y comenzaron a tomar los materiales de las cajas para armar sus artefactos. Los grupos resolvieron construir diferentes tipos de circuitos en serie y en paralelo, apoyándose en los esquemas dispuestos en el material del estudiante. Durante el armado de sus dispositivos, los jóvenes se mostraron entusiasmados a desarrollar la actividad por completo. Cuando llegó el momento de presentar estas construcciones ante toda la clase, cada grupo inició exponiendo la planeación de su artefacto, detalló los componentes con los que desarrollaron el diseño eléctrico, mencionó el tipo de circuito del mismo, y luego lo pusieron en funcionamiento a fin de demostrar que sí servía y decir cuál era su utilidad. Después de escuchar la exposición del artefacto, los demás grupos hacían conjeturas sobre cómo mejorarlo y qué aplicabilidad podía tener. Para finalizar la presentación de su dispositivo eléctrico, cada grupo utilizó el multímetro a fin de tomar diferentes medidas que corroboraran lo dicho en su exposición. El maestro le dio un puntaje a cada artefacto, y aprovechó este espacio de socialización para reforzar la comprensión de algunos conceptos y fomentar la retroalimentación a través de una estructura de clase interactiva.

Con relación a los aprendizajes logrados por los estudiantes mediante esta actividad, cabe destacar varias potencialidades. Una es que, al ser una actividad contextualizada, fomenta en ellos el compromiso disciplinario productivo, dado que el proceso de diseñar un artefacto implica que primero los estudiantes deben planearlo para después desarrollarlo, lo cual es un ejercicio complejo que exige que sus modelos mentales y sus argumentos se refinen durante el diseño. Otra potencialidad es que posibilita a los jóvenes continuar fortaleciendo las habilidades científicas de nivel bajo como tomar medidas, calibrar instrumentos de medida, realizar montajes experimentales, recoger y organizar datos, y al mismo tiempo, les ayuda a desarrollar habilidades científicas de nivel superior como la resolución de problemas, la creatividad, el diseño de heurísticas, la formulación y verificación de hipótesis. Por supuesto, esta actividad también permitió que los estudiantes adquirieran herramientas conceptuales importantes como: (a) aprender a construir y manipular los circuitos eléctricos en serie y en paralelo, (b) identificar los diferentes tipos de circuitos en su entorno, (c) identificar y establecer aplicaciones de los circuitos eléctricos en el desarrollo tecnológico y (d) relacionar voltaje, corriente y resistencia con los diferentes elementos de un circuito eléctrico complejo y para todo el sistema.

En efecto, este tipo de actividad hace posible que los estudiantes continúen apropiándose de los aspectos materiales de las prácticas científicas, como lo son el desarrollo de habilidades científicas y la adquisición de herramientas conceptuales. De igual manera, esta actividad promueve entre los jóvenes los aspectos sociales de la ciencia, al traer al aula las prácticas culturales propias de la construcción del conocimiento en física, motivándolos a discutir, argumentar y defender sus diseños eléctricos.

Acerca de la correlación entre las intenciones de diseño, las acciones implementadas en clase y los aprendizajes desarrollados por los estudiantes, se concluye que el docente decidió hacer algunas modificaciones a la actividad planteada en el OA, con el propósito de facilitar el logro del conocimiento/habilidad que representa esta CCD, y que podrían ser tenidas en cuenta en el rediseño de este material de enseñanza. La primera modificación consistió en dedicar un tiempo de la clase a explicar conceptos básicos del multímetro y brindar la oportunidad a los estudiantes de aprender a manejar este instrumento. El profesor hizo esto porque identificó la necesidad de que ellos desarrollaran habilidades científicas de

nivel bajo como el manejo de instrumentos de medida, su calibración, la lectura de sus escalas y el montaje de equipos de laboratorio, las cuales son indispensables para apropiar habilidades científicas de nivel superior, y así estar en capacidad de solucionar problemas más complejos. Por tanto, el profesor sugiere que en el refinamiento del OA se incluya previo a esta actividad, el conocimiento y manejo del multímetro, de forma que los jóvenes puedan desarrollar habilidades de nivel bajo que apoyen la apropiación de habilidades superiores como la observación, la hipotetización, la interpretación de resultados, el diseño de experimentos y la resolución de problemas.

La otra modificación que introdujo el maestro, se trató de transformar la mini feria en un concurso llamado Máster Eléctrico, en el que los estudiantes podían tomar materiales de cajas ubicadas en el salón para hacer sus construcciones eléctricas, y al final recibir un puntaje con objetivo de conocer al grupo ganador. Esto generó mayor motivación en los estudiantes para desarrollar la actividad, puesto que tenían a su disposición los materiales suministrados por el docente y el factor de la competencia. Además, esta actividad les permitió aplicar los modelos mentales aprendidos y refinados en las actividades de las CCD anteriores, a través del diseño y desarrollo de artefactos eléctricos.

Así, este tipo de actividad ayuda a aumentar el compromiso disciplinario productivo en los estudiantes. En otras palabras, aquello que los motiva no es obtener una buena calificación para ganar la materia, sino que es participar de un espacio donde pueden experimentar para construir conocimientos y habilidades que les permitan comprender el fenómeno de interés y saber cómo utilizarlo en su cotidianidad. Esto se logra evidenciar en la siguiente viñeta:

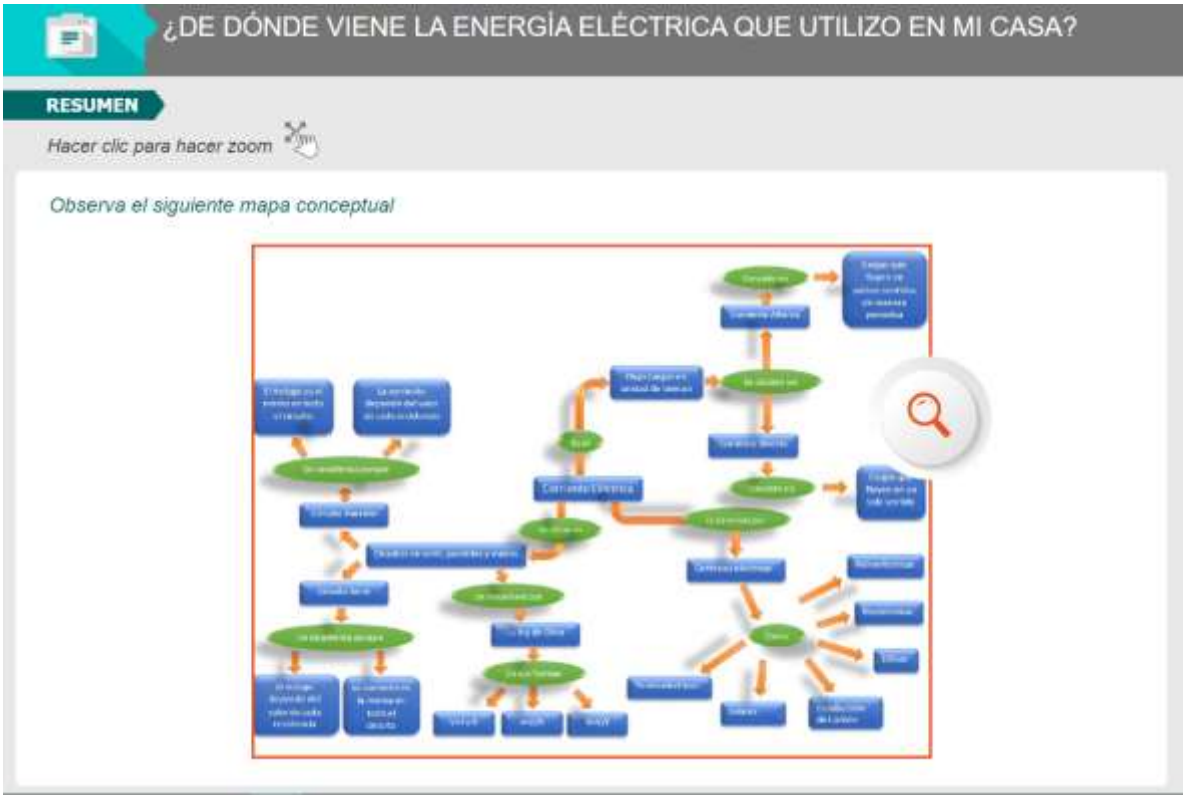
> Me llamó mucho la atención la responsabilidad que tuvieron los estudiantes con el desarrollo de la actividad del Máster Eléctrico, ya que, a pesar de contar con notas suficientes para ganar la materia, igual me pidieron que hiciéramos esta actividad. Eso me indica que querían hacerla porque estaban interesados en aprender sobre el fenómeno eléctrico y comprenderlo, tanto así que asistieron en extra clase, pues ya no tenían la obligación de venir al colegio. Pienso que ese interés y gusto por el tema es porque ellos le encuentran relación con su vida cotidiana, pues en sus casas cuentan con instalaciones eléctricas que ellos mismos han tenido que hacer o reparar dado que

no tienen dinero para contratar un electricista. Por eso les interesa saber cómo hacer estas instalaciones sin peligro de electrocutarse (Entrevista al profesor, octubre 30 de 2019).

Característica Clave de Diseño 7 (CCD7): Resumir y Aplicar los Conocimientos Trabajados Sobre la Energía Eléctrica Durante las Actividades de Aprendizaje

Figura 16

Captura de pantalla de la sección del OA "Resumen"



Nota. Tomada de Ministerio de Educación Nacional (2016) https://bit.ly/3il0yzO

Se determina en las intenciones de diseño que, a fin de recopilar los conceptos fundamentales abordados durante la implementación del material de enseñanza, el docente presentaría a los estudiantes un organizador gráfico tipo mapa conceptual, bajo una organización interactiva de la clase. Dicho mapa se encuentra tanto en el recurso digital del OA como en el material del estudiante, y su concepto central es Corriente Eléctrica, el cual

relaciona los siguientes conceptos: Flujo de cargas, Circuitos en Serie, en Paralelo, Ley de Ohm, Centrales eléctricas, entre otros.

Ahora bien, con el propósito de que los estudiantes apliquen lo que aprendieron durante el desarrollo de las actividades de aprendizaje del OA, el profesor les asignaría una tarea para realizarla de manera individual. Dicha tarea consistiría en resolver dos ejercicios, utilizando los conocimientos apropiados en este material de enseñanza (Ver tabla 5 en sección *Características Claves del Diseño*).

El profesor consideró que la actividad planteada desde el diseño para esta CCD era muy disciplinar, centrada en lo teórico, lo cual no permitía a los estudiantes poner en práctica lo aprendido, aspecto muy necesario para este momento, tomando en cuenta que se trata del cierre del abordaje del fenómeno de la corriente eléctrica. Por lo tanto, determinó que era más apropiado implementar una actividad orientada a trabajar un auténtico problema vinculado directamente a la vida de los estudiantes, dado que esto hace que sea más interesante para ellos participar de dicha actividad. Asimismo, les permite utilizar los modelos mentales que han construido y refinado a lo largo de las anteriores actividades del OA, a fin de dar solución al problema planteado. De este modo, el maestro tiene la posibilidad de evaluar si realmente los estudiantes lograron desarrollar las habilidades científicas esperadas, adquirir las herramientas conceptuales propias de este fenómeno y apropiar las prácticas culturales científicas, fortaleciendo así su compromiso disciplinario productivo.

En consecuencia, el docente reemplazó la actividad del mapa conceptual por el abordaje de un auténtico problema que consiste en el arreglo de extensiones navideñas reales, retomando el contexto problemático teórico planteado al inicio del OA. En ese momento inicial, dicho contexto solo se quedó en pedir a los estudiantes hacer conjeturas sobre las causas del daño de un foco de una extensión de luces de navidad. No obstante, para el momento del cierre, el profesor lo retomó a fin de convertirlo en un contexto problemático experimental, el cual brindó a los estudiantes la posibilidad de reparar luces navideñas poniendo en juego los conocimientos, las habilidades y las prácticas científicas apropiadas durante el desarrollo de las actividades del material de enseñanza. Cabe mencionar que, esta práctica de arreglar las extensiones navideñas es una costumbre dentro del contexto

socioeconómico de los estudiantes con los que trabaja el maestro, por lo que esta actividad les resulta familiar e interesante.

El docente organizó a los estudiantes en pequeños grupos de discusión y les pidió que eligieran una extensión navideña dañada de las que habían traído los integrantes del grupo para arreglarla, las cuales les había pedido llevar con anticipación. Una vez todos los grupos tuvieron en sus manos la extensión a reparar, el profesor les indicó que podían tomar los repuestos y materiales necesarios de la caja suministrada por él. Los jóvenes se apresuraron a tomar los elementos que consideraron importantes para hacer dicho arreglo, y comenzaron a trabajar. Durante la reparación, los estudiantes discutieron sus puntos de vista, haciendo referencia a los modelos teóricos aprendidos sobre el funcionamiento de los circuitos en serie, y se dirigieron al maestro para hacerle preguntas sobre dudas que les surgían o cuando no lograban ponerse de acuerdo en el grupo. El docente, en lugar de responder sus preguntas, les formulaba nuevos interrogantes con el objetivo de llevarlos a reflexionar y discutir entre los integrantes del grupo, hasta llegar a resolver entre ellos las dudas y diferencias.

Finalmente, todos los grupos lograron dar solución al problema planteado por el profesor, es decir, arreglaron la extensión de luces navideñas elegida por ellos, y hubo algunos que decidieron arreglar varias extensiones. El monitoreo que realizó el maestro a los grupos durante esta actividad, le permitió establecer que, efectivamente, los estudiantes se habían apropiado de las herramientas conceptuales, habilidades y prácticas científicas abordadas a lo largo del OA, y, por tanto, habían desarrollado un fuerte compromiso disciplinario productivo con relación a la comprensión del fenómeno de la corriente eléctrica.

Referente a la afinidad entre lo diseñado, lo implementado en clase y lo aprendido por los estudiantes, es posible concluir que el docente tomó la decisión de cambiar la actividad conjeturada para esta CCD, pues consideró que al estar centrada en aspectos teóricos, no se adecuaba a lo que necesitaban los estudiantes a fin de aplicar lo aprendido, y continuar extendiendo su comprensión del fenómeno eléctrico. Por ello, en lugar de trabajar el mapa conceptual planteado para esta CCD final, decidió llevar a cabo una actividad experimental que los enfrentó a un auténtico problema asociado a su vida cotidiana, cuya

solución demanda el uso de los modelos mentales que han construido y refinado durante las actividades del OA.

Además, se evidencia el alto valor que el profesor le otorga a la práctica experimental dentro de la construcción de conocimiento científico escolar. El maestro, dentro de su sistema de creencias, conocimientos y valores, tiene en alta estima a la actividad experimental porque sabe que les permite a los estudiantes: a) comenzar a construir modelos teóricos de la física a través del debate, la negociación de significados y formas de significar, y b) solucionar problemas en grupo mediante la discusión y socialización. Además, este tipo de actividades convierten las clases en espacios interactivos-dialógicos, donde los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar la autonomía, la creatividad y la imaginación para solucionar problemas prácticos.

En consecuencia, el docente considera que sin experimentación no hay ciencia; por lo cual, las actividades experimentales son un aspecto constitutivo del currículo de la física. Todo esto genera que el profesor tenga la motivación suficiente para proveer a los estudiantes los materiales necesarios a fin de que puedan experimentar, así implique gastar de su dinero, pues es consciente de la alta probabilidad de que ellos no los compren por falta de recursos económicos.

Por otro lado, es importante resaltar que el maestro empleó de manera recurrente la estrategia de enseñanza POE, un elemento pedagógico no prescrito en el diseño del material de enseñanza. Esto indica que el conocimiento pedagógico del contenido de la física que posee el profesor le permitió ampliar el abanico de estrategias para la enseñanza de esta disciplina, con el objetivo de gestionar el aula y andamiar la comprensión del fenómeno por parte de los estudiantes. Si bien esto es una fortaleza para las acciones llevadas a cabo por el docente, representa una debilidad para el diseño del OA, pues los elementos pedagógicos que lo sustentan no son amplios o se abordan superficialmente.

Con relación a los aprendizajes logrados por los estudiantes mediante esta actividad, cabe destacar varios aspectos. El primero es que, al ser una actividad situada, promueve el compromiso disciplinario productivo en ellos, puesto que dar solución a un problema típico de su contexto los involucra profundamente, motivándolos a indagar modelos de autoridad y

refinar sus modelos mentales para lograrlo. Otro aspecto es que permite a los estudiantes seguir fortaleciendo tanto habilidades científicas de nivel bajo (realizar montajes experimentales) como habilidades científicas de nivel superior (resolución de problemas, creatividad, formulación y verificación de hipótesis). También, esta actividad ayudó a que los jóvenes adquirieran herramientas conceptuales como: (a) identificar las funciones de los componentes de un circuito eléctrico, (b) reconocer y manipular circuitos eléctricos en serie del entorno, (c) identificar aplicaciones de los circuitos eléctricos en el entorno. Asimismo, con esta actividad los estudiantes tuvieron la posibilidad de continuar apropiando las prácticas culturales de la construcción del conocimiento en física, motivándolos a discutir acerca del funcionamiento de los circuitos eléctricos en serie.

Conclusiones

Una vez culminado el proceso de determinar la incidencia de la implementación de la secuencia de actividades que configura el Objeto de Aprendizaje *¿De dónde viene la energía eléctrica que utilizo en mi casa?* en la comprensión conceptual de los estudiantes, es importante exponer las conclusiones a las que se han llegado a partir de esta investigación. Con esta finalidad, a continuación se organizan las principales conclusiones, considerando especialmente el problema de investigación y sus objetivos.

Con relación a la implementación y evaluación de la secuencia de actividades de enseñanza-aprendizaje que constituyen el OA en cuestión, vale decir que la utilización del modelo ampliado de evaluación de la efectividad de las secuencias de enseñanza planteado por Alzaghibi (2010), de naturaleza tripartita, permitió establecer las relaciones entre las intenciones de diseño (representadas por las CCD), las acciones del profesor y los estudiantes durante la implementación del OA, y los aprendizajes logrados. Con respecto a la correspondencia entre lo que se pretendía implementar y lo que realmente se implementó, se concluye lo siguiente:

- El maestro llevó a cabo en el aula todas las actividades planteadas en el diseño del material de enseñanza, a excepción de la planteada para la última CCD. Esta actividad decidió reemplazarla debido a que, según su experiencia docente y conocimientos pedagógicos, en el momento final de esta secuencia de enseñanza,

es más relevante brindar a los estudiantes la posibilidad de aplicar lo aprendido y continuar extendiendo su comprensión del fenómeno eléctrico. Y para esto el profesor sabe que, en lugar de hacer un mapa conceptual, es más apropiado utilizar actividades experimentales que enfrenten a los estudiantes a auténticos problemas de su cotidianidad, cuya solución les demande el uso de los modelos mentales que han construido y refinado a través de las actividades del OA.

- Si bien, el docente implementó casi que la totalidad de las actividades diseñadas para el OA, es importante subrayar que enriqueció su desarrollo mediante la introducción de diversas modificaciones que respondieron a la puesta en escena de estrategias pedagógicas y herramientas de la pedagogía general. Esto lo hizo con el fin de fortalecer la gestión del aula y andamiar la comprensión de los conocimientos y habilidades que configuran este material de enseñanza sobre la corriente eléctrica.
- Entre los elementos pedagógicos más importantes que introdujo el docente durante la implementación de las actividades de la secuencia de enseñanza del OA, están los siguientes: identificar las concepciones alternativas, justificar ante los estudiantes la importancia de aprender sobre la corriente eléctrica, usar la estrategia de enseñanza POE para efectuar las prácticas experimentales, dividir la visualización de una animación en episodios críticos y asociar preguntas abiertas a cada episodio, desarrollar las actividades experimentales desde una perspectiva sociocultural, emplear los enfoques comunicativos en el aula de ciencias y promover el compromiso disciplinario productivo en los estudiantes. Se considera que tomar en cuenta estos aspectos dentro del proceso de rediseño de este material de enseñanza, sería muy valioso para mejorarlo y hacerlo más efectivo.

Ahora bien, en cuanto a la correspondencia entre las metas de aprendizaje planteadas en el diseño del OA y lo que en realidad los estudiantes lograron aprender a través de la implementación de la secuencia de actividades, se concluye que:

- Los estudiantes efectivamente desarrollaron en gran medida los conocimientos y habilidades sobre la corriente eléctrica definidas en las intenciones de diseño. Una de las evidencias empíricas de este logro, es el índice de ganancia obtenido por

los estudiantes a nivel de grupo y en cada pregunta del test. Otras evidencias empíricas son las diversas interacciones simbólicas y acciones que los estudiantes desarrollaron durante su participación en las actividades de aprendizaje del material de enseñanza.

- La forma de implementar las actividades de aprendizaje del OA brindó a los estudiantes la oportunidad de adquirir no solo herramientas conceptuales y habilidades científicas para el estudio del fenómeno de la corriente eléctrica, sino también de apropiar prácticas culturales de la construcción del conocimiento científico. Es decir, lograron aprendizajes desde los ámbitos disciplinar, cognitivo y social.
- Haciendo énfasis en las prácticas culturales que los estudiantes apropiaron mediante la realización de las actividades del material de enseñanza, cabe recalcar las siguientes: la argumentación apoyada en la evidencia, el desarrollo de los roles de constructor y de crítico de afirmaciones científicas, la representación de datos y el proceso de modelación del fenómeno eléctrico (Ford y Forman, 2006). Estas prácticas posibilitaron a los jóvenes construir y refinar sus modelos mentales durante la discusión en las actividades de aprendizaje, los cuales les permitieron enlazar ideas abstractas a aspectos observados y analizados del fenómeno para comprenderlo.
- El desarrollo del compromiso disciplinario productivo en los estudiantes fue un factor fundamental para que alcanzaran los diferentes aprendizajes mencionados. Por esta razón, el docente procuró durante la implementación fortalecer este compromiso en los jóvenes, realizando con ellos actividades contextualizadas que los involucraran profundamente, motivándolos así a indagar modelos de autoridad y refinar sus modelos mentales para dar solución a auténticos problemas.

Por otro lado, referente a documentar las fortalezas y debilidades que provienen de la implementación del material de enseñanza en estudio, se puede afirmar que es una tarea muy importante que toma como base el conocimiento derivado de las fases de implementación y evaluación del OA. Su importancia radica en que permite validar el conjunto de teorías de dominio específico que fundamentaron la fase de diseño, con el propósito de posibilitar el uso de esta contrastación por otros diseñadores/profesores para orientar la fase de rediseño

del material de enseñanza, y así refinarlo. Sobre las fortalezas del OA, se reconocen las siguientes:

- Uso frecuente de las actividades experimentales para representar el fenómeno de la corriente eléctrica, partiendo de situaciones cotidianas para los estudiantes y empleando materiales fáciles de conseguir y manipular por ellos.
- Facilita la transferencia de conocimientos en los estudiantes al tener organizadas las actividades en fases de exploración, desarrollo y aplicación, las cuales permiten que los estudiantes se muevan progresivamente por un corredor conceptual, refinando e implementando los conocimientos que han construido.
- Utilización de diferentes textos y contextos para representar conceptos y procesos centrales del comportamiento de la corriente eléctrica. Es decir, aprovecha la intertextualidad y la intercontextualidad para brindar a los estudiantes la posibilidad de establecer y comprender los patrones que conectan prácticas experimentales distintas (Ford y Forman, 2006).

Acerca de las debilidades del material de enseñanza, cabe mencionar lo siguiente:

- En las intenciones de diseño no se toman en cuenta de manera explícita los siguientes elementos de la enseñanza: las dificultades/concepciones alternativas de aprendizaje, las potencialidades que ofrecen los recursos de carácter analógico y digital para superar estas dificultades, y la justificación de la enseñanza de los contenidos que configuran el material educativo.
- Omite la lectura e interpretación de gráficos y tablas, lo cual es un recurso semiótico muy recurrente en la construcción del conocimiento científico. Esto indica que le falta hacer uso de un lenguaje más multimodal. Por ejemplo, en el OA no se observan gráficos sobre la relación entre resistencia, voltaje y corriente, que es un aspecto fundamental para la comprensión del fenómeno eléctrico.
- No aborda la matematización del fenómeno, su formalización en modelos matemáticos, y solo se enfoca en presentar situaciones fenomenológicas a fin de comprender cómo se da el fenómeno. En el mismo sentido, no cuenta con

ejercicios numéricos, ni desarrolla la relación matemática entre los conceptos de voltaje, corriente y resistencia, planteada por la ley de Ohm.

- Desarrolla de manera superficial el fenómeno del efecto Joule.
- La extensión de este OA, implementado desde una perspectiva sociocultural, con una orientación de enseñanza centrada en el estudiante, demanda un tiempo de aplicación de 2 a 3 meses. Esto se debe a que, lo anterior, implica dar la autoridad al estudiante para construir y criticar sus afirmaciones de conocimiento, las cuales construye y somete a evaluación por sus pares académicos y el docente.

Con base en el reconocimiento de estas fortalezas y debilidades, se infiere que la perspectiva pedagógica que subyace a las teorías de dominio específico del material de enseñanza, no es muy lejana a los razonamientos y las acciones pedagógicas utilizadas en el aula por el profesor. Para ambos (OA y Docente) resulta importante conectar los aprendizajes alcanzados en el aula de ciencia con la cotidianidad e intereses de los estudiantes. Asimismo, ambos le otorgan un alto valor al uso de las actividades experimentales para acercar a los estudiantes al fenómeno físico con la intención de que comiencen a construir sus modelos teóricos, a partir de la negociación de significados y formas de significar con sus pares y el maestro.

Además, es importante enfatizar que las debilidades identificadas en el OA fueron compensadas por las decisiones curriculares e instruccionales que tomó el profesor durante su implementación en el aula, basado en sus conocimientos pedagógicos y experiencia docente. Estas decisiones fueron fundamentales para que las actividades del material educativo efectivamente mediaran la apropiación de los conocimientos y habilidades relacionados con el fenómeno de la corriente eléctrica. Vale decir que las estrategias pedagógicas adoptadas por el maestro aumentaron el nivel de compromiso en los estudiantes con su proceso de aprendizaje, al enriquecer el componente contextual de las actividades, haciéndolas más interesantes y facilitando el desarrollo de la doble función de constructor y crítico de afirmaciones sobre la corriente eléctrica.

Por lo que se refiere a determinar el índice de ganancia de aprendizaje alcanzado por los estudiantes durante la implementación del OA, cabe señalar que el sentido de utilizar este

índice en el estudio fue ayudar a dar veracidad a los datos de naturaleza cualitativa. Los resultados arrojados por la determinación del índice de ganancia fueron triangulados con el conjunto de teorías naturalísticas que se generaron a partir del análisis de la evidencia suministrada por las fuentes documentales cualitativas. Esta triangulación reveló que los estudiantes lograron construir y apropiar conocimientos, habilidades y prácticas culturales científicas relacionadas con el fenómeno de la corriente eléctrica, mediante el desarrollo de las actividades del material de enseñanza, bajo un enfoque sociocultural. De esta forma, el índice de ganancia brindó un mayor nivel de confiabilidad a las teorías contextualizadas producto de esta investigación, las cuales, aunque no explican el caso, permiten comprender cómo el profesor implementó el OA y cómo esa implementación ayudó a mediar la comprensión del fenómeno eléctrico.

Frente a las dificultades y limitaciones de este estudio, se logró identificar que el hecho de que el docente no haya participado en la fase de diseño del material de enseñanza representa una restricción. Desarrollar la tarea de diseño le permite al profesor fortalecer sus conocimientos pedagógicos y curriculares, y poner en juego los marcos teóricos y metodológicos en los que sustenta su práctica de enseñanza de contenidos específicos como la corriente eléctrica. Si bien el maestro puede lograr esto al participar en la fase de implementación, es durante el diseño que se formulan las metas de aprendizaje, se establecen las estrategias de enseñanza, y se diseñan las actividades de aprendizaje. Estos aspectos, al ser implementado el material por un docente que no hizo parte de su fase de diseño, corren el riesgo de sufrir una *mutación letal* (Brown y Campione, 1996), es decir, que sean debilitados o no sean aplicados al momento de implementar el OA en el aula de clase de ciencias.

Otra limitación de esta investigación tiene que ver con el alcance de las teorías naturalísticas que genera. Es decir, la validación de las teorías de dominio específico que sustentan el diseño del OA, con el análisis de la evidencia empírica contenida en las fuentes que documentaron la implementación del mismo, produce unas teorías que no son generalizables, solo sirven para comprender este caso particular; o sea, son teorías situadas. No obstante, pueden aprovecharse a fin de replicar la implementación del OA en otros contextos, y posteriormente comparar los resultados.

Precisamente, una limitación a mencionar es que este estudio fue llevado a cabo con un solo profesor, cuando lo ideal es que el OA sea implementado por varios maestros en diferentes contextos culturales y económicos, para luego hacer una comparación entre las teorías naturalísticas surgidas en las distintas investigaciones. Sin embargo, frente a esto se tomaron en cuenta aspectos como la alta demanda de tiempo, recursos y cognición que exige la implementación y evaluación del OA, y el grado académico al que pertenece esta investigación, puesto que ampliar el número de docentes desbordaría las metas de la maestría en educación. Bajo estas consideraciones, se desarrolló este estudio con un docente. Y la última limitación identificada es que este tipo de investigaciones requiere que las instituciones estén equipadas con los recursos analógicos y digitales suficientes para que los docentes puedan implementar toda la secuencia de actividades planteada en los ambientes de aprendizaje.

Para finalizar, vale la pena hacer alusión a los estudios futuros. Se espera que estos se enfoquen en realizar la implementación y evaluación de este OA en otros contextos educativos por diferentes profesores, para generar más teorías naturalísticas que permitan validar las teorías de dominio específico que subyacen al diseño de este material de enseñanza. Pese a que esta investigación aporta teorías naturalísticas valiosas para el proceso de rediseño de la secuencia de actividades, es necesario contar con más teorías provenientes de distintos contextos de enseñanza, a fin de determinar con certeza las fortalezas y las debilidades de esta secuencia que configura el OA, y así lograr su real refinamiento.

Referencias

ADL (2009). *SCORM® 2004 4th Edition Overview Version 1.0*. Advanced Distributed Learning Initiative. https://adlnet.gov/projects/scorm-2004-4th-edition/

Agell, L., Soria, V. y Carrió, M. (2013). ¿Qué nos pueden aportar los juegos de rol para debatir sobre la experimentación animal? Experiencia realizada en el Parc de Recerca Biomédica de Barcelona con estudiantes de secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, (Número Extra), 27-32. https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/305971

Agudelo, E. (2015). *Diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje basada en investigación sobre el núcleo de la discontinuidad de la materia* [Tesis de maestría, Universidad del Valle]. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/9401

Alzaghibi, M. A. (2010). *Instructional Design: Development, implementation and evaluation of a teaching sequence about plant nutrition in Saudi* [Thesis doctoral, University of Leeds]. http://etheses.whiterose.ac.uk/1084/

Arboledas, D. (2014). *Electricidad básica*. RA-MA, S.A. https://www-digitaliapublishing-com.bd.univalle.edu.co/visor/109895

Ardley, N. y Matthews, R. (1986). *Física, materia, átomos, energías.* Círculo de Lectores, S.A.

Astudillo, G. (2011). *Análisis del estado del arte de los objetos de aprendizaje. Revisión de su definición y posibilidades* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Plata]. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/4212/Documento_completo.pdf?sequence=1

Azcárate, B. y Mingorance, A. (2002). *Energías e impacto ambiental*. Equipo Sirius, S.A. https://www-digitaliapublishing-com.bd.univalle.edu.co/visor/13535

Becerra Rodríguez, D. (2014). Estrategia de aprendizaje basado en problemas para aprender circuitos eléctricos. *Revista Innovación Educativa*, *14*(64), 73-100.

https://www.researchgate.net/publication/301219774_Estrategia_de_aprendizaje_basado_en_problemas_para_aprender_circuitos_electricos

Bielaczyc, K y Collins, A. (1999). Learning Communities in Classrooms: Advancing Knowledge for a Lifetime. *SAGE Journals, 83*(604), 4-10. https://doi.org/10.1177/019263659908360402

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.

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

Boylestad, R. (2017). *Introducción al análisis de circuitos*. Pearson Educación.

Brown, A. L. (1990). Domain-specific principles affect learning and transfer in children. *Cognitive science, 14*(1), 107-133.

Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences, 2*(2), 141-178.

Brown, A. L., y Campione, J. C. (1996). Psychological theory and the design of innovative learning environments: On procedures, principles, and systems. En R. Glaser (Ed.), *Innovations in learning: New environments for education* (pp. 289-325). Lawrence Erlbaum Associates.

Candela, B. F. (2016). *La ciencia del diseño educativo*. 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

Candela, B. F. (2020). Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento: Formación y desarrollo profesional docente. Universidad del Valle.

Candela, B. F. y Cataño, R. (2019). Diseño de una progresión de aprendizaje hipotética para la enseñanza de la estequiometría por comprensión conceptual e integrada. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (45), 107-120. https://doi.org/10.17227/ted.num45-9837

Candela, B. F. y Reyes, P. A. (2018). Implementación y evaluación de un objeto de aprendizaje: el caso de las relaciones entre los factores abióticos y los seres vivos. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su enseñanza, 11*(20), 97–114. https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/8597

Cataño, R. (2016). Diseño de una progresión de aprendizaje hipotética con coherencia curricular para la enseñanza de la estequiometria por comprensión conceptual e integrada [Tesis de maestría, Universidad del Valle]. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/10240/7414-0525544.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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.

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. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-77750-9_2

Collins, A., Joseph, D. y Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *The Journal of the Learning Sciences, 13*(1), 15-42.

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.

De Roux, A. (2009). Prólogo. En C. T. Valencia y A. T. Jiménez (Eds.), *Objetos de aprendizaje. Prácticas y perspectivas educativas* (pp.7-8). Colección Univirtual. file:///C:/Users/Asus/Desktop/Objetos_de_Aprendizaje_2.0_una_va_alternativa_para_la_re-produccin_colaborativa_de_contenido_educati.pdf

Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational Inquiry. *Educational Researcher, 32*(1), 5-8.

Díaz, I. y Castro, F. (2018). Objetos virtuales de aprendizaje como estrategia didáctica significativa para mejorar el desempeño académico en el área de ciencias naturales de los estudiantes de grado 8º. *Seres y Saberes,* (5), 13-23.

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. http://dx.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. http://www.jstor.org/stable/4129768

Fowler, R. (1994). *Electricidad principios y aplicaciones*. Reverté, S.A. https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=LdzhG3XZd2IC&oi=fnd&pg=PA89&dq=electricidad+b%C3%A1sica&ots=pWENmnko26&sig=i954D02feVpVAQp4LLoo0s2KX68&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Galagovsky, L. R., Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias, 19*(2), 231-42. https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21735

Garay Talero, A. y Reina Gamboa, J. (2016). *Teorías del diseño instruccional y los objetos de aprendizaje: el caso del equilibrio químico dinámico* [Tesis de pregrado,

Universidad del Valle]. http://ciersur.univalle.edu.co/images/publicaciones/trab_grado/TEOR%C3%8DAS%20DEL%20DISE%C3%91O%20INSTRUCCIONAL%20Y%20LOS%20OBJETOS%20DE%20APRENDIZAJE.pdf

Garay Talero, A., Candela Rodríguez, B. F. y Viáfara Ortiz, R. (2015). Teorías del diseño instruccional y los objetos de aprendizaje: el caso del equilibrio químico dinámico. Universidad del Valle.

García Aretio, L. (2005). Objetos de aprendizaje. Características y repositorios. En L. García Aretio (Ed.), *¿Por qué va ganando la educación a distancia?* (pp.160-163). Universidad Nacional de Educación a Distancia. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:327/editabril2005.pdf

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

Grajales, L. y Salazar, O. (2019). *Impactos socio ambientales generados por la construcción de centrales hidroeléctricas en Colombia* [Tesis de Especialización, Universidad Santiago de Cali]. https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4612/IMPACTOS%20SOCIO%20AMBIENTALES.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Grande de Prado, M. y Abella, V. (2010). Los juegos de rol en el aula. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información, 11*(3), 56-84. https://www.redalyc.org/pdf/2010/201021093004.pdf

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.

Hernández, J. y Colmenar, A. (2014). *Electricidad. Fundamentos y problemas de electrostática, corriente continua, electromagnetismo y corriente alterna.* RA-MA, S.A. https://www-digitaliapublishing-com.bd.univalle.edu.co/visor/109953

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.

Higgs, P. E., Meredith, S. y Hand, T. (2003). *Technology for sharing: Researching learning objects and digital rights management*. Flexible Learning Leader. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.90.6536&rep=rep1&type=pdf

Hodgins, W. (2006). Out of the past and into the future: Standards for technology enhanced learning. En U.-D. Ehlers y J. Pawlowski (Eds.), *Handbook on Quality and Standardisation in E-Learning* (pp. 309-327). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-32788-6_21

Johnstone, A. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review, 64*, 377-379.

Juárez González, P., Hierrezuelo Osorio, J., Cebrián Robles, D. y Franco Mariscal, A. (2019). El juego de rol como estrategia para enseñar a argumentar en ciencias: La visión de maestros en formación inicial. *Aula de innovación educativa,* (287), 15-20. https://consejoescolar.educacion.navarra.es/web1/wp-content/uploads/2019/10/2198.pdf

Kawulich, B. (2006). La observación participante como método de recolección de datos. *Forum: Qualitative Social Research, 6*(2). https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/466/999

Kesidou, S. y Roseman, J. E. (2002). How Well Do Middle School Science Programs Measure Up? Findings from Project 2061's Curriculum Review. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(6), 522–549. https://doi.org/10.1002/tea.10035

Klopfer, L. E. (1983). Research and the crisis in science education. *Science Education, 67*(3), 283-84.

Lagemann, E. C. (2002). An elusive science: The troubling history of education research. University of Chicago Press.

Leach, J. y Scott, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist

Perspective on Learning. *Studies in Science Education, 38*(1), 115-142. https://doi.org/10.1080/03057260208560189

Leach, J., Ametller, J. y Scott, P. (2009). The relationship of theory and practice in designing, implementing and evaluating teaching sequences: learning from examples that don't work. *Education & Didactique, 3*(2), 139-161. https://doi.org/10.4000/educationdidactique.497

Leal Fonseca, D. E. (2008). Iniciativa colombiana de objetos de aprendizaje: situación actual y potencial para el futuro. *Apertura, 8*(8), 76-85. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68811215006

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

McGreal, R. (2008). A Typology of Learning Object Repositories. En H.H. Adelsberger, Kinshuk, J.M. Pawlowski y D.G. Sampson (Eds.), *Handbook on Information Technologies for Education and Training* (2 ed., pp. 5-28). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74155-8_1

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

Mortimer, E., y Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. McGraw-Hill Education.

Parrish, P. E. (2004). The trouble with learning objects. *Educational Technology Research and Development,* (52), 49-67. https://doi.org/10.1007/BF02504772

Periago, M. C. y Bohigas, X. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, 7*(2). http://redie.uabc.mx/vol7no2/contenido-periago.html

Perkins D. (1995). La escuela inteligente: del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente. Gedisa.

Perkins, D. y Unger, C. (1999). Teaching and Learning for Understanding. En C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (pp. 91-115). Lawrence Erlbaum Associates.

Polsani, P. R. (2003). Use and Abuse of Reusable Learning Objects. *Journal of Digital Information, 3*(4). https://journals.tdl.org/jodi/index.php/jodi/article/view/jodi-105

Purcell, E. (1988). *Electricidad y magnetismo*. Reverté, S.A. https://books.google.com.co/books?id=zAHCeKH4RYUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Quintero, M.A. (2009). Diseño e implementación de objetos de aprendizaje reutilizables basados en estándares de especificación como estrategia de enseñanza virtual. [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes]. http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/33284/tesiscompleta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Raviolo, A. (9-11 de junio, 2010). *Simulaciones en la enseñanza de la química*. Conferencia VI Jornadas Internacionales y IX Jornadas Nacionales de Enseñanza Universitaria de la Química, Santa Fe. http://www.cvrecursosdidacticos.com/web/repository/1369940071_ConferenciaSimulacionesRaviolo.pdf

Reigeluth, C. M. (1999). What is instructional design theory and how is it changing? En C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (pp. 5-29). Lawrence Erlbaum Associates.

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.

Reigeluth, C. M. y Nelson, L. M. (1997). A new paradigm of ISD? En R. C. Branch y B. B. Minor (Eds.), *Educational media and technology yearbook* (Vol. 22, pp. 24-35). Libraries Unlimited.

Romero, I., Gómez, P., y Pinzón, A. (2018). Compartir metas de aprendizaje como estrategia de evaluación formativa. Un caso con profesores de matemáticas. *Perfiles educativos, 40*(162), 117-137. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982018000400117&lng=es&tlng=es.

Roschelle, J. (2000). Choosing and using video equipment for data collection. En. A. Kelley y R. Lesh (Eds.), *Handbook of research design in Mathematics and Science education* (pp.709-729). Lawrence Erlbaum Associates.

Roseman, J.E., Linn, M. y Koppal, M. (2008). Characterizing Curriculum Coherence. En Y. Kali, M. C. Linn y J. E. Roseman (Eds.), *Designing coherent science education: Implications for curriculum, instruction, and policy* (pp. 13–36). Teachers College Press.

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, 0*(17), 415-422. http://revista.fhycs.unju.edu.ar/revistacuadernos/index.php/cuadernos/article/view/713

Schmidt, W., Wang, C. y Mcknight, C. (2005). Curriculum coherence: an examination of US mathematics and science content standards from an international perspective. *Journal of Curriculum Studies, 37*(5), 525–559.

Schmuck, R. (1997). Practical action research for change. Corwin.

Shavelson, R. & Towne, L. (2002). *Scientific research in education*. National Academy Press.

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.

Sicilia, M. A. (2005). Reusabilidad y reutilización de objetos didácticos: mitos, realidades y posibilidades. *Revista de Educación a Distancia*, (2). https://www.um.es/ead/red/M2/sicilia46.pdf

Soto, J. (25 de junio de 2020). *¿Por qué la termoeléctrica no es energía limpia*? Greenpeace. https://www.greenpeace.org/mexico/blog/8635/por-que-la-termoelectrica-no-es-energia-limpia/

Stern, L. y Roseman, J. E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061s curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching, 41*(6), 538–568. https://doi.org/10.1002/tea.20019

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://www.researchgate.net/publication/248974917_Images_of_electricity_How_do_novices_and_experts_model_electric_current

Taber, K. (2007). Classroom-based Research and Evidence-based Practice. Sage Publications.

Treviño, M. E. (2011). Objetos de aprendizaje: Guía metodológica para el diseño y evaluación de objetos de aprendizaje basados en principios de individualización y personalización. Comunicación Social Ediciones y Publicaciones.

Wiley, D. (2000). *Learning object design and sequencing theory* [Thesis doctoral, Brigham Young University]. https://opencontent.org/docs/dissertation.pdf

Yin, R. (2003). *Case study research: design and methods* (3ª ed., Vol. 5). Sage Publications.

Zapata Ros, M. (2005). Secuenciación de contenidos y objetos de aprendizaje. *Revista de Educación a Distancia (RED),* (2). https://revistas.um.es/red/article/view/25221/24521

Zapata, M. (2009). Algunos aspectos sobre la evolución de los Objetos Virtuales de Aprendizaje. Corporación Universitaria Minuto de Dios.