

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en la  
Enseñanza de la Física

**Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en  
profesores de Física de Secundaria en ejercicio**

Marco Vinicio López Gamboa

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica, setiembre de 2021

### **Tribunal Examinador**

Esta investigación fue aprobada por el Tribunal Examinador de la Escuela de Formación Docente de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio, como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en la Enseñanza de la Física.

Dra. Marianela Navarro Camacho  
Presidenta del Tribunal

Dr. Diego Armando Retana Alvarado  
Director de la Tesis

Dr. German Vidaurre Fallas  
Lector interno 1

Dr. Fabián Vázquez Sancho  
Lector interno 2

Dr. Óscar Andrey Herrera Sancho  
Lector externo

### **Declaración Jurada**

Yo Marco Vinicio López Gamboa, estudiante de la Escuela de Formación Docente declaro bajo de fe de juramento que soy el autor intelectual del Trabajo Final de Graduación titulado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio”.

Firmado en San José, durante el mes de setiembre de 2021.

Marco Vinicio López Gamboa

Carné: A32881

Cédula: 112410176

## Dedicatoria

*A mi madre Sonia Gamboa Chinchilla, por ser mi ejemplo de vida, sin duda alguna gracias a muchos de sus esfuerzos y sacrificios, estoy culminando este logro académico.*

*A Hugo Eduardo Fernández Cordero (1955 - 2021), quién fuera mi profesor de Física en el colegio y quién me motivo e introdujo en el mundo de la Física y de la enseñanza de las Ciencias Naturales.*

*A Rogelio Castro Araya mi profesor de Química en el colegio, que además enseñarme las maravillas de esta asignatura, también fomento mi gusto por la enseñanza.*

## Agradecimientos

Este logro cumplido, conllevó mucho sacrificio y adversidades, que pusieron en mi camino, muchas pruebas y retos. Afortunadamente fueron superados y se concretaron en esta investigación. Tuve el apoyo, guía, consejo y motivación de muchas personas, a las cuales les estoy muy agradecido.

A mi director el Dr. Diego Armando Retana Alvarado, por ofrecerse a ser mi guía en este proceso académico tan importante, sus recomendaciones y correcciones fueron esenciales.

A los profesores lectores, por brindar su tiempo para la valoración de este trabajo.

A mis amigos, la Licda. Carolina Salas Garro, quién además de motivarme, me ayudó con recomendaciones y correcciones, al M.Sc. Esteban Corrales Quesada, a la Mtr. Laura del Carmen Madrigal Rojas y al Dr. Edwin Retana Montenegro que siempre tuvieron alguna palabra de aliento y motivación para mí.

A la Dra. María Marta Camacho Álvarez, quién años atrás me motivó a terminar este proceso académico, su interés y apoyo son muy valorados hasta el día de hoy.

A los profesores, Lic. Gustavo De Lemos Morales, Dr. Francisco Frutos Alfaro, Dr. Herberth Morales Ríos, Dr. Bartolomé Vázquez Bernal, Dr. Antonio Alejandro Lorca Marín, Dra. Linda Silva Arias, Dr. Elías Francisco Amórtegui Cedeño y Dr. Carlos Becerra Labra; por ser validadores del instrumento de primer orden, sus recomendaciones fueron de suma importancia para el desarrollo de esta investigación.

A los dos profesores de Física de Secundaria, que amablemente compartieron su tiempo y experiencias, vitales para la investigación.

## Resumen

Este estudio de casos se sitúa en la línea de investigación sobre el conocimiento profesional del profesorado de Ciencias Naturales. El propósito se centrará en el análisis del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm, a partir de la reflexión declarativa de dos profesores de Física de Secundaria. Siguiendo la línea de una investigación de carácter cualitativo, a partir de un estudio caso, bajo un paradigma de la complejidad evolutiva. Asimismo, se analizarán las declaraciones de los profesores, que serán obtenidas por medio de la aplicación de una entrevista semiestructurada, como instrumento de primer de orden; en función de las Bases del Conocimiento Profesional del Profesional y modelo de Conocimiento Didáctico del Contenido de Gess-Newsome (2015), en coherencia con las dimensiones técnica, práctica y crítica de la Hipótesis de la Complejidad (Vázquez-Bernal et al., 2006), marcando ambos profesores un predominio hacia la dimensión práctica, tendiendo hacia a la crítica.

Plasmando además el Conocimiento Didáctico del Contenido en sus diferentes contextos de clase en torno a la enseñanza de la Ley de Ohm. Así como, los abordajes que hacen respecto a los obstáculos inclusivos del Desarrollo Profesional Docente, donde consideran la implementación de nuevas estrategias didácticas, al lado de promover más la participación de los estudiantes, entre otros aspectos.

Finalmente, del análisis del Conocimiento Didáctico del Contenido, en concordancia con las dimensiones de la Hipótesis de la Complejidad y el abordaje que los profesores realizan respecto a los obstáculos inclusivos, se construye un sistema de categorías emergente, que en futuras investigaciones puede ser validado y utilizado, para ser una herramienta de captura y estudio sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido de los profesores.

**Palabras clave:** Conocimiento profesional, Conocimiento Didáctico del Contenido, Ley de Ohm, complejidad y estudio de caso.

### **Abstract**

This case study researches on the professional knowledge of Natural Sciences teachers. The study will focus on the analysis of Pedagogical Content Knowledge on Ohm's Law, from the declarative reflection of two High School Physics teachers, following the line of a qualitative research, from a case study, under a paradigm of evolutionary complexity. The statements of the professors will be analyzed, which will be obtained through the application of a semi-structured interview, as a first-rate instrument; following the Bases of Professional Knowledge of the Professional and the Pedagogical Content Knowledge model of Gess-Newsome (2015), in coherence with the technical, practical and critical dimensions of the Complexity Hypothesis (Vázquez-Bernal et al., 2006). Both teachers showed a predominance towards the practical dimension, tending towards criticism.

Thus, the teachers demonstrate the Pedagogical Content Knowledge in its different class contexts, around the teaching of Ohm's Law. As well as, the approaches made regarding the inclusive obstacles of Teacher Professional Development, where the implementation of new didactic strategies are considered, along with promoting more student participation, among other aspects.

Finally, from the analysis of Pedagogical Content Knowledge, in accordance with the dimensions of the Complexity Hypothesis and the approach that teachers will carry out regarding inclusive obstacles, an emergent category system is built, which in future research can be validated and used, to be a tool for capturing and studying teachers' Pedagogical Content Knowledge.

**Keywords:** Professional knowledge, Pedagogical Content Knowledge, Ohm's Law, complexity and case study.

**Índice de contenido**

Tribunal Examinador	ii
Declaración Jurada	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Índice de contenido	viii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiii
Abreviaturas	xv
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
Planteamiento de la investigación	1
I.1 Introducción	1
I.2 Propósito y justificación de la de investigación	1
I.3 Antecedentes sobre CDC en la enseñanza de la Física	3
I.4 Pregunta de investigación	5
I.5 Objetivos	5
I.5.1 Objetivo general	5
I.5.2. Objetivos específicos	5
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>6</b>



Revisión de la literatura científica	6
II.1 Introducción	6
II.2 El Conocimiento Didáctico del Contenido: un conocimiento base y acción en constante transformación	7
II.2.1 Shulman como precursor del CDC	7
II.2.2 Magnusson, Krajcik y Borko enfocan al CDC a la enseñanza de las Ciencias Naturales	9
II.2.4 Modelo del Conocimiento Profesional del Profesor	10
II.2.5 CDC el modelo refinado de Carlson y Daehler	17
CAPÍTULO III	33
Marco metodológico	33
III.1 Introducción	33
III.2 Fundamentación de la metodología	33
III.2.1 Investigación a partir de un estudio de caso	33
III.2.2 Participantes y su contexto educativo	34
III.2.3 Ruta metodológica	36
III.2.4 Formas de recolección del CDC	38
III.3 Instrumentos para recolección de información	39
III.3.1 Definición del instrumento de primer orden	39
III.3.1 Entrevista semiestructurada como instrumento de primer orden	41
CAPÍTULO IV	46
Análisis de resultados en los casos de los dos profesores de Física	46
IV.1 Introducción	46

IV.2 Resultados a partir de las declaraciones de la profesora	46
IV.2.1.1 Estrategias de enseñanza y representaciones del contenido	46
IV.2.1.2 Comprensión del estudiante	48
IV.2.2.1 Creencias, orientaciones y conocimientos previos	50
IV.2.2.2 Contexto del profesor	51
IV.2.3.1 CDC personal	53
IV.2.4.1 Creencias, conocimientos previos y comportamientos	60
IV.2.4.2 Resultados de los estudiantes	62
IV.3 Resultados a partir de las declaraciones del profesor	64
IV.3.1.1 Estrategias de enseñanza y representaciones del contenido	64
IV.3.1.2 Comprensión del estudiante	65
IV.3.2.1 Creencias, orientaciones y conocimientos previos	65
IV.3.2.2 Contexto del profesor	68
IV.3.3.1 CDC personal	71
IV.3.4.1 Creencias, conocimientos previos y comportamientos	76
IV.3.4.2 Resultados de los estudiantes	77
CAPÍTULO V	80
Discusión, conclusiones e implicaciones educativas	80
V.1 Introducción	80
V.2 Discusión	80
V.2.1 Dimensiones de la HC presentes en los profesores	80

V.2.2 Abordaje de los obstáculos inclusivos del DPD de los profesores	82
V.2.3 CDC, CDCF y CPD manifestados por los profesores	86
V.2.4 Sistema de categorías emergente	93
V.3 Conclusiones, limitaciones y proyecciones de la investigación	95
REFERENCIAS	98
APÉNDICES	103

**Índice de tablas**

Tabla I.1	3
Tabla II.1	22
Tabla III.1	40
Tabla III.2	42
Tabla III.3	44

**Índice de figuras**

Figura I.1	2
Figura I.2	2
Figura II.1	11
Figura II.2	18
Figura II.3	20
Figura II.4	23
Figura II.5	24
Figura II.6	24
Figura II.7	25
Figura II.8	26
Figura II.9	28
Figura II.10	30
Figura II.11	32
Figura III.1:	37
Figura IV.1	47
Figura IV.2	48
Figura IV.3	53
Figura IV.4	54
Figura IV.5	55
Figura IV.6	58

Figura IV.7	69
Figura IV.8	74
Figura V.1	81
Figura V.2	83
Figura V.3	85
Figura V.4	86
Figura V.5	88
Figura V.6	89
Figura V.7	90
Figura V.8	91
Figura V.9	92
Figura V.10	94

## Abreviaturas

**BCPP:** Bases del Conocimiento Profesional del Profesor.

**CDC / PCK:** Conocimiento Didáctico del Contenido / *Pedagogical Content Knowledge*.

**CDC y H:** Conocimiento Didáctico del Contenido y Habilidad.

**CDCF:** Conocimiento Didáctico del Contenido en Física.

**CPD:** Conocimiento Profesional Deseable.

**CPTE:** Conocimiento Profesional del Tópico Específico.

**DPD:** Desarrollo Profesional Docente.

**HC:** Hipótesis de la Complejidad.

**ReCo/CoRe:** Representaciones de Contenido / *Content Representation*.

**PaP-eRs:** *Pedagogical and Professional experience Repertoires*.

**ReEpd:** Repertorios de experiencia Profesional y Didáctica.

**MEP:** Ministerio de Educación Pública.

**MRU:** Movimiento Rectilíneo Uniforme.

**SI:** Sistema Internacional de Unidades.

## **CAPÍTULO I**

### **Planteamiento de la investigación**

#### **I.1 Introducción**

Actualmente, el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC, en adelante), es considerado como un atributo personal de los profesores (Gess-Newsome, 2015), definido por Shulman (1986) como el conglomerado singular del contenido disciplinar y la propia pedagogía del profesor, proponiendo la interacción entre conocimiento de la materia, pedagogía y currículum. Dado que representa una de las líneas de investigación más potentes en Didáctica de las Ciencias Naturales; Melo et al. (2018) muestran que los cambios en este conocimiento se fomentan cuando el profesor desarrolla habilidades metacognitivas que favorecen la reflexión y autorregulación en su práctica de aula y sobre el aprendizaje de sus estudiantes.

La mayoría de las investigaciones, con un fundamento constructivista, han demostrado que, aunque los conocimientos académicos, en ciencias, pedagogía y didáctica son esenciales en la formación y desarrollo profesional no son suficientes (Melo y Cañada, 2018), por lo que se requiere de escenarios donde el profesor reconozca y desarrolle su CDC sobre temas concretos de su enseñanza.

#### **I.2 Propósito y justificación de la de investigación**

El propósito de esta investigación se centra en el CDC declarativo sobre la Ley de Ohm y los obstáculos asociados a su enseñanza, a través del estudio de casos a dos profesores de Física de enseñanza media (secundaria). Con el fin de conocer y exponer su CDC asociado a este tema en particular, a través del razonamiento con ellos, sus opiniones, experiencias y demás apreciaciones al respecto.

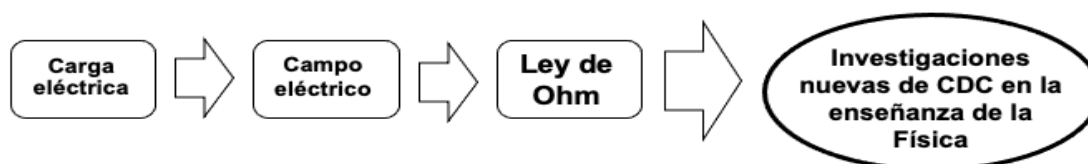
La investigación sobre CDC en profesores de Física y en este contenido, surge para complementar y sumar aspectos investigativos de CDC en la didáctica de esta disciplina, además de ser complemento a otras investigaciones realizadas por expertos en contenidos



como Carga eléctrica (Melo et al., 2016) y Campo eléctrico (Melo et al., 2013). Asimismo, son contenidos consecuentes en el desarrollo de un tema principal que es “Electricidad y Magnetismo. En la figura I.1 se muestra una proyección de los contenidos de Física en los que se han desarrollado investigaciones sobre CDC, incluyendo al tópico de esta propuesta de investigación la Ley de Ohm. Además, da cabida a la realización de más investigaciones en otros contenidos como circuitos en corriente directa y alterna, campo magnético, entre otros.

**Figura I.1**

*Secuencia de contenidos en investigaciones de CDC, incluyendo la propuesta de Ley de Ohm*



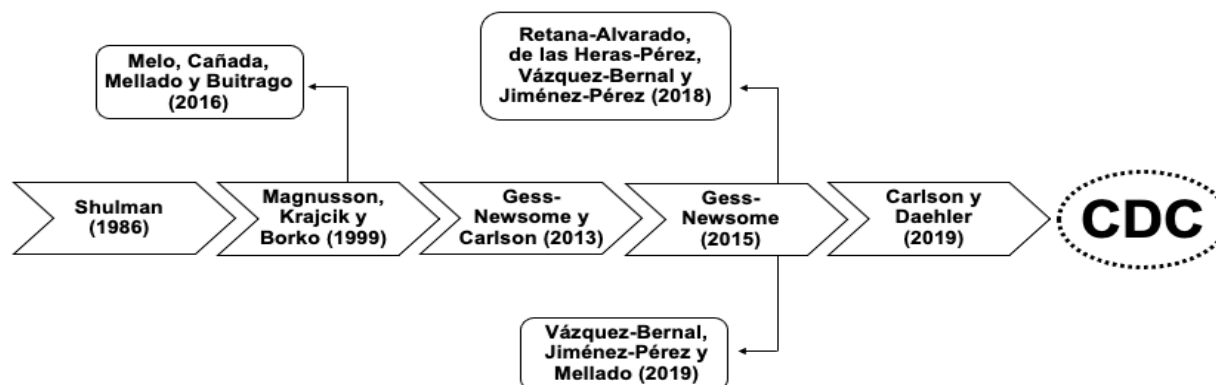
*Nota:* Diseñado a partir de diversas publicaciones de CDC en enseñanza de la Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

Para esta investigación se considerarán los aportes de diferentes autores especialistas en CDC, expuestos en la siguiente línea de tiempo, representada en la figura I.2, iniciando por Shulman (1986), precursor en este tema hasta Carlson y Daehler (2019) con su modelo refinado, pero fundamentándose en lo expuesto por Gess-Newsome (2015) centrándose en el CDC personal de los profesores, a partir de la reflexión.

**Figura I.2**

*Línea temporal de algunos referentes sobre CDC*



*Nota:* A partir de diversas publicaciones de CDC.

*Fuente:* Elaboración propia.

La figura anterior también expone que Melo et al. (2016) basan sus investigaciones de CDC en las concepciones de Magnusson et al. (1999), mientras que Retana-Alvarado et al. (2018) y Vázquez-Bernal et al. (2019) en las de Gess-Newsome (2015).

### I.3 Antecedentes sobre CDC en la enseñanza de la Física

En la enseñanza de esta asignatura, las investigaciones sobre CDC se han desarrollado en contenidos como Principio de Arquímedes, Carga eléctrica, Campo eléctrico, entre otros; destacando diversos enfoques cualitativos, en los cuales destacan la concepción y comprensión de contenidos, experiencias y demás, que adquieren y desarrollan los profesores, tanto en su formación, como al momento de desempeñarse en el contexto de aula.

La tabla I.1 presenta algunos estudios realizados sobre CDC en la enseñanza de la Física por diferentes autores, resaltando entre otras cosas su contexto y conclusiones:

**Tabla I.1**

*Algunas investigaciones sobre CDC en la enseñanza de la Física*

Autor(es)	Contenido de Física	Contexto de la investigación	Conclusiones de la investigación
Rodríguez y López (2020).	Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU).	Estudio de caso múltiple con 7 profesores de Física secundaria de Chile.	Los profesores consideran validar un saber científico por medio de la experimentación, a través del método científico. Manteniendo una tendencia a usar modelos tradicionales, como la aplicación de escasas fuentes de para la organización de la información y no considerar la reflexión sobre las características individuales de los estudiantes.

*Nota:* A partir de la revisión de diversas publicaciones sobre CDC.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla I.1 (continuación)***Algunas investigaciones sobre CDC en la enseñanza de la Física*

Autor(es)	Contenido de Física	Contexto de la investigación	Conclusiones de la investigación
Melo et al. (2018).	Principio de Arquímedes.	Estudio de caso múltiple con 21 profesores de Física secundaria en formación Colombia.	El CDC inicial de los futuros profesores participantes puede describirse a partir de tres modelos (tradicional-intermedio-ecléctico) cualitativamente diferentes, lo cual demuestra el carácter idiosincrásico del CDC, es decir centrado en el pensar, sentir y otros rasgos propios de cada profesor.
Melo et al. (2016).	Carga eléctrica.	Estudio de caso con 1 profesor de Física secundaria en Colombia.	Cada profesor amplía su CDC de forma particular y personal, por lo que se debe dar atención al conocimiento del contexto y aspectos afectivos asociados con el aprender a enseñar.
Reyes y Martínez (2013).	Campo eléctrico.	Estudio de caso con 1 profesor de Física secundaria en formación indican el país).	Para el profesor los contenidos de enseñanza no distan de los contenidos de la Física per se, asegurando que se centre en la continuidad y necesidad de asumirlos de manera lineal y acumulativa.

*Nota:* A partir de la revisión de diversas publicaciones sobre CDC.

*Fuente:* Elaboración propia.

Lo expuesto en la tabla anterior, resalta aspectos importantes para esta investigación, ya que de igual forma que en esos estudios, se pondrá especial atención al carácter declarativo de los profesores, en el tópico de la Ley de Ohm y el CDC asociado a este. Para conocer las percepciones de estos respecto a la planificación y desarrollo de este contenido, así como su determinado de su contexto y las concepciones que tienen de los estudiantes.

#### **I.4 Pregunta de investigación**

¿Cuál es el Conocimiento Didáctico del Contenido de dos profesores de Física de Secundaria en la enseñanza de la Ley de Ohm?

#### **I.5 Objetivos**

##### **I.5.1 Objetivo general**

- Analizar el Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio a través de dos estudios de caso.

##### **I.5.2. Objetivos específicos**

- Describir el Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm a partir de la reflexión con carácter declarativo del profesorado, a partir de un modelo de conocimiento profesional (Gess-Newsome, 2015), en coherencia con las dimensiones técnica, práctica y crítica de la Hipótesis de la Complejidad (Vázquez-Bernal, Mellado, Jiménez-Pérez y Taboada, 2012).
- Distinguir la naturaleza de los obstáculos implicados en la enseñanza de la Ley de Ohm.

## CAPÍTULO II

### Revisión de la literatura científica

#### II.1 Introducción

En este capítulo se expondrán diversos referentes teóricos sobre CDC, así como interpretaciones propias vinculadas a las ideas expuestas por los autores, resaltando entre otros detalles a Shulman como el precursor de las investigaciones en CDC publicadas a partir de 1986, planteando categorías para este, como el conocimiento del contenido de la materia y el curricular. A causa de estos y otros estudios, Magnusson et al. (1999) se encargarían de comenzar con investigaciones del CDC enfocadas en la enseñanza de las Ciencias Naturales, quienes propondrían su propio sistema de categorías de CDC, constructo propuesto por Shulman (1987), tomando como base las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias naturales. Posteriormente, Gess-Newsome y Carlson (2013), se enfocarían en el CDC personal del profesor, derivado del conocimiento profesional base para la enseñanza y del conocimiento sobre el contenido específico. En 2015, Gess-Newsome propone un modelo dinámico de conocimiento profesional que incluye CDC en la interacción de la reflexión y práctica de aula.

Más adelante, se presenta un modelo un modelo más refinado del CDC, en el cual tiene mayor relevancia el conocimiento del contenido sobre otros como el del currículo y de evaluación, propuesto por Carlson y Daehler en 2019. También, se aborda el CDC desde la perspectiva de la enseñanza de la Física, fundamentándose en lo propuesto por Gess-Newsome (2015). Al hilo de lo anterior, se profundiza en la Ley de Ohm, el tópico científico particular sobre el cual se centra la reflexión personal de los profesores para la delimitación del CDC.

Finalmente, se presentan dos fundamentaciones que son los obstáculos para el Desarrollo Profesional Docente (Vázquez-Bernal, et al., 2010a), clasificados en ideológicos, formativos, psicológicos, contextuales, epistemológicos y curriculares. Así como la Hipótesis de la Complejidad (Vázquez-Bernal et al., 2006; Vázquez-Bernal et al., 2010b), como el sustento

teórico que permite el análisis del CDC a partir de la reflexión y el establecimiento de los obstáculos en el desarrollo profesional de los profesores.

## **II.2 El Conocimiento Didáctico del Contenido: un conocimiento base y acción en constante transformación**

A continuación, se presentan los aspectos más destacados sobre CDC por parte de varios autores, desde Shulman (1986) hasta Carlson y Daehler (2019), donde se muestran sus perspectivas del CDC en general hasta el enfatizar sobre el CDC a la enseñanza de las ciencias.

### **II.2.1 Shulman como precursor del CDC**

Desde que Shulman en 1986 propone el CDC, se han derivado diversas investigaciones en esta línea, en contextos como la formación inicial y práctica profesional del profesorado (Reyes, 2010). Este autor destaca que, para cualquier asignatura en particular, el CDC debe contemplar las formas de representar y formular el contenido para que sea comprensible para otros; es decir el CDC recoge el pensamiento de los profesores acerca de cómo el contenido debe enseñarse, además de las formas de representación y la formulación de la materia que la hagan comprensible a los estudiantes. Además, el CDC incluye las conexiones entre los conocimientos de la materia y didácticos del profesor, permitiendo así la transformación del contenido para su enseñanza (Acevedo, 2008). Básicamente, el CDC es el conocimiento que va más allá del disciplinar, llegando a la dimensión del conocimiento del tema mismo para la enseñanza (Shulman, 1987).

Todo lo anterior, bajo la premisa de sondear las complejidades de la comprensión y transmisión del contenido por parte del profesor, razón por la cual Shulman (1986), buscaba respuesta a preguntas como:

- ¿Cuáles son los dominios y categorías del conocimiento del contenido en la mente de los profesores?

- ¿Cómo el conocimiento del contenido y conocimiento pedagógico general se relacionan?
- ¿En qué formas se representan los dominios y categorías de conocimiento representadas en la mente de los profesores?

Es bajo la guía de estas y otras preguntas que Shulman comienza sus investigaciones sobre el CDC, con profesores de Biología, Inglés, Matemáticas y Sociales de California (Valbuena, 2007).

Shulman (1986) clasifica el conocimiento del contenido de los profesores en tres categorías:

- Conocimiento del contenido de la materia o de la disciplina: correspondiente a la cantidad y organización en el pensamiento del profesor.
- Conocimiento didáctico general: va más allá del conocimiento disciplinar, ya que se relaciona más con la capacidad de enseñar.
- Conocimiento curricular: correspondiente a los programas diseñados para la enseñanza de las asignaturas y sus temas particulares en un nivel dado.

Posteriormente Shulman (1987) amplía su definición de CDC a siete categorías:

- Conocimiento didáctico del contenido.
- Conocimiento de los estudiantes y de sus características.
- Conocimiento de los contextos educativos.
- Conocimiento de los objetivos, finalidades, valores educativos y de sus fundamentos filosóficos e históricos.

Estas categorías corresponden a las bases del conocimiento del profesor y hacen destacar al CDC porque se identifican diversos conocimientos para la enseñanza, a la vez que representan la combinación entre la disciplina y la didáctica, llegando a una comprensión de

cómo los temas y problemas se organizan, simbolizan, adaptándose a los diferentes intereses y capacidades de los estudiantes (Shulman, 1987).

Por lo anterior, el CDC representa la convergencia entre el contenido disciplinar y su representación en la enseñanza.

### **II.2.2 Magnusson, Krajcik y Borko enfocan al CDC a la enseñanza de las Ciencias Naturales**

Magnusson et al. (1999) consideran a los saberes pedagógicos, disciplinares y de contexto como conocimiento base y fundamentales en su propuesta. Además de resaltar al saber personal, las concepciones e intereses en el conocimiento del profesor, junto con los recursos académicos (Melo, 2015). De esta forma se da a entender que estos aspectos son significativos y varían según cada profesor, haciendo particular el CDC de cada uno.

Estos autores proponen un modelo de categorías para el CDC, ligeramente diferente al planteado por Shulman (1987), pues consideran la relación entre los conocimientos y las concepciones del profesorado de ciencias, incorporando a las orientaciones y la evaluación:

- Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias.
- Conocimiento curricular en ciencias.
- Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes en ciencias.
- Conocimiento sobre las estrategias en enseñanza de las ciencias.
- Conocimiento de la evaluación en ciencias.

Estas categorías se relacionan entre sí y funcionan de forma sinérgicamente, estructurando así, un conocimiento profesional en cada profesor de ciencias que tiene como eje central al CDC. Destacando así, lo mencionado por Magnusson et al. (1999) que la ausencia de alguna no permitiría un desarrollo adecuado del CDC.



Valbuena (2007) indica que el enfoque de CDC propuesto por Magnusson et al. (1999) brinda una visión de transformación en los conocimientos implicados, a consecuencia de sus vinculaciones y de la orientación que se tenga sobre la enseñanza de esta asignatura. En coherencia con los consensos más recientes en Didáctica de las Ciencias se incorpora una categoría más, propuesta por Garritz (2010), que corresponde al conocimiento y creencias de tipo afectivo relativos al contenido específico de la asignatura científica, de la cual se derivan los siguientes subcomponentes: creencias de orientación hacia metas, creencias sobre interés y valores; creencias de auto concepto, autoeficacia, autoestima y control. Con lo anterior, Melo (2015) resalta que se plasma una posición epistemológica al situar a las creencias y su influencia en la construcción del conocimiento. Mientras que Valbuena (2007), menciona que las concepciones e intereses de cada profesor son de igual relevancia y que son un condicionante a su labor y que modificarlas no es sencillo y repercutiría en la formación de los profesores.

#### **II.2.4 Modelo del Conocimiento Profesional del Profesor**

Este modelo fue expuesto en 2012 durante la conferencia *European Science Education Research Association* (ESERA), en la cual Gess-Newsome y Carlson (2013) presentaron al Conocimiento Profesional del Profesor para así desarrollar y evidenciar el CDC, clasificándolo en dos tipos:

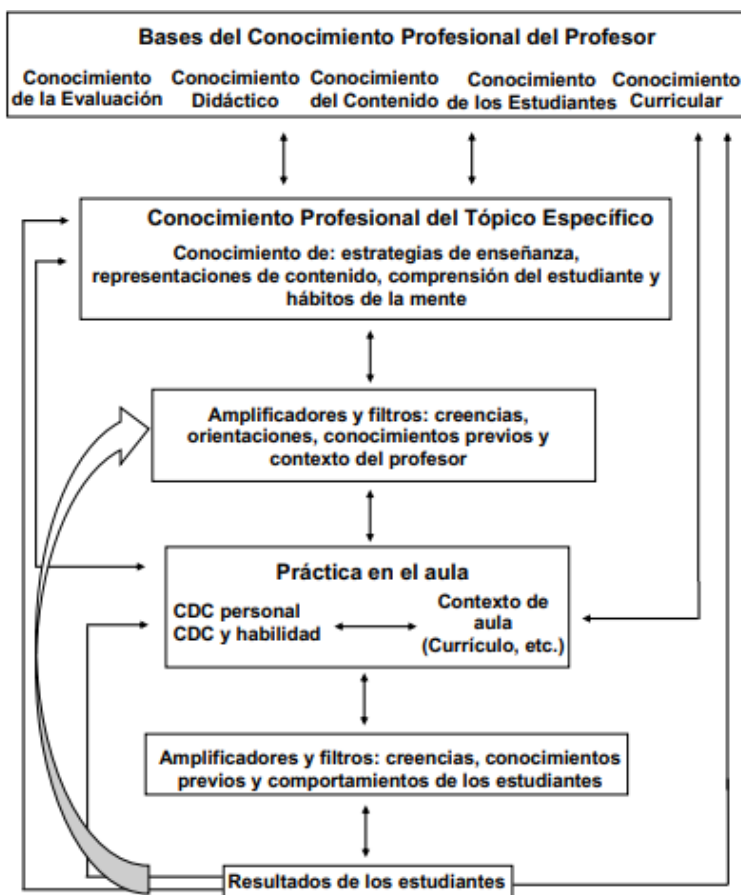
- Conocimiento base: comprendido por los conocimientos sobre el currículo, de los estudiantes, de la evaluación, el pedagógico y del contenido.
- Conocimiento base sobre el contenido específico: que concatena a la experiencia y al conocimiento académico sobre los contenidos que son enseñados para un nivel o grado particular.

Es claro por lo que abarcan estos dos conocimientos que influyen, integran y se transforman en la ejecución de las prácticas de aula (Melo, 2015), por lo que se motiva a

investigar sobre la repercusión de estos a nivel del aula, profesores y estudiantes, que va desde la planeación hasta la ejecución de las lecciones de ciencias, para así reconocer el conocimiento del profesor, su habilidad y su práctica. Razón por la cual, Gess-Newsome (2015) sostiene que el CDC es un conocimiento base para la planificación de la enseñanza sobre un tópico particular y como habilidad en la práctica de aula, que se modela en cinco pilares, conocidas como las Bases del Conocimiento Profesional del Profesor (BCPP, en adelante), complementado a su vez por el Conocimiento Profesional del Tópico Específico (CPTE, en adelante), que hace explícito el contenido a enseñar, entre otros elementos que se muestran en la figura II.1 y que son descritas de la siguiente forma:

**Figura II.1**

*Bases del Conocimiento Profesional del Profesor*



*Nota: Adaptado de A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of thinking from the PCK Summit.*

*Fuente: Gess-Newsome (2015).*

#### ***II.2.4.1 Conocimiento de la evaluación***

Se trata del conocimiento que adquieren los profesores de cómo diseñar evaluaciones, ya sean formativas o sumativas, además de las respectivas interpretaciones basadas en la información obtenida a través de estas (Gess-Newsome, 2015). Por ejemplo, de sus asignaturas de evaluación durante su formación inicial o de las experiencias compartidas entre colegas o con sus estudiantes, determinará qué tipo de instrumentos utilizar, particularmente aquellos que asumen función formativa, ya que los sumativos, están en función de la normativa del sistema educativo.

#### ***II.2.4.2 Conocimiento didáctico***

Está relacionado con los conocimientos que los profesores adquieren sobre las habilidades en torno a los procesos de enseñanza, tales como las teorías de aprendizaje, gestión del clima de aula y las estrategias de mediación pedagógica en el contexto particular (Grossman, 1990; Gess-Newsome, 2015). Es decir, las metodologías que implementan al representar los contenidos a través de ejemplos o las interpretaciones sobre enfoques constructivistas o conductistas que definen modelos didácticos personales, además, aquellas acciones que desarrollan en función de sus respectivos contextos educativos. Por ejemplo, para el tópico de la Ley de Ohm, se pueden hacer demostraciones con experimentos reales o con simulaciones digitales y laboratorios virtuales, como herramientas complementarias a las explicaciones y a los ejercicios de papel y lápiz.

#### ***II.2.4.3 Conocimiento del contenido***

Es el referente disciplinar relacionado con la asignatura científica que se enseña (Cochran y Jones, 1998). En otras palabras, es el conocimiento que posee el profesor sobre los contenidos o tópicos científicos adquiridos en la formación inicial, los cuales repercuten en el proceso de enseñanza y aprendizaje. De acuerdo con Zhang (2011), un conocimiento profundo del contenido tiene el potencial de plantear más interrogantes, sugerir explicaciones alternativas y proponer consultas adicionales que contribuyan en el logro académico del alumnado. Así pues,

un profesor que domine ampliamente la Ley de Ohm y los circuitos eléctricos potenciará con mayor profundidad el desarrollo de experiencias prácticas, tales como experimentos o simulaciones con los estudiantes, en comparación con otro que apenas posea conocimientos básicos y se limite a planificar lecciones basadas exclusivamente en conceptos teóricos y unos cuantos ejemplos, siguiendo exclusivamente los libros de texto.

En este sentido, Liepertz y Borowski (2018) sostienen que los textos académicos presentan a la ciencia de una manera muy abstracta y condensada, dirigidos a expertos o a estudiantes que siguen una formación propedéutica. En consecuencia, esa representación en el caso de la Física no es adecuada para las lecciones en el ámbito formal escolar. Con frecuencia, los profesores planifican sus lecciones fundamentándose en el contenido solamente, sin saber que la estructura de una clase difiere de la organización del contenido de Física (Duit et al., 2012). En consecuencia, es responsabilidad de los profesores invertir ese orden (Liepertz y Borowski, 2018), para que, a través de la comprensión y dominio sobre los contenidos, faciliten y agilicen el aprendizaje de sus estudiantes. De esta forma, se hace notar la importancia del conocimiento del contenido que posee el profesor para el desarrollo de su CDC personal.

Al respecto, Liepertz y Borowski (2018) mencionan que el conocimiento profesional es la piedra angular de la educación académica de los futuros profesores, pues influyen en las acciones de aula. De manera similar, Settlage (2013) sostiene que aquellos profesores con menos conocimiento sobre las prácticas de instrucción específicas serán menos capaces de educar a los estudiantes comparados con otros que poseen mayor conocimiento y soltura en la enseñanza de los tópicos.

#### ***II.2.4.4 Conocimiento de los estudiantes***

Gess-Newsome (2015) lo define como el conocimiento que tienen los profesores sobre el desarrollo cognitivo de los estudiantes y las variaciones en sus enfoques de aprendizaje y características generales, o sea, la interpretación de sus manifestaciones a través del tiempo en función de lo enseñado y desarrollado en el aula. Por ese motivo, esas características le

aportarán información al profesor para conocer y desarrollar estrategias de clase y de evaluación, que potencien el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Esta autora también sostiene que mantener o aumentar la motivación de los estudiantes depende de factores como la preparación y desarrollo de las clases, el conocimiento del contenido y las diversas estrategias que se implementen en las mismas. Es decir, un profesor que tenga un conocimiento amplio de la Ley de Ohm y los circuitos eléctricos, no solo a nivel teórico, sino, también práctico, que realice demostraciones prácticas y brinde ejemplos prácticos de esos contenidos en la cotidianidad. De esta manera, captará y estimulará la atención y las ganas de aprender más por esos tópicos de parte de los estudiantes, que limitarse a solo plasmar ecuaciones, problemas de respuestas cerradas y diagramas de circuitos en la pizarra, copiados de un libro texto.

#### ***II.2.4.5 Conocimiento curricular***

Corresponde al conocimiento que tiene el profesor en cuanto a los objetivos de un plan de estudios determinado, su estructura, alcance y secuencia, además la capacidad para evaluarlo, en el sentido de lograr coherencia y articulación (Gess-Newsome, 2015). Es decir, comprende cómo el profesor aborda los objetivos y contenidos de los programas de estudio.

Las BCPP son el pilar del conocimiento profesional del profesor, que desarrollará y aplicará, no solo en su formación, sino, también, en su contexto de planificación y desarrollo de clases. Asimismo, son un conocimiento genérico de la profesión profesor, informa y es informado por el conocimiento profesional del tópico específico que combina el conocimiento de la materia, la pedagogía y el contexto (Retana-Alvarado y Vázquez-Bernal, 2019). Sumado al intercambio de reflexiones entre colegas y estudiantes sobre los diversos temas en particular, así como situaciones desarrolladas en sus contextos de aula, siendo el CDC el núcleo integrador del conocimiento profesional (Melo et al., 2016), donde el conocimiento profesional profesor específico, definido por Perafán (2016) como el sistema de saberes integrados al proceso de

construcción de una categoría particular, o contenido de enseñanza; es un elemento esencial en el desarrollo de las BCPP.

#### ***II.2.4.6 Conocimiento Profesional del Tópico Específico***

El Conocimiento Profesional del Tópico Específico (CPTe, en adelante), incluye la selección de estrategias instruccionales efectivas y representaciones múltiples (Gess-Newsome, 2015) que permiten al profesor organizar el contenido para utilizarlo en ejemplos específicos capaces de resaltar y construir ideas generales, así las cosas, el conocimiento concreto a un tema (Retana-Alvarado y Vázquez-Bernal, 2019), obtenido a través de la formación inicial, investigación y experiencia profesional.

Gess-Newsome (2015), indica que el CPTe también aporta lo siguiente:

- Explicita que el contenido para la enseñanza se produce a nivel de tema, por ejemplo, la Ley de Ohm y los circuitos eléctricos y no a nivel disciplinario (como Física).
- Combina tema, pedagogía y contexto.
- Se reconoce como conocimiento público o conocimiento en poder de la profesión, lo que le permite asumir un papel normativo.

Estos planteamientos son de gran importancia, pues favorecen el planteamiento de los contenidos específicos, articulados a estrategias didácticas que buscan facilitar la comprensión por parte del alumnado.

#### ***II.2.4.7 Amplificadores y filtros de los profesores***

Los amplificadores y filtros del profesorado como sus creencias, orientaciones, conocimiento previo y contexto son apoyos derivados del ambiente en el que vive inmerso el profesor y que ayudan a explicar por qué el desarrollo profesional puede no tener un impacto directo en la práctica profesor en el aula (Gess-Newsome, 2015).

Retana-Alvarado y Vázquez-Bernal (2019) consideran que estos generan una dinámica del conocimiento profesional sobre temas particulares en las prácticas de aula, siendo este

espacio donde se puede ubicar al CDC personal del profesor y conocer sus interacciones con el contexto específico y particular del aula.

#### ***II.2.4.8 Práctica de aula***

Dentro de la práctica de aula, Gess-Newsome (2015) destaca dos tipos de CDC:

##### **El CDC personal**

Es entendido como aquel razonamiento detrás de la planificación para enseñar un tema en particular, de una manera particular, con un propósito particular, a estudiantes particulares para mejorar sus resultados de aprendizaje.

##### **El CDC y habilidad (CDC y H)**

Corresponde al acto de enseñar un tema en particular de forma particular, con un propósito particular, a estudiantes particulares para mejorar los resultados en estos (Gess-Newsome, 2015). Correspondiendo básicamente a las actividades principales de un profesor al momento de enseñar cualquier contenido. Así pues, este modelo reconoce el conocimiento del profesor, sus habilidades y la práctica (Amórtegui, 2018).

#### ***II.2.4.9 Amplificadores y filtros de los estudiantes***

Gess-Newsome (2015) menciona que los conocimientos previos, capacidad de atención, la perseverancia, así como el comportamiento y las reacciones de los estudiantes, corresponden a amplificadores o filtros para su aprendizaje. De ahí que, el profesor debe prestar atención a estos aspectos, ya que, a través de estos, determinaría que recursos y estrategias puede utilizar durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes.

#### ***II.2.4.10 Resultados de los estudiantes***

Definidos como los “productos posteriores de la investigación educativa”, además considerarse como oportunidades para que los profesores aprendan y se motiven (Gess-Newsome, 2015). Pues, aportarán información a los profesores sobre el éxito o no en los procesos de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, Gess-Newsome (2015) menciona que estos resultados, pueden influenciar en los amplificadores y filtros de los

estudiantes, generando motivación o desmotivación en ellos, así como otros comportamientos durante su etapa de aprendizaje.

En general el desarrollo del CDC es indispensable para mejorar no solo el conocimiento profesional del docente, sino, también que a su vez se potencia el aprendizaje de los estudiantes, ya que profesores con mejor CDC conducen a sus estudiantes hacia mejores calificaciones (Verdugo-Perona et al., 2017). De modo que, profesores con mayor dominio de las BCPP antes expuestas, además de tener mayor conocimiento no solo del contenido de la asignatura y demás factores, tendrán mayor seguridad al momento de planificar y desarrollar sus lecciones, así como, la capacidad de ofrecer un rol más activo a los estudiantes. De este modo, el profesor asume un rol facilitador de conocimientos y potencia su desarrollo profesional.

### **II.2.5 CDC el modelo refinado de Carlson y Daehler**

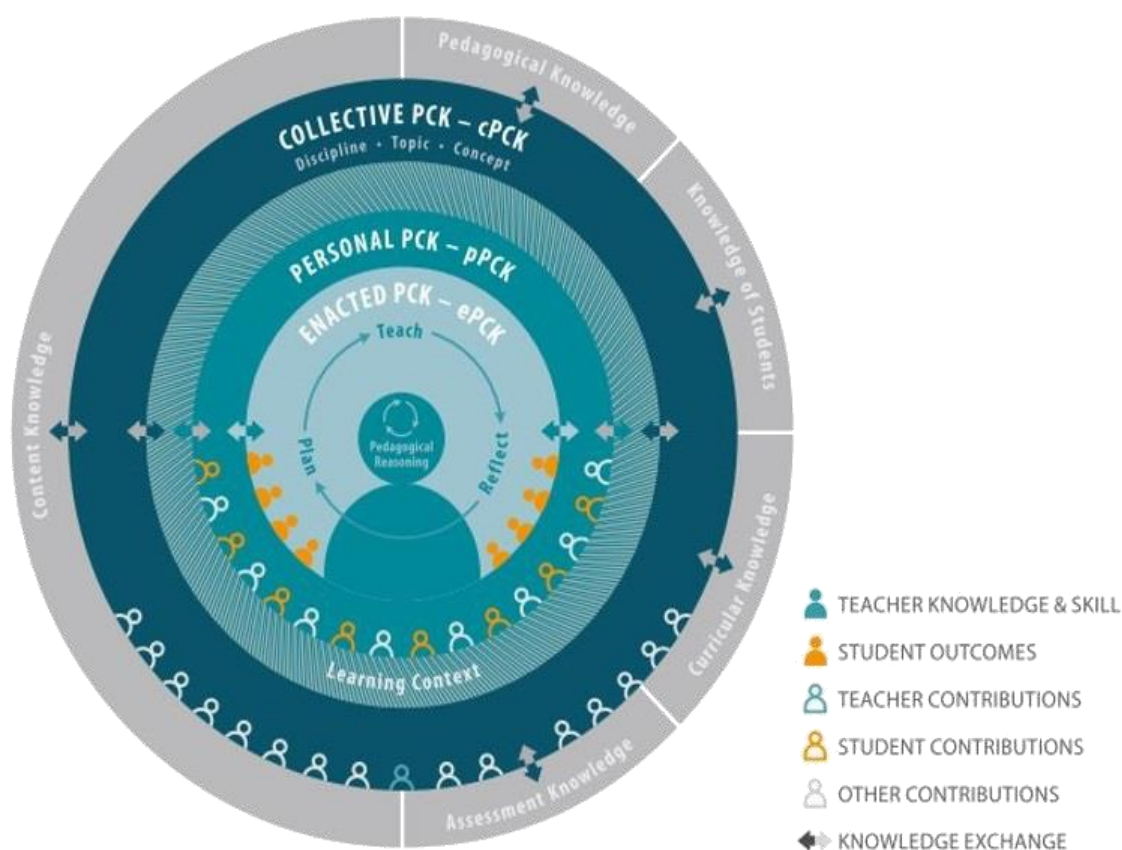
Este modelo propuesto por Carlson y Daehler (2019) se focaliza en la enseñanza de las ciencias y se conforma por tres tipos de CDC: promulgado, personal y colectivo, así como el contexto donde se desarrolla el aprendizaje. Presentado una versión refinada de CDC, que reconoce a las BCPP de Gess-Newsome (2015) y como se aprecia en la figura II.2, presenta una distribución de forma tal, que el conocimiento del contenido abarca el 50%, mientras que el otro 50%, se reparte entre los demás tipos de conocimiento, es decir, en el pedagógico, en el de los estudiantes, del currículo y sobre la evaluación.

Lo anterior con el objeto de integrar al proceso de enseñanza y aprendizaje, de la mano de las otras derivaciones del CDC, y el contexto de aprendizaje.



**Figura II.2**

Representación del CDC refinado



Nota: Tomado de *The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education*.

Fuente: Carlson y Daehler (2019).

### II.2.5.1 Conocimiento Didáctico del Contenido Promulgado

El CDC promulgado o *Enacted PCK* en la figura II.2, es el conocimiento y habilidades específicas que utiliza el profesor en un entorno particular, con un estudiante particular o grupo de estudiantes, con el objetivo de que estos aprendan un concepto particular o una colección de conceptos de una disciplina (Carlson y Daehler, 2019). Básicamente, corresponde al conocimiento el profesor debido a la influencia de su contexto educativo.

### ***II.2.5.2 Conocimiento Didáctico del Contenido Personal***

Carlson y Daehler (2019) lo describen como el conocimiento de contenido pedagógico acumulativo y dinámico, así como las habilidades que tiene el profesor de forma individual en las que se reflejan sus experiencias de enseñanza y aprendizaje, de la mano de los aportes de otros profesores. De igual forma, con otros saberes obtenidos gracias a artículos de revistas, cursos, redes sociales, investigadores, entre otros. En consecuencia, el CDC personal se genera de las experiencias que haya tenido el profesor en su formación, en su intercambio con sus maestros y otros colegas, así como de los momentos de clase con los estudiantes.

### ***II.2.5.3 Contexto de aprendizaje***

Carlson y Daehler (2019) lo explican como el lugar, entiéndase la escuela, el aula, entre otras, donde se vinculan el conocimiento y práctica a nivel personal del profesor, que le permiten entre otras cosas amplificar y filtrar información que conformará su CDC personal y le acercará al CDC colectivo.

### ***II.2.5.4 Conocimiento Didáctico del Contenido Colectivo***

El CDC colectivo resulta de la combinación de las contribuciones de conocimiento profesional del profesor y las diversas experiencias de enseñanza en una asignatura determinada; este conocimiento es conservado por un grupo de personas (Carlson y Daehler, 2019), de ahí su carácter colectivo. En consecuencia, se genera tanto de las experiencias con otros profesores, como de la interacción de los estudiantes, antes, durante y después del contexto de aprendizaje, así como de otros aportes en artículos académicos y presentaciones de conferencias.

## **II.3 El Conocimiento Didáctico del Contenido desde la enseñanza de la Física**

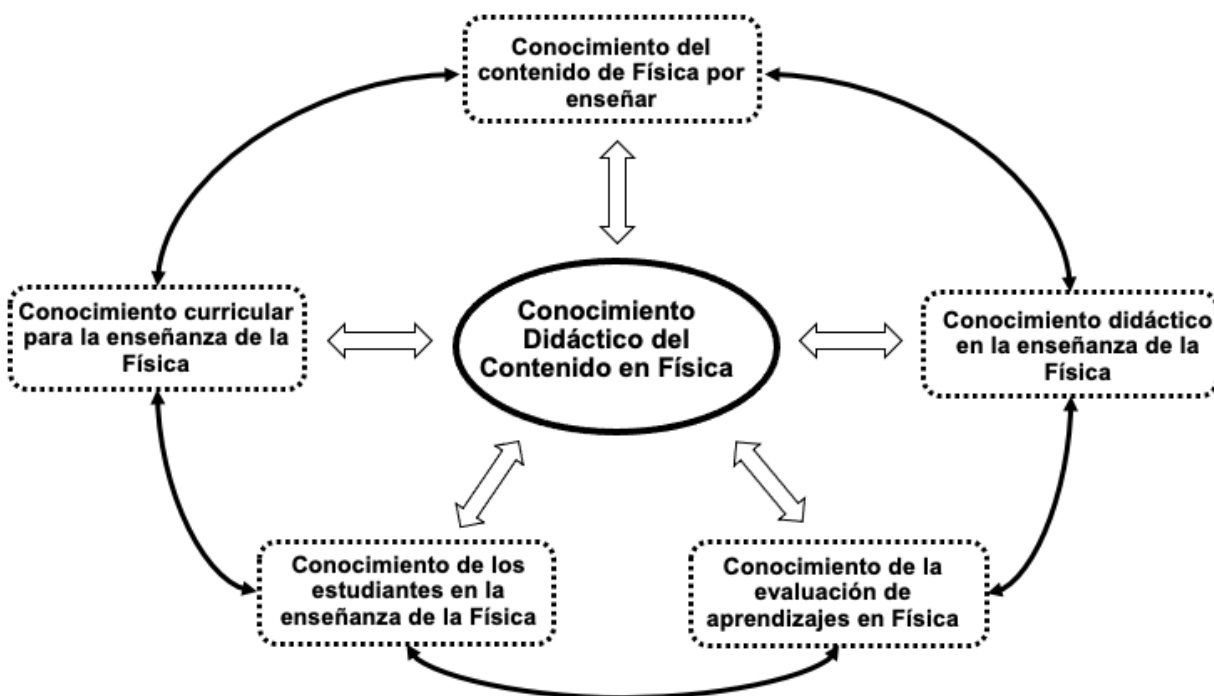
Al tomar las BCPP expuestas por Gess-Newsome (2015) y contextualizarlas a la enseñanza de la Física de una forma similar a la propuesta de Valbuena (2007) en su CDC Biológico, para el contexto de la enseñanza de la Física se propone:

- Conocimiento del contenido de Física por enseñar.
- Conocimiento didáctico en la enseñanza de la Física.
- Conocimiento de los estudiantes en la enseñanza de la Física.
- Conocimiento curricular para la enseñanza de la Física.
- Conocimiento de la evaluación de aprendizajes en Física.

Siendo las anteriores una sugerencia para las bases del CDC en la enseñanza de la Física o CDC en Física (CDCF, en adelante) y partiendo de estas como guía para el profesor de Física en su contexto de clase, tanto al momento de planear las lecciones (CDC personal), como al momento de impartirlas (CDC y H). La figura II.3 expone el modelo de CDCF que se propone:

**Figura II.3**

*Representación del CDCF y la relación entre sus componentes*



*Nota:* Adaptado de *Relación entre los componentes del CDC Biológico*, Valbuena (2007) y las *Bases del Conocimiento Profesional del Profesor*, Gess-Newsome (2015).

*Fuente:* Elaboración propia.

El CDCF y sus respectivos componentes funcionan como un todo, cada uno relacionado entre sí, pero manteniendo al conocimiento del contenido de Física por enseñar como eje principal, siguiendo una línea similar del modelo Gess-Newsome (2015) y las BCPP. No obstante, es fundamental la sinergia entre todas, ya que para el desarrollo del conocimiento profesional del profesor y su respectivo CPTe, es necesario que este, las conozca y las articule.

Por ejemplo, el conocimiento curricular para la enseñanza de la Física, plasma que a partir de un contenido particular que el profesor esté desarrollando, como la Ley de Ohm, debe saber que el mismo, es base para otro tópico como circuitos eléctricos (serie y paralelo), Leyes de Kirchoff, entre otros; mientras que el conocimiento didáctico en la enseñanza de la Física aporta experiencias y habilidades, como uso de laboratorios físicos y virtuales con fundamentaciones pedagógicas como el Conectivismo y Constructivismo. Al mismo tiempo, el conocimiento de los estudiantes en la enseñanza de la Física le aportará al profesor qué planeamientos diseñar para implementar en las lecciones, así como estrategias de evaluación, analizar como aprenden, entre otros.

Finalmente, el saber diseñar evaluaciones acordes a los contenidos enseñados, según su función diagnóstica, sumativa y formativa, que aportan al conocimiento de la evaluación de aprendizajes en Física e integran todo este proceso que el profesor desarrolla durante el planeamiento y ejecución de sus clases, es decir a través de su CDC personal y de habilidad respectivamente.

### **II.3.1 Enseñanza de la Ley de Ohm**

En esta investigación, el tema del contenido particular para determinar el CDC de los dos profesores es la Ley de Ohm. Cabe señalar que está contemplado en los actuales programas de estudio del Ministerio de Educación Pública de Costa Rica (MEP, en adelante), para undécimo año de la Educación Diversificada, y es básico para iniciar con el estudio de los circuitos eléctricos tanto en serie y paralelo, además es indispensable para las Leyes de Kirchoff. A continuación,

en la tabla II.1 se detalla la estructura curricular de la Ley de Ohm establecida en el programa de estudio de Física del MEP vigente a partir de 2017:

**Tabla II.1**

*Extracto de contenido de Física para el nivel de undécimo año*

Nivel	Eje temático	Criterio de evaluación
Undécimo año I. Educación Diversificada.	Los seres vivos en la entornos saludables como resultado de la interacción de aspectos biofísicos, socioculturales y ambientales.	1. Analizar las características de la corriente eléctrica y la Ley de Ohm en los circuitos en serie y paralelo. 2. Utilizar la corriente eléctrica y la Ley de Ohm en la solución de problemas sobre circuitos y serie y paralelo y mixtos. 3. Reconocer que la corriente eléctrica y la Ley de Ohm son fundamentales en la tecnología moderna.

*Nota: Tomado del Programa de Estudio de Física Educación Diversificada del MEP.*

*Fuente: MEP (2017).*

Al momento de enseñar la Ley de Ohm se consideran varias magnitudes Físicas, como la temperatura, la resistividad, la longitud y área del conductor, además de la diferencia de potencial eléctrico o voltaje, corriente y resistencia eléctrica. En la mayoría de los contextos de enseñanza secundaria se suele representar en su forma más básica con la siguiente ecuación:

$$\Delta V = IR \quad (1)$$

Donde:

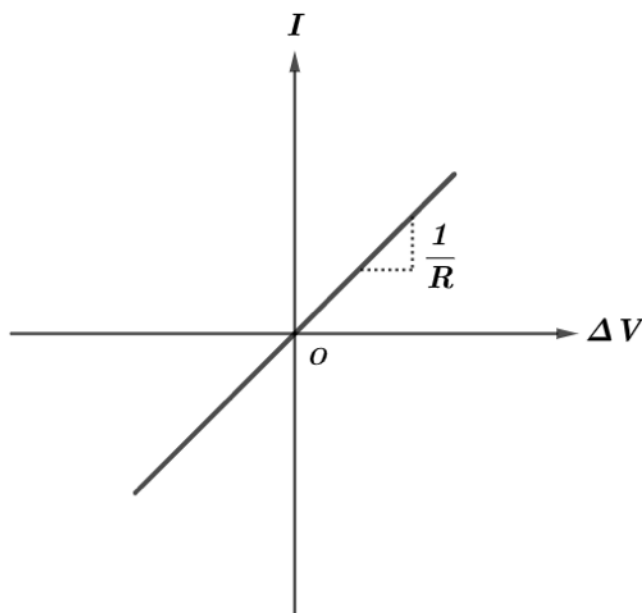
- $\Delta V$ : es la diferencia de potencial eléctrico o voltaje, cuya unidad se llama voltio y se representa con V.
- $I$ : es la corriente eléctrica, cuya unidad se llama amperio y se representa con A.
- $R$ : es la resistencia eléctrica, cuya unidad se llama ohmio y se representa con  $\Omega$ .

Todas basadas en las normas de nomenclatura, equivalencias y simbología del Sistema Internacional de Unidades (SI). No obstante, la ecuación (1) no es una formulación de la Ley de Ohm, sino, más bien una expresión matemática que define la resistencia y se aplica tanto a objetos óhmicos como a no óhmicos (Resnick et al., 2002).

En el contexto educativo en el que se desarrollará la investigación, la Ley de Ohm que se enseña es para objetos óhmicos, los cuales presentan un comportamiento lineal, como se presenta en la figura II.4:

#### Figura II.4

*Gráfica del comportamiento lineal de la Ley de Ohm para un resistor óhmico*



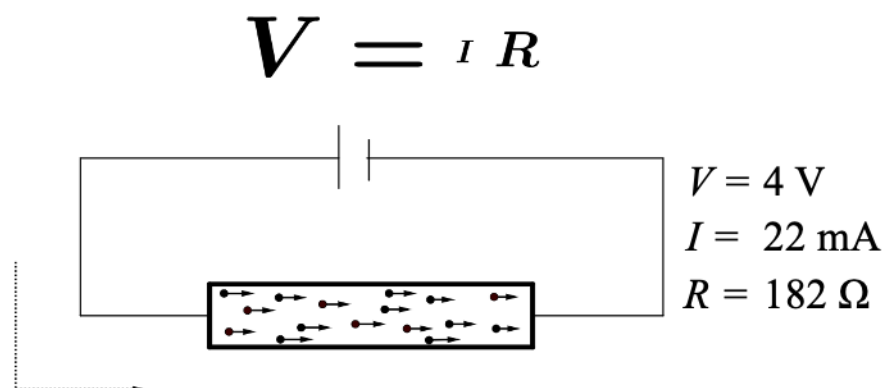
*Nota:* Caso para una resistencia que cumple la Ley de Ohm, en una gráfica de corriente contra la diferencia de potencial, donde  $1/R$  corresponde a la pendiente de función, para el caso de un alambre metálico común, a una determinada temperatura, donde la corriente es proporcional al voltaje.

*Fuente:* Young et al. (2013).

Otra forma de representar la proporcionalidad y el comportamiento entre la corriente y el voltaje, expuestos en la ecuación (1) y la figura II.4, es por medio de la siguiente ilustración en la figura II.5:

**Figura II.5**

Proporcionalidad entre magnitudes asociadas a la Ley de Ohm



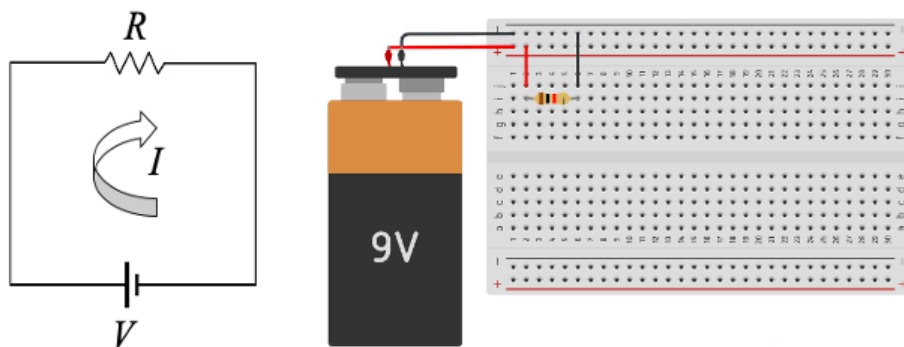
*Nota:* Representación de proporción Ley de Ohm.

*Fuente:* Elaboración propia.

En la figura II.5 se puede apreciar la proporcionalidad entre las variables asociadas a la Ley de Ohm, como se enseñan a nivel básico. Se puede apreciar el comportamiento del flujo de electrones a través de un conductor, conectado a una fuente de poder o batería de 4.0 V junto con una resistencia de 182  $\Omega$ . Por otro lado, un circuito eléctrico se puede representar de las siguientes formas representadas en la figura II.6:

**Figura II.6**

Representación de un circuito sencillo de una resistencia con una batería.



*Nota:* De izquierda a derecha, el diagrama del circuito y una ilustración de los componentes sobre un tablero de circuitos (*protoboard*).

*Fuente:* Elaboración propia.

De manera análoga, se pueden representar los circuitos en serie y paralelo con dos o más resistencias. Como se puede apreciar el conocimiento de la Ley de Ohm es diverso, de ahí la importancia que el profesor integre estos saberes científicos, con herramientas didácticas y curriculares, al momento de planear y desarrollar sus clases, es decir su CDC personal y su CDC y H respectivamente. De ahí que, Verdugo-Perona et al. (2017) explican que el CDC es el tipo de conocimiento que distingue a un profesor de un científico y en su núcleo está la manera en que transforma los contenidos científicos para enseñarlos. En consecuencia, para la enseñanza de Ley de Ohm se explican conceptos de voltaje, corriente y resistencia eléctrica, representados en la ecuación (1), a su vez es utilizada para comprender y resolver circuitos en serie y paralelo de resistencias, mediante diversas formas que el profesor analiza y posteriormente ejecuta, en función de los programas de estudio. El siguiente esquema presentado en la figura II.7, expone una sugerencia de secuencia curricular y de abordaje de la Ley de Ohm.

**Figura II.7**

*Secuencia curricular y de abordaje para enseñar la Ley de Ohm*



*Nota:* Los contenidos y su orden son tomados del *Programa de Estudio de Física Educación Diversificada* del MEP (2017).

*Fuente:* Elaboración propia.

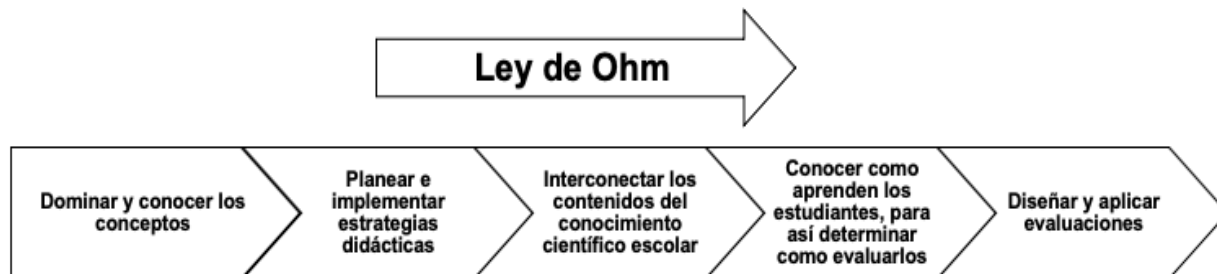


En la figura anterior, se muestra tanto contenidos previos y posteriores a la Ley de Ohm, los cuales se asocian al conocimiento curricular para la enseñanza de la Física, además la mención de algunas formas de abordar el tema como la respectiva explicación de los conceptos, así como el desarrollo de demostraciones y prácticas experimentales, relacionadas al conocimiento didáctico en la enseñanza de la Física. También considerando al conocimiento de la evaluación, con el planteamiento de preguntas durante la clase, aplicando pruebas con circuitos eléctricos, ya sea con instrumentación Física o por medio de recursos virtuales, a través de sitios en Internet o aplicaciones digitales educativas que los emulen en dispositivos móviles, así como exámenes escritos.

Igualmente, y de forma implícita, dentro de esta forma para enseñar la Ley de Ohm se contempla al conocimiento de los estudiantes, por ejemplo, en su forma de aprender, opiniones referentes a las prácticas de clase y al conocimiento del contenido que el profesor tenga sobre este tópico en particular, integrando así las cinco BCPP del profesor según Gess-Newsome (2015). Lo anterior, integrado bajo la concepción del CDCF para el desarrollo del contenido particular de la Ley de Ohm, es el presentado en la figura II.8 a continuación:

### Figura II.8

*Representación del CDCF para la Ley de Ohm*



*Nota:* Forma de representar el CDCF para el desarrollo de la Ley de Ohm.

*Fuente:* Elaboración propia.

Generando una conexión de los contenidos entre sí en coherencia con la Hipótesis de la Progresión y el conocimiento escolar (García, 1998; Martínez-Rivera y Martínez-Rivera, 2012).

Asimismo, esta representación del CDCF es aplicable para cualquier contenido en Física, como Movimiento Rectilíneo Uniforme, Leyes de Newton, Óptica, entre otros tópicos.

## **II.4 El Desarrollo Profesional Docente y la Hipótesis de la Complejidad**

A continuación, se muestran los principales aspectos sobre el Desarrollo Profesional Docente, así como su relación con el Conocimiento Profesional Deseable. Asimismo, se resaltan los obstáculos inclusivos del Desarrollo Profesional Docente. Por último, se presenta a la Hipótesis de la Complejidad y sus tres dimensiones, la técnica, práctica y crítica; así como la forma en que se vinculan con estos obstáculos.

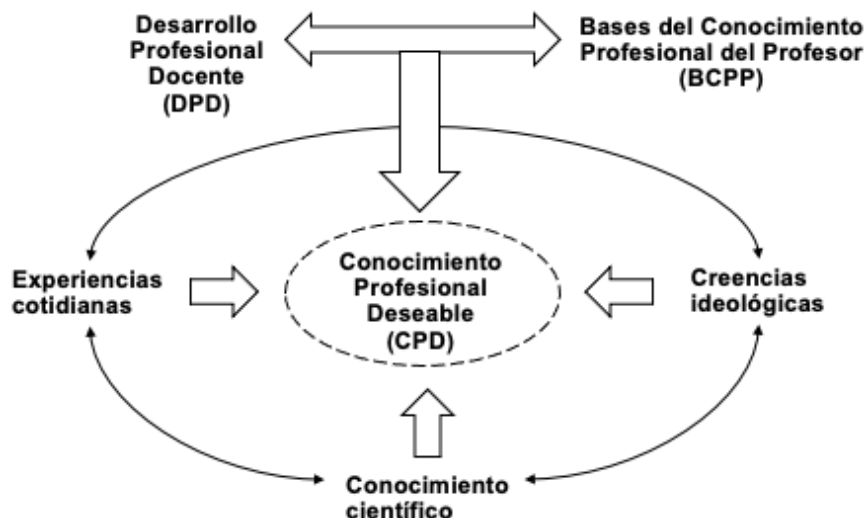
### **II.4.1 Obstáculos vinculados al Desarrollo Profesional Docente**

El Desarrollo Profesional Docente (DPD, en adelante) es descrito por Vázquez-Bernal et al. (2010a) como el saber que integra a la teoría como a la experiencia práctica, en una epistemología singular bajo un marco interpretativo específico. A su vez, engloba el conocimiento del profesor, no solo de los contenidos a enseñar, también a la didáctica, a través no solo de lo que le fue enseñado en su formación, sino, de lo aprendido en su experiencia profesional, así como, del intercambio con otros profesores, estudiantes y de su propia experiencia.

El DPD esta intrínsecamente relacionado al Conocimiento Profesional Deseable (CPD, en adelante) de los profesores, mismo que abarca diversos saberes, como el propio, el de los alumnos, el de las disciplinas y el de los libros de texto (Porlán et al., 1996). De ahí que estos se puedan asociar a las BCPP expuestas por Gess-Newsome (2015), junto con las experiencias cotidianas, el conocimiento científico y las creencias ideológicas de los profesores, de forma tal que están vinculadas entre sí, al mismo tiempo que conforman el CPD de estos. En la figura II.9 se puede observar la vinculación entre todos estos elementos:

**Figura II.9**

Vinculación entre DPD, BCPP y CPD



*Nota:* A partir lo expuesto en *Fuentes del conocimiento profesional deseable*, Porlán et al. (1996) y la integración de BCPP, Gess-Newsome (2015).

*Fuente:* Elaboración propia.

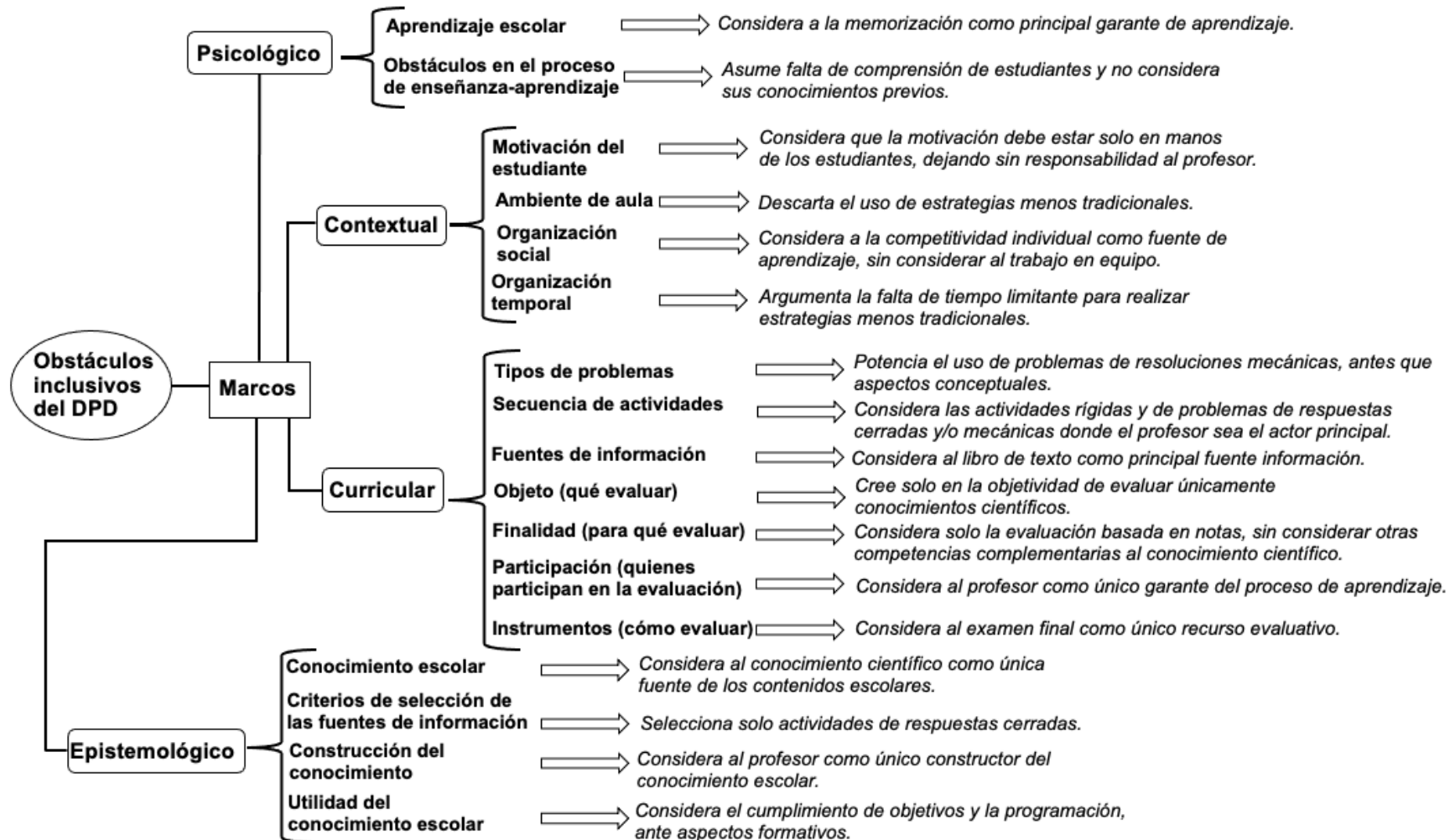
Por otro lado, a través del tiempo van apareciendo obstáculos en el DPD, definidos como las creencias y los conocimientos prácticos personales estables y consolidados en la actividad profesional, resistentes al cambio (Vázquez-Bernal et al., 2010a) y son asociados a diversos factores, como la interacción con colegas, estudiantes y demás integrantes del contexto educativo. Jiménez-Pérez y Wamba (2003) agregan que son concepciones tanto sociales y culturales que se encuentran en los diversos contextos de aprendizaje en los que está inmerso el profesor.

En todo caso los obstáculos vinculados al DPD, tanto los de carácter didáctico, como los referentes al contenido del área del conocimiento, no deben considerarse como aspectos negativos, sino, más bien como elementos que, al identificarse, en el contexto particular de cada profesor, pueden ser indicadores de aprendizaje y mejora para el mismo. Vázquez-Bernal et al. (2010a) plantean seis marcos analíticos para clasificarlos, que son el ideológico y formativo, considerados por ellos como exclusivos, ya que están inmersos al contexto propio de la reflexión

y los inclusivos conformados por el psicológico, contextual, epistemológico y curricular, que son los repercuten en la práctica de aula. En la figura II.10 se puede apreciar con más detalle en que consisten los obstáculos inclusivos del DPD:

Figura II.10

Obstáculos inclusivos del DPD



Nota: A partir de *Fundamentación teórica de los obstáculos*, Vázquez-Bernal et al. (2010a).

Fuente: Elaboración propia.

La manera en que los profesores presentan y abordan estos obstáculos a partir de sus declaraciones, junto con la Hipótesis de la Complejidad y sus tres dimensiones serán los aspectos para describir el CDC que presentan en la enseñanza de la Ley de Ohm.

#### **II.4.2 Hipótesis de la Complejidad y sus tres dimensiones**

La Hipótesis de la Complejidad (HC, en adelante), puede asociarse a los obstáculos del DPD, ya que esta se ampara en los modelos de enseñanza que se centralizan en el profesor, y que es pensada como la transformación en la capacidad de interacción, por medio de la reflexión y práctica en el aula, bajo un enfoque constructivista, que altera aspectos ideológicos, formativos, contextuales, epistemológicos y curriculares (Vázquez-Bernal et al., 2006; Vázquez-Bernal et al., 2010b).

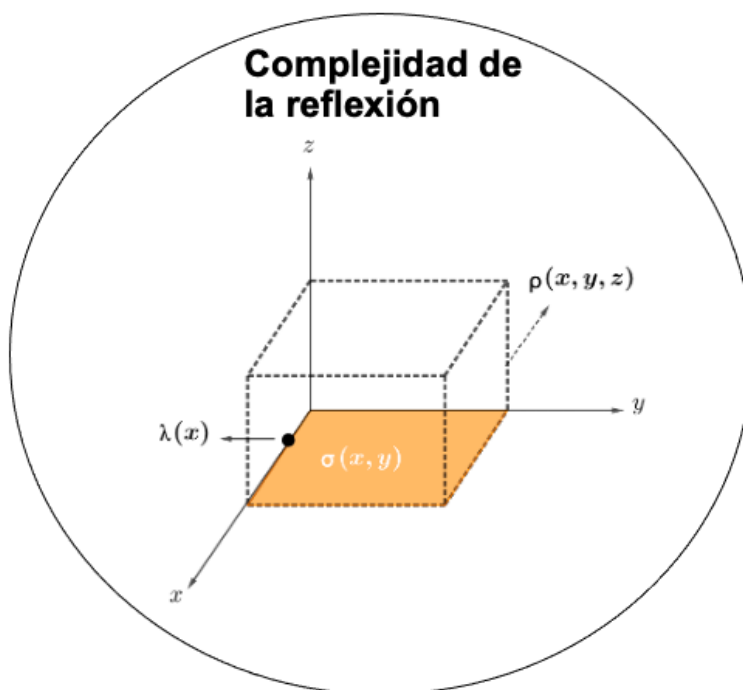
Esta compuesta por tres dimensiones que se desarrollan tanto en la reflexión (como se van a implementar en el aula) como en la práctica (cuando ya se implementan en el aula), la primera dimensión es la técnica descrita como unidimensional ( $\lambda$ ), que hace uso de problemas cerrados y rutinarios, luego esta la dimensión práctica, que es bidimensional ( $\sigma$ ), con problemas abiertos, o mejor dicho una coexistencia de problemas cerrados y abiertos, donde la resolución de estos, invitando a la reflexión. Por último, la dimensión crítica ( $\rho$ ), tridimensional, en esta, los problemas prácticos se vuelven más complejos, convirtiéndolos a un nivel de investigación del entorno socio-natural, ya que proponen una mayor reflexión, revisión de pensamientos e ideas entre pares o de forma individual (Vázquez-Bernal et al., 2006; 2010b).

Cada salto en la dimensión se vuelve más complejo, añadiendo una complejidad creciente en los procesos (Vázquez-Bernal et al., 2009) y es necesaria la integración entre la calidad de reflexión en los profesores, como generador de conocimiento y práctica de aula, que resulta en un grado de complejidad en el conocimiento profesional, según destacan Vázquez-Bernal et al. (2006).

En la figura II.11 se ilustra un modelado de cada una de estas dimensiones, y su cobertura de en el espacio que va desde el 1D hasta el 3D, dando a entender el nivel de complejidad que cada una abarca. Al mismo tiempo que una mayor cantidad de grados de libertad ofrecen mayor espectro para ampliar el desarrollo profesional de los profesores.

### Figura II.11

*Representación de la Hipótesis de la Complejidad y sus dimensiones*



*Nota:* Transición de un punto (1D), un plano (2D) y un paralelepípedo (3D), que representan respectivamente a las dimensiones técnica ( $\lambda$ ), práctica ( $\sigma$ ) y crítica ( $\rho$ ).

*Fuente:* Elaboración propia.

El análisis de la reflexión sobre la enseñanza, es decir en los momentos previos al desarrollo de los contenidos con los estudiantes en clase, donde cada profesor reflexiona las diversas maneras en que los ha desarrollado o desarrollará, las estrategias didácticas que ha implementado o usará en el momento de la práctica, entre otros; serán obtenidos mediante la recolección del CDC por medio de una entrevista semiestructurada, como instrumento de primer orden.

## **CAPÍTULO III**

### **Marco metodológico**

#### **III.1 Introducción**

A continuación, se describe y explica la fundamentación metodológica de la investigación, cuya línea de investigativa es la cualitativa, a partir de un estudio de caso. De la misma forma, se exponen a los participantes involucrados, dos profesores de Física y características de su contexto educativo. Además, de presentar la ruta metodológica utilizada, describir las formas de recolección de CDC, junto con la definición y conformación de los instrumentos de recolección de información utilizados, como la entrevista semiestructurada.

#### **III.2 Fundamentación de la metodología**

En esta sección, se describen los principales aspectos asociados a la metodología de la investigación, como su fundamentación basada en un estudio de caso, además, del contexto en que se desarrolló, entre otros detalles.

##### **III.2.1 Investigación a partir de un estudio de caso**

Esta investigación siguió una línea cualitativa, mediante un estudio caso, bajo el paradigma de la complejidad evolutiva, ya que admite una visión y percepción en evolución, abarcando un nivel de razonamiento complejo que se convierte en madurez personal y social, a partir de la consideración sobre la acción y diversos cambios presentes en la formación de los profesores (de la Herrán, 2003).

La mayor parte de las investigaciones sobre el CDC han sido de carácter descriptivo, como los estudios de casos (Fernández y Fernandes de Goes, 2014). De ahí, que se pueda profundizar más en el pensamiento y acción de un número reducido de personas, mediante un estudio de caso, manifiesta Melo (2015).



Stake (2005) señala a un caso como algo específico que sigue patrones de conducta consistentes y secuenciales, es una entidad objeto de indagación. Además, Ponce (2018) argumenta que un caso opera como una entidad en proceso de observación y, por tanto, susceptible de ser problematizada conceptualmente. Mientras que López (2013), argumenta que:

En un estudio de caso, un investigador conoce una realidad, un caso, acercándose a esa según conveniencia o siendo informado *off-line* desde ella, independientemente de si se sigue una postura positivista o interpretativa. (p. 140)

De acuerdo con este autor, los estudios de casos presentan diversas variaciones dependiendo de las siguientes variables:

- Cantidad de casos (simple o múltiple).
- Unidades de análisis (holístico o detallado).
- Objetivo de la investigación (descriptiva, demostrativa y generativa).
- Temporalidad (diacrónica y sincrónica).

Esta investigación se enmarca en un caso múltiple (uno por docente), manejando un análisis holístico, con un objetivo descriptivo, en el que se destacan las reflexiones expresadas por los docentes, de manera sincrónica, al tratarse de un fenómeno en que se está en un determinado momento, prescindiendo de su evolución temporal. Con el fin de determinar ¿cuál es el CDC de dos profesores de Física de Secundaria en la enseñanza de la ley de Ohm?, a partir de las reflexiones de dos docentes, siendo el CDC el objeto de esta investigación, enfocado en el contenido curricular de la Ley de Ohm. Dado que estuvo plasmado dentro del estudio de los dos casos, uno para cada docente.

### **III.2.2 Participantes y su contexto educativo**

Los profesores que participaron en este estudio de caso fueron una profesora de Física de 39 años, que cuenta con Bachillerato en Enseñanza de las Ciencias Naturales y con una Maestría

en Tecnología Educativa y que cursa una Licenciatura en Enseñanza de la Física, posee una experiencia en el campo de la enseñanza de entre 6 a 10 años. Además de tener un dominio del idioma inglés, curso sus estudios de enseñanza primaria y secundaria académica en el sistema de educación pública. Así como un profesor de Física de 26 años, físico con grado de Maestría, además, cursa una Licenciatura en Docencia, con experiencia docente de entre 1 a 5 años.

Asimismo, este profesor cuenta con un dominio del idioma inglés, tanto su educación primaria, como los tres primeros años de educación secundaria, los curso en la modalidad de educación privada, mientras que los dos últimos años los concluyo en un colegio científico, perteneciente al Sistema Nacional de Colegios Científicos de Costa Rica. Ambos tienen en común, además de su manejo del idioma inglés, que ejercen la enseñanza de la Física tanto en el contexto de educación secundaria como en el de educación universitaria, impartiendo cursos de teoría y laboratorio.

En este particular, los dos profesores imparten la asignatura de Física, la profesora imparte un curso con un enfoque más dirigido a la experimentación (desarrollo de laboratorios), mientras que el profesor con un planteamiento teórico, ambos siguiendo los lineamientos de la institución educativa, que es pública, de enseñanza media, modalidad diurna y presencial, aunque por motivos de la pandemia han optado por clases tanto virtuales como mixtas, es decir presenciales y virtuales, en función de los requerimientos dispuestos tanto del Ministerio de Salud, como de el MEP.

La institución pertenece al Sistema Nacional de Colegios Científicos de Costa Rica, los cuales tienen como objetivo principal el fomento a un nivel preuniversitario de las asignaturas que imparte, potenciando en mayor medida a la Biología, Química, Física y Matemática. La misma se encuentra ubicada en la Gran Área Metropolitana, en la provincia de San José, Costa Rica; y al igual que todos los demás colegios científicos que pertenecen a este sistema es de carácter público.

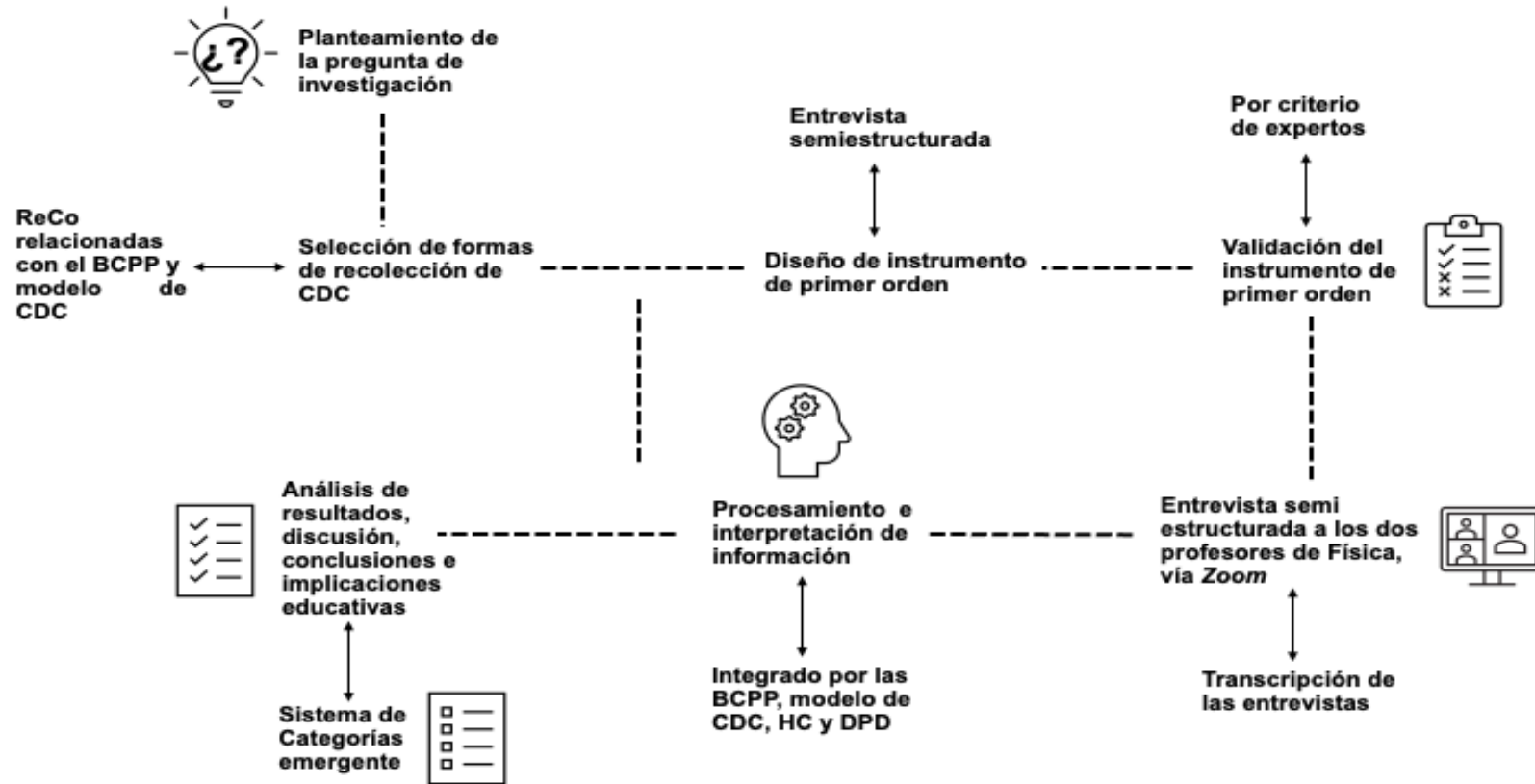
El CDC de ambos profesores fue obtenido a partir de la reflexión en el contexto del nivel de undécimo año, que es donde se desarrolla el contenido de Ley de Ohm, como se mostró en la tabla II.1. La población como la muestra corresponden a estos dos docentes de Física, tratándose de una muestra no probabilística, ya que en esta la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra (Hernández Sampieri et al., 2014).

### **III.2.3 Ruta metodológica**

El proceso de esta investigación comenzó con el planteamiento de la pregunta de investigación y posteriormente con la selección de las formas de recolección del CDC de los dos profesores de Física. Posteriormente, se dio el diseño del instrumento de primer orden, correspondiente a la entrevista semiestructurada y su respectiva validación, a través del criterio de expertos, para luego su respectiva ejecución, de forma separada con cada uno de los profesores de forma telemática vía *Zoom*. Después, se realizó la respectiva transcripción de ambas entrevistas, así como el procesamiento de la información y su respectivo análisis, para generar las conclusiones y demás insumos, como se resume en la figura III.1:

Figura III.1:

Procesos de la investigación



*Nota:* A partir de los principales procesos desarrollados en la investigación.

*Fuente:* Elaboración propia.

### III.2.4 Formas de recolección del CDC

La captura y registro del CDC es compleja debido a que los docentes difícilmente hacen explícitas sus intenciones, organizaciones y concepciones a la hora de enseñar y sobre todo su conocimiento de la práctica no explícita (Loughran et al., 2000; Machado et al., 2013).

Existen dos herramientas, que se relacionan entre sí, diseñados para documentar el CDC de los docentes de ciencias, una es PaP-eRs (*Pedagogical and Professional experience Repertoires*) o Repertorios de experiencia Profesional y Didáctica (ReEpd, en adelante) y la otra es CoRe (*Content Representation*) o Representaciones de Contenido (ReCo, en adelante), ambas diseñadas por Loughran et al. (2004), estas permiten comparar lo que los docentes conocen y creen acerca de los contenidos más importantes a enseñar y lo que ellos reflexionan en sus historias narrativas de lo hecho en sus aulas (Mora y Parga, 2008).

Mora y Parga (2008) también describen a las ReEpd como:

La evaluación narrativa del CDC de un profesor que resalta un aspecto del contenido de las ciencias que ha sido enseñado en relación con lo propuesto en la ReCo y que en ciertos casos puede ser colectiva entre varios docentes. (pp. 66-67).

Mientras que Acevedo (2008), define a las ReCo como

Una generalización de las respuestas del profesorado que dan una visión global, expresada en forma de proposiciones, acerca del modo en que los profesores enfocan la enseñanza de un tema y las razones respecto a por qué lo hacen así; esto es, sobre qué contenido van a impartir, cómo lo van a hacer y por qué lo van a hacer de ese modo. (p. 31).

Para el desarrollo del CDC tanto de profesores en formación, con escasa experiencia o expertos, que requieren de la comprensión del proceso de enseñanza para modificarlo y adaptarlo a diferentes contextos, las ReCo son muy versátiles, ya que por medio de estas Machado et. al (2013) indican que se

Documentan ideas centrales aplicadas durante la enseñanza, los objetivos que persiguen

los profesores, el conocimiento de las concepciones alternativas de los alumnos y sus dificultades de aprendizaje, la secuenciación apropiada de tópicos, el empleo correcto de las analogías y ejemplos; las formas de abordar el entramado de ideas centrales, experimentos, problemas y proyectos que el profesor emplea durante su clase y las formas ingeniosas de evaluar la comprensión, entre otras. (p. 2065).

Por ejemplo, para el tema de la “derivada de una función de una variable”, Machado et. al (2013), plantean un modelo de ReCo, basado en ideas centrales, como “la derivada es un límite”, pregunta: ¿qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?, respuesta: que reconozcan la importancia del concepto de límite de una función. Por otro lado, para el tópico de “materia” en Química, estos mismos autores mencionan que con una idea central como “es posible distinguir entre distintos tipos de mezclas y sustancias”, el planteamiento de una pregunta como: ¿Qué dificultades y limitaciones están conectadas con su enseñanza?, y una respuesta a esta como: Abstracción de conceptos. Ideas previas. Comprensión de lo que se ve.

De ahí que, esta forma de recolección de información es útil para obtener el CDC de los profesores a partir de su reflexión y declaración, a través de sus respuestas a preguntas en torno a un tópico particular, la Ley de Ohm; abarcando aspectos como conocimiento curricular, sobre las ideas de estudiantes, estrategias de enseñanza, concepciones de enseñanza y evaluación.

### **III.3 Instrumentos para recolección de información**

A continuación, se presenta la forma en que se definió el instrumento de primer orden utilizado en esta investigación, así como, características de investigaciones similares. Además, de la conformación del instrumento y diversos aspectos asociados a su validación.

#### **III.3.1 Definición del instrumento de primer orden**

Para obtener la información a partir de la reflexión de los profesores se utilizó la entrevista semiestructurada como fuente de información principal, es decir, es el instrumento de primer orden. De manera que, para su elaboración las preguntas fueron basadas en el modelo ReCo,

vinculadas a su vez a las BCPP, ya que esta herramienta es muy utilizada en las investigaciones para determinar el CDC resaltan este tipo de instrumentos, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla III.1**

*Algunas investigaciones y sus respectivos instrumentos de recolección sobre CDC*

Autor(es)	Instrumentos para obtener el CDC	Muestra
Vázquez-Bernal et al. (2019).	Diarios, cuestionario de concepciones iniciales declaradas, entrevista semiabierta, sistemas de categorías.	Una profesora de Biología y Geología en ejercicio.
Melo y Cañada (2018).	Cuestionario de preguntas abiertas, plantilla para planificaciones, ReCo, entrevistas semiestructuradas y diarios de campos.	Dos docentes de Física en ejercicio.
Melo et al. (2018)	ReCo	21 docentes de Física en formación
Rivero et al. (2017).	Sistema de categorías.	347 maestros de primaria en formación
Machado et al. (2013).	ReCo	Varios docentes de Química en ejercicio y formación.
Melo et al. (2013)	Cuestionario de preguntas abiertas, material curricular utilizado por los profesores, planificación del profesor sobre las unidades de contenidos que desarrollaban, ReCo, entrevistas semiestructuradas y grabaciones de clase.	Tres profesores de Física en ejercicio.

*Nota:* A partir de la revisión de diversas publicaciones sobre CDC.

*Fuente:* Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, diferentes instrumentos, sobresaliendo el uso de las ReCo y la entrevista semiestructurada son habituales para obtención del CDC en los docentes.

De ahí que, para esta investigación, se seleccionará a este tipo instrumento para la recolección y análisis de la información.

### **III.3.1 Entrevista semiestructurada como instrumento de primer orden**

Para determinar cuál es el CDC personal de los dos profesores de Física sobre la Ley de Ohm, se utilizaron preguntas basadas en la ReCo, que se asociaron a las BCPP de Gess-Newsome (2015), a través de una entrevista semiestructurada (ver apéndice 1). Por lo cual, las preguntas estuvieron compuestas de diferentes ideas, de las que se obtuvieron reflexiones explícitas, sobre el quehacer al momento de diseñar, planear las lecciones, las percepciones de sus estudiantes, entre otros detalles referentes al momento planear y desarrollar este tópico.

Para el diseño de estas preguntas se consideró una estructura similar a las planteadas por Mora y Parga (2008):

- ¿Qué intenta que aprendan sus estudiantes sobre esta idea?
- ¿Por qué es importante que los estudiantes sepan esto?
- ¿Qué cree que le faltaría saber a los estudiantes sobre esta idea?
- ¿Qué procedimientos o estrategias de enseñanza emplea para que los estudiantes se comprometan con esta idea?

La entrevista se realizó a cada docente por separado, por medio de video llamada, a través de Zoom, y se les explicó y suministró un documento de consentimiento informado (ver apéndice 2), el cual fue firmado por ellos y a la vez se les suministró una copia de este.

#### ***II.3.1.1 Conformación del instrumento de primer orden***

La entrevista semiestructurada, está conformada por preguntas explícitas que aseguran la claridad y que capturan la mayor información de los entrevistados a partir de la reflexión que estos realicen, además se basa en lo que describen Hernández Sampieri et al. (2014):



En una guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener más información sobre los temas deseados, es decir, no todas las preguntas están predeterminadas (p. 418).

De manera que, se obtuvieron las reflexiones de los docentes, en el marco del modelo de conocimiento profesional del profesorado propuesto por Gess-Newsome (2015). En la tabla III.2 se muestran las preguntas y su distribución respecto a las ReCo vinculadas con las BCPP:

**Tabla III.2**

*Distribución de preguntas basadas en las ReCo asociadas a las BCPP*

BCPP	ReCo
Conocimiento del contenido	En su opinión, ¿qué situación problemática explica o resuelve la Ley de Ohm?, ¿qué estudia la Ley de Ohm?
	¿De qué variables depende la ley de Ohm, cómo se relacionan estas variables y cuál es la forma de la dependencia entre las ellas?
	¿Cuál es la secuencia didáctica que utiliza habitualmente para la enseñanza de la Ley de Ohm?, descríbala.
	¿Qué otras estrategias o recursos se podrían diseñar o implementar para enseñar sobre Ley de Ohm? ¿por qué?
	¿Qué dificultades o limitaciones enfrenta usted como docente cuando enseña la Ley de Ohm?
	¿Existe otro factor que influya en la enseñanza y el aprendizaje sobre la Ley de Ohm? Explíquelo.
Conocimiento didáctico	¿Qué habilidades espera que los estudiantes desarrollen cuando usted enseña la Ley de Ohm?
	¿Por qué es importante que los estudiantes aprendan sobre la Ley de Ohm?
	¿Cómo inicia la primera clase sobre la Ley de Ohm, con preguntas o situaciones problemáticas, muestra relaciones con la historia y naturaleza de la ciencia y/o relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad?
	¿Cuál es el rol del profesor y del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje y evaluación de la Ley de Ohm?
Conocimiento curricular	¿Qué recursos y/o referencias bibliográficas utiliza y/o utilizará al momento de planificar la clase y explicar el contenido Ley de Ohm?
	¿Con cuáles otros contenidos de Física se relaciona la Ley de Ohm? ¿Dependen de esta, para su explicación y aprendizaje?

*Nota:* El guión de la entrevista que fue aplicado se puede observar en el apéndice 1.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla III. 2 (continuación)**

*Distribución de preguntas basadas en las ReCo asociadas a las BCPP*

BCPP	ReCo
Conocimiento de los estudiantes	¿Qué dificultades presentan los estudiantes a la hora de trabajar la Ley de Ohm?
	¿Qué conoce acerca de las ideas previas o alternativas de los estudiantes sobre la Ley de Ohm? ¿Consulta las revistas de Didáctica de las Ciencias para informarse científicamente sobre esas ideas? ¿Utiliza esas ideas como punto de partida para hacerlas progresar a través de una secuencia de actividades?
	¿Qué estrategias lleva a cabo y/o considerará implementar en la práctica para fortalecer el clima de clase con sus estudiantes?
Conocimiento de la evaluación	¿Considera las emociones de los estudiantes en la mediación pedagógica?
	¿De qué manera y con qué instrumentos evalúa y/o evaluará el contenido Ley de Ohm? ¿A qué formas de evaluación (cualitativas y/o cuantitativas) han respondido los estudiantes de manera favorable o desfavorable en cuanto a sus resultados de aprendizaje?

*Nota:* El guión de la entrevista que fue aplicado se puede observar en el apéndice 1.

*Fuente:* Elaboración propia.

Aunado a la conversación durante la entrevista y otras preguntas adicionales, como por el ejemplo el abordaje de sus lecciones, debido al cambio de la modalidad presencial a la virtual por causa de la pandemia asociada a la COVID-19.

### **II.3.1.2 Validación del instrumento de primer orden**

La entrevista semiestructurada fue validada a través del criterio experto de 8 investigadores en los campos de Didáctica de las Ciencias, Física y la enseñanza de la Física, procedentes de Costa Rica, España, Chile y Colombia, mismos que se describen en la tabla III.3:

**Tabla III.3***Expertos que validaron el instrumento de primer orden*

Nombre del experto	Especialidad	Dependencia académica/laboral	Carta de validación
Dr. Bartolomé Vázquez Bernal	Didáctica de las Ciencias Experimentales	Universidad de Huelva, España	Apéndice 7
Dr. Antonio Alejandro Lorca Marín	Didáctica de las Ciencias Experimentales	Universidad de Huelva, España	Apéndice 8
Dra. Linda Silva Arias	Didáctica de las Ciencias Experimentales	Universidad de Talca, Chile	Apéndice 9
Dr. Carlos Becerra Labra	Didáctica de las Ciencias Experimentales	Universidad de Talca, Chile	Apéndice 10
Dr. Elías Francisco Amórtegui Cedeño	Didáctica de las Ciencias Experimentales	Universidad Surcolombiana, Colombia	Apéndice 11
Lic. Gustavo De Lemos Morales	Física y enseñanza de la Física	Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica	Apéndice 12
Dr. Herberth Morales Ríos	Física y enseñanza de la Física	Universidad de Costa Rica, Costa Rica	Apéndice 13
Dr. rer. nat. Francisco Frutos Alfaro	Física y enseñanza de la Física	Universidad de Costa Rica, Costa Rica	Apéndice 14

*Nota:* Basada en las especialidades y filiaciones académicas de los expertos que validaron el instrumento de primer orden.

*Fuente:* Elaboración propia.

Fueron contactados a través de correo de electrónico y se les suministró la siguiente documentación:

- Breve descripción de la investigación (ver apéndice 3), en el cual se detalló el nombre de la investigación, la razón académica y sus respectivos objetivos.

- Guión de entrevista semiestructurada (ver apéndice 4), el cual detallan aspectos como el título del trabajo, nombre del estudiante, nombre del director de TFG, el propósito de la entrevista, otros espacios de índole administrativo y por supuesto las preguntas a realizar.
- Plantilla de cartas de validación (ver apéndices 5 y 6), las cuales fueron llenadas por cada uno de los expertos validadores.

Las validaciones de cada uno de estos expertos pueden verse en los apéndices del 7 al 14 y sus recomendaciones fueron analizadas, valoradas e implementadas en las preguntas anteriores, como se muestra en el apéndice 1. Algunas de las recomendaciones u observaciones de los especialistas consultados fueron:

- Las preguntas son precisas, dejando visibilizar un hilo conductor adecuado al tema, permitiendo así una exploración del CDC sobre la Ley de Ohm declarado por el profesorado.
- Tomar en cuenta que se vive un proceso educativo a distancia por la COVID19 y depende de cuando sea aplicado este instrumento, el formato de algunas interrogantes tienen que modelarse en función de la metodología a distancia en sustitución de la presencialidad.

Estas y otras consideraciones se implementaron y se pueden apreciar en el apéndice 1, así como en el desarrollo de las entrevistas, ya que la entrevista semiestructurada es menos rigurosa. Como lo mencionan Ñaupas et al. (2013) permite al entrevistador introducir algunas preguntas para esclarecer vacíos en la información.

## CAPÍTULO IV

### Análisis de resultados en los casos de los dos profesores de Física

#### IV.1 Introducción

A continuación, se exponen y analizan los resultados obtenidos por medio de las entrevistas semiestructuradas, donde se plasman las experiencias y opiniones de dos profesores de Física de enseñanza secundaria. Asimismo, sus declaraciones se clasificaron con el modelo de CDC de Gess-Newsome (2015), de forma tal, que se fueron vinculando e interpretando con las dimensiones técnica ( $\lambda$ ), práctica ( $\sigma$ ) y crítica ( $\rho$ ) de la HC definidas por Vázquez-Bernal et al. (2006, 2010b).

La única dimensión ausente fue la técnica ( $\lambda$ ), ya que, basándose en las manifestaciones de ambos profesores, presentan una tendencia entre la práctica ( $\sigma$ ) y crítica ( $\rho$ ).

#### IV.2 Resultados a partir de las declaraciones de la profesora

En lo siguiente se expondrá parte de lo declarado por la profesora de Física, en respuesta a las preguntas generadas a partir de las ReCo, vinculadas con las BCPP expuestas en la tabla III.2. De igual forma, la asociación de sus manifestaciones con las dimensiones de la HC, así como una representación de su modelo CDC, según lo expuesto por Gess-Newsome (2015).

##### IV.2.1 Conocimiento Profesional del Tópico Específico (CPTE) de la profesora de Física

###### IV.2.1.1 Estrategias de enseñanza y representaciones del contenido

La profesora de Física indica en esta sección que hace uso de una simulación digital de *PhET*, llamada “Ley de Ohm” y equipo de laboratorio como recursos y estrategias de enseñanza para desarrollar el CPTE, según como ella lo expresa en la entrevista semiestructurada realizada:

[...] doy de la parte experimental. Usualmente la manera en que se trabaja con el grupo, asumiendo que tienen ese conocimiento previo de la teoría, es con una animación o simulación, que es más simulación, porque en realidad ellos pueden interactuar con las variables [...].

### **Figura IV.1**

*Simulación PhET: Ley de Ohm*



*Nota:* Simulación *PhET* mencionada por la profesora, se puede acceder también a través de [https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_es.html).

También menciona que hace uso de equipo de laboratorio de Física:

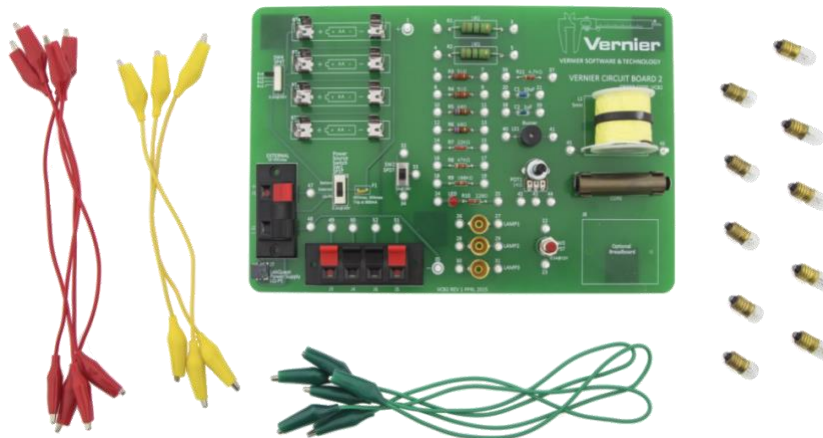
[...] Una segunda estrategia didáctica, que se ha podido trabajar o que he tenido la oportunidad de trabajar con los estudiantes, ha sido con manipulación de equipo, es decir, ellos sí han podido tener una plantilla, en donde se tienen ciertas resistencias conectadas o integradas a esta, han podido manipular una fuente de poder [...].

[...] Simplemente es más entretenida, en tener objetos que manipular y conectar, entonces, ellos pueden entender que el modelo que ven en la teoría es eso, una aproximación y que cuando miden, pueden ver esas diferencias que se observan a la hora de manipular equipo, donde hay cierto margen de error en las mediciones, etc. [...].

En la figura IV.2 se muestra la plantilla de circuitos que indica la profesora:

### Figura IV.2

*Plantilla de circuitos (equipo de laboratorio)*



*Nota:* Plantilla o equipo de laboratorio mencionado por la profesora.

Fuente: <https://bit.ly/3njWJMK>

Lo anterior coloca a la profesora dentro de la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que, al hacer uso de estas estrategias, potencia la comprensión y comportamiento las variables que representan a la Ley de Ohm a nivel experimental. Además, promueve la participación de los estudiantes, a través del uso de la simulación expuesta en la figura IV.1; como del uso del equipo de laboratorio, mostrado en la figura IV.2. Asimismo, potencia la motivación del estudiante, ya que por la naturaleza del curso de Física que imparte, fomenta que los estudiantes manipulen el equipo de laboratorio, conecten y desconecten componentes, con su guía, pero dándoles la libertad, para que sientan que no están al margen de la experiencia.

#### **IV.2.1.2 Comprensión del estudiante**

La profesora manifiesta que al usar la simulación “Ley de Ohm” los estudiantes van a adquirir una comprensión cualitativa sobre el tema:

[...] la simulación si te permite hacer una aproximación más cualitativa, en donde no se mide directamente, cuanto es el valor que esta dando y poder hacer pares ordenados y eso, pero si puedes

ver de forma gráfica que el aumento de una letra que representa algo o el que disminuya, el que se vean del mismo tamaño, es una manera de apartar un poco las matemáticas, que algunos de entrada, y ¡hay que tener cuidado con eso!, porque algunos de entrada oyen que la pendiente, que la ecuación lineal y una vez dicen, ¡eso es de mate, ya no entendí!. Entonces esa otra simulación sirve para poder de forma cualitativa entender el fenómeno sin acercarse de entrada esas matemáticas que pueden resultar en alguna forma, en un margen de la población, en un rechazo [...].

Además, indica que la capacidad de abstracción de los estudiantes repercute en el aprendizaje sobre la Ley de Ohm:

[...] De entrada para ellos todo es abstracto, todo es imaginario, porque no puedo decirles, imagínense dos resistencias, lo que se imaginarían es totalmente distinto, o imagínense a los electrones pasando, entiendo que nosotros a simple vista no podemos verlo y que si vamos a tener que recurrir a un modelo para poder hacer una comparación [...].

Ambas declaraciones se ubican dentro de la dimensión práctica ( $\sigma$ ) porque la profesora desarrolla actividades que permiten a los estudiantes ir más allá de un cálculo numérico, a través de su conocimiento conceptual y capacidad de abstracción, con el uso de herramientas didácticas, como la simulación. En consecuencia, la implementación de estas estrategias permite a los estudiantes conceptualizar las variables asociadas la Ley de Ohm, como la corriente, voltaje y resistencia; además de que comprendan la interacción entre ellas y cómo se da el movimiento de las cargas eléctricas a través de un conductor eléctrico.



## IV.2.2 Amplificadores y filtros de los profesores

### IV.2.2.1 Creencias, orientaciones y conocimientos previos

En esta subcategoría la profesora indica que, al hacer uso de la simulación, los estudiantes no desarrollarán la parte kinestésica, esto en cuanto a la situación de la virtualidad asociada a la pandemia por la COVID-19:

[...] la simulación si usted tiene la computadora, si tiene el recurso de Internet, es una opción. Asimismo, si yo como docente cuento con esto, debo entender que va a ser una demostración, no va a haber una parte kinestésica del estudiante [...].

Esta situación se coloca dentro de la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que la profesora manifiesta preocupación de que los estudiantes no desarrollarán destrezas kinestésicas de motora fina. De ahí que, considera el uso de la simulación también, como algo demostrativo, y de que no puede ser utilizado todo el tiempo, que debe haber un equilibrio entre usar simulaciones y equipo de laboratorio, para así armar circuitos eléctricos y potenciar esas destrezas, pero que en el contexto de clases virtuales se pierde parcialmente.

La profesora considera que la formación que reciban desde la universidad, así como la experiencia profesional de los docentes en la universidad, en cuanto a la manipulación de equipo de laboratorio y sensores incide en la enseñanza de la Ley de Ohm:

[...] al menos, uno pasó, bueno, yo pasé por Física 3 y el laboratorio de Física 3; en el plan que había, ya que se esta reestructurando la carrera de Enseñanza de las Ciencias (carrera en UCR), ¿y los otros colegas que no pasaron por Física 3 y el laboratorio de la 3?, sino que ese curso dividía en 1 y 2, que, si ven todas las partes eléctricas, pues ya ahí, no me consta a mí, si usaron o no la *protoboard* porque yo no los lleve. Entonces hasta eso, la formación en general que puedan tener otros docentes, en la parte

de eléctrica, no sé, si tuvieron el chance de usar una *protoboard*, si tuvieron el chance de usar sensores [...].

En este sentido, se destaca la dimensión práctica ( $\sigma$ ), debido a que la profesora resalta la formación y experiencia que posean los profesores en el uso de equipo laboratorio, podría incidir en su práctica profesional, en el sentido de que un profesor con experiencia en instrumental de laboratorio podría desarrollar clases con dinámicas nuevas, en las cuales los estudiantes tengan roles más activos.

#### **IV.2.2.2 Contexto del profesor**

También la profesora considera que tiene un rol de acompañamiento en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes:

[...] se ha tenido una guía de trabajo, mi rol siempre ha sido más de acompañamiento donde se les da ciertas pautas a seguir y se le permite que el estudiante en ese rol sea más activo, en el sentido que toma una guía y va haciendo, va a su ritmo [...].

Estando presente la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que de esta manera la profesora, se preocupa por observar el desempeño de los estudiantes y ayuda a los que presentan problemas, con el armado de los circuitos o la manipulación del equipo de laboratorio, así como dudas particulares que tengan en ese momento, convirtiéndola en una facilitadora durante el proceso, como ella misma describe:

[...] me permite a mí darle un poco más de acompañamiento, que tal vez tiene un poco más de temor a que si conecto esto, porque incluso eso es algo que hay que vencer, no solo a nivel de secundaria [...].

Otro detalle que menciona la profesora es que hace uso de libros de texto que se enfoquen más en lo conceptual:

[...] Lo que suelo utilizar con esta población en general, son varios textos para encontrar el balance, dependiendo de la población, el

nivel en el que están y cual es su contexto, mi contexto de población, es una población a la cual se le puede exigir un poco más, en general, han tenido un poco más de conocimientos previos en muchas áreas [...].

**También asevera:**

[...] si es uno de fundamentos de Física, pero conceptual. Debido a que tiene poca matemática, muy poca, matemática básica, es decir, que puedan despejar, por ejemplo, despejar el " $F = ma$ " y se centra mucho en entender el problema [...].

Dando cabida a la dimensión práctica ( $\sigma$ ), porque pone en manifiesto el interés de la profesora de que los estudiantes, vayan más allá del simple manejo algebraico de las ecuaciones y los cálculos, sino, que comprendan conceptualmente las variables. Tampoco, se limita al uso de un solo libro como fuente única de información, busca diversas fuentes información para complementar su planeación y desarrollo de clases.

También, indica que ante las dudas que los estudiantes plantean y ella no tiene respuesta inmediata, las aborda y resuelve con ellos:

[...] expresarme con el estudiante, ¡mira, no lo sé, no me lo había preguntado!, y más bien aprovechar, para que sea una pregunta para investigación, que sea una investigación conjunta, que quede pendiente. Por ejemplo, para la siguiente clase, tanto para los estudiantes, como para mí persona, y todos crecer, eso sería la parte positiva, o yo como docente podría, ¡uyy no sé!, tratar de inventarme una respuesta, que no sería lo prudente [...].

Esta declaración esta dentro de la dimensión crítica ( $\rho$ ), ya que la docente avoca a la investigación y reflexión entre ella y los estudiantes, a los problemas que se presentan en el contexto de clase, más allá de respuestas cerradas. De forma tal, que se comunica de forma

asertiva y sincera con los estudiantes, al admitir cuando desconoce de algo que le preguntan y lo convierte más bien en una herramienta de aprendizaje conjunto.

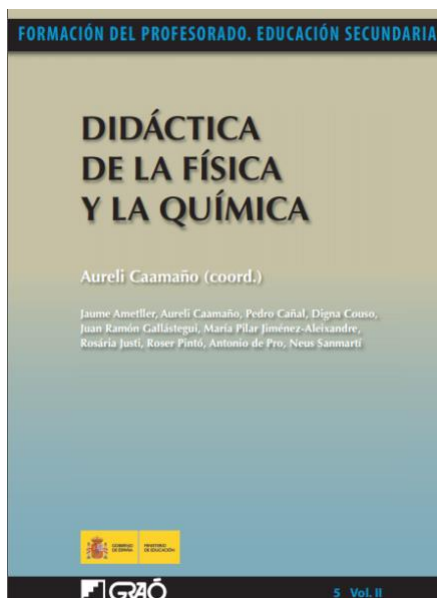
## IV.2.3 Práctica en el aula

### IV.2.3.1 CDC personal

La profesora manifiesta que hace lectura de libros de didáctica de la Física y Química, como el que se muestra en la figura IV.3, que corresponde a la portada del libro de “Didáctica de la Física y la Química” de Aureli Caamaño (2011). Para conocer las experiencias didácticas de otros profesores, en particular en temas de físicas y en uso de equipo de laboratorio.

### Figura IV.3

*Portada de libro Didáctica de la Física y la Química*



[...] ese libro es el de “Didáctica de la Física y Química” de “Aureli Caamaño”, es el que he utilizado, ¡hasta tengo mi copia para poderla rayar y hacer todas mis anotaciones!, hay una sección del libro en que se menciona el uso particular de los sensores [...].

Así como artículos académicos, enfocados en la didáctica y enseñanza de las ciencias, como *Nature of Science, Scientific Inquiry, and Socio-Scientific Issues Arising from Genetics: A*

*Pathway to Developing a Scientifically Literate Citizenry* de Lederman et al. (2014), donde la profesora destaca que, de este artículo en particular, ha repasado y estudiado la diferencia entre ley y teoría, ella resalta:

[...] La Ley de Ohm también es una ley que funciona para poder ejemplificar incluso estas diferencias entre leyes y teorías, y que es muy versátil para poder ver esa diferencia como lo que es Boyle que vi en otro artículo que he estado revisando, han sido varios artículos de este señor "Lederman", donde hace esa diferencia o ha enfatizado qué es importante, ¡el que el estudiante la entienda! [...].

La figura IV.4 es un código QR que da acceso al artículo que indica la profesora en el extracto de la entrevista anterior.

#### **Figura IV.4**

*Artículo mencionado por la profesora de Lederman et al. (2014)*



*Nota:* También se puede acceder mediante el siguiente enlace: <https://bit.ly/3xpWHXW>

Esta declaración representa la dimensión crítica ( $\rho$ ), debido a que la profesora busca mejorar sus conocimientos de didáctica, a través de la lectura, análisis y reflexión de experiencias de otros profesores e investigadores en didáctica de las ciencias, para implementar eventualmente en sus clases. Asimismo, se nutre de ideas para aplicar en sus clases. Sin dejar de mencionar que utiliza estos textos como recurso de información, complementarias al libro de texto de contenido que usa con los estudiantes.

La profesora narra que, en clases presenciales, da un acompañamiento al momento de la experimentación, dando un rol activo a los estudiantes, que siguen unas instrucciones básicas

dadas por ella. Sin embargo, en la virtualidad, confecciona guías de trabajo, como la que se puede apreciar en la figura IV.5, para que estos desarrollen en sus clases virtuales, como cuando hacían uso de la simulación mostrada en la figura IV.1:

### **Figura IV.5**

*Guía de trabajo para desarrollar el tema Ley de Ohm*



*Nota:* También se puede acceder mediante el siguiente enlace: <https://bit.ly/3vgLs22>

Además, expresa:

[...] se ha tenido una guía de trabajo, mi rol siempre ha sido más de acompañamiento donde se les da ciertas pautas a seguir y permitiéndole al estudiante un rol más activo, en el sentido que toma una guía y va haciendo, va a su ritmo, dependiendo de como va la guía, también me permite a mí darle un poco más de acompañamiento, que tal vez tiene un poco más de temor a que si conecto esto, porque incluso eso es algo que hay que vencer, no solo a nivel de secundaria [...].

La dimensión práctica ( $\sigma$ ) es la que se presenta en esta manifestación, porque se da la utilización de preguntas abiertas, de reflexión e indagación, que permiten a los estudiantes ir más allá de solo calcular o anotar datos, como se aprecia en la guía de trabajo de la figura IV.5, al solicitar descripciones del comportamiento de las variables asociadas a la Ley de Ohm, a partir de lo observado en la simulación, desarrollando así las interpretaciones conceptuales. Asimismo, se sale de la tendencia a solicitar que los estudiantes memoricen, evitando así el aprendizaje mecánico; puesto que no plantea solamente problemas de soluciones mecánicas, sino, por el contrario de carácter conceptual y cualitativo.

Además, la profesora declara que cuando va a utilizar equipo de laboratorio como el mostrado en la figura IV.2, hace lectura de los manuales y recomendaciones de los proveedores de esos equipos, y que, además, realiza los cambios que sean necesarios, según lo que señalan los objetivos del programa del curso y de la clase:

[...] En particular con el uso de *Vernier* (marca de un proveedor de equipo de laboratorio) y la implementación con estudiantes, leo las recomendaciones que ha dado el mismo proveedor, me he guiado con el manual que tiene el mismo equipo, porque *Vernier* tiene sus manuales, cuando hablo, en especial con esto de la Ley de Ohm, yo me guíé con el de las sugerencias a profesores y le hago mis adecuaciones, o sea, le hago algunos cambios [...].

Esta situación se asocia con la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que la profesora busca complementar y no quedarse solo, con lo indicado por ese manual del profesor o de usuario, que suministra el proveedor del equipo. Al contrario, realiza las adecuaciones necesarias a sus propias necesidades y realidades de clase.

Otro detalle que menciona la profesora es que considera en el futuro planificar más lecciones donde se involucre el juego a través de herramientas tecnológicas, ella plasma lo siguiente:

[...] He estado pensando en implementar un poco el juego, no como eje central, pero sí en alguna actividad que sea interactiva y en tiempo real, es decir, que ellos puedan hacerla en el momento, desde la computadora o celular, como parte introductoria que yo pueda recibir la información, llámese *Kahoot*, *Educaplay*, que es muy versátil también, con eso sencillo de armar, de compartir, porque si ha costado un poco romper el hielo en cuestión de participación desde la virtualidad [...].

La dimensión práctica ( $\sigma$ ) esta inmersa en el sentido de que la profesora busca actividades flexibles y adaptables para desarrollar en el futuro en su contexto de clase. Considerando, que le permitan promover la participación e interacción entre ella y los estudiantes, en vista de su preocupación, de que en las clases virtuales los estudiantes son menos participativos.

#### **IV.2.3.2 CDC y H**

La profesora resalta que hace uso de situaciones problemáticas para explicar la Ley de Ohm, debido a que el enfoque del curso es más experimental que teórico.

[...] Por la naturaleza de mis clases, que son más enfocadas a la parte experimental, empiezo usualmente con una situación problemática, es decir, esa situación de ¿qué pasa si yo cambio una variable en función de la otra?, o ¿qué pasa con esas mediciones que se hacen de voltaje, o de la corriente?, ¿si hago variaciones de resistencia? [...].

La dimensión práctica ( $\sigma$ ) sobresale en esta declaración, ya que la profesora va más allá de usar preguntas de respuestas cerradas. Por el contrario, apela al uso de preguntas, que motivan el razonamiento conceptual, sobre las variables relacionadas a la Ley de Ohm, en función de diversas situaciones en el contexto experimental de estas, en la que promueve la participación de los estudiantes.

También, la profesora utiliza recursos como videos en sus clases, tanto presenciales como virtuales:

[...] Por otro lado, dependiendo de mis estudiantes, les he agregado, algún video, algún recurso adicional para contextualizar la dinámica y no simplemente ¡aquí está el manual y resolvamos! [...].



Además, manifiesta:

[...] Ahora, hay que adecuarse, no necesariamente se va a empezar directamente a la parte experimental, sino que sí hay que darle un poco más de contexto, porque, ya ellos están en una misma situación que uno, es decir, en un cuarto, frente a la computadora y entonces hay que responder a esto. Algunas veces he utilizado videos para ejemplificar aplicaciones, de entrada han sido responder a cómo se comportan las variables [...].

El siguiente es uno de los videos de lo que profesora hace mención, en el extracto de la entrevista anterior, como se aprecia en el código QR en la figura IV.6:

#### **Figura IV.6**

*Video que usa la profesora en sus clases*



*Nota:* También se puede acceder mediante el siguiente enlace: <https://youtu.be/-zuNO1MoPz4>

Las declaraciones anteriores evocan a la dimensión práctica ( $\sigma$ ) porque la profesora hace uso de videos como recurso teórico y complementario a la realización de los experimentos, además, de ratificar la utilización de recursos adicionales a los libros de texto. Asimismo, fortalece la parte conceptual del tema de la Ley de Ohm.

Otra experiencia de clase que comparte la profesora al momento de enseñar la Ley de Ohm es que resalta a los estudiantes que se está trabajando con modelos aproximados a la realidad:

[...] Lederman ha trabajado mucho con lo de la naturaleza de la ciencia y en varios trabajos, ha hecho esa diferencia, porque me parece interesante, y es algo que sí recalco mucho con mis estudiantes, con los chicos del colegio más que todo porque

trabajamos la parte experimental y se detalla que son modelos, entender que estos no son una representación exacta de la realidad. Ya que me ha pasado, y es muy interesante, cuando uno de los estudiantes dice, ¡profe, pero no da exacto!, porque ellos realmente utilizaron en algún momento, usaron la fórmula, lo que les da "tanto" y si iban a medir, y decían ¡pero no da lo mismo!, y yo ¡no, porque el modelo busca representar y explicar, poder hacer aproximaciones!, ¡de como es que se comportan esas variables!, ¡para esperar un cierto dato, un cierto valor! [...].

**En otro extracto del relato expone:**

[...] Por otro lado, lo que sí les recalco, es que es un modelo y que se tome en cuenta los porcentajes, o sea, del error, que son todos esos componentes de la realidad, que tal vez no estamos tomando dentro del modelo, porque cuando ellos mismos están midiendo a partir de si esta calibrado o no correctamente el sensor, de qué tan minuciosos son en sus medidas y por eso, si a alguien le dio 5,2 en la teoría, no van a tener un 5,2 acá, un 5,17 y otro poco de decimales y así [...].

Dando pie a la dimensión crítica ( $\rho$ ), puesto que la profesora reflexiona junto con los estudiantes, la naturaleza de la ciencia, resaltando que la Ley de Ohm esta representada a través de un modelo. De ahí que, aprovecha para explicar diferencias entre datos teóricos y experimentales, las diferentes razones de por qué los datos obtenidos no son exactos, como a las incertidumbres de los componentes de los circuitos y de los instrumentos de medición o sensores, así como las calibraciones de estos últimos.

## IV.2.4 Amplificadores y filtros de los estudiantes

### IV.2.4.1 Creencias, conocimientos previos y comportamientos

La profesora explica también que los estudiantes cuando usan las guías de trabajo como la expuesta en la figura IV.5, se comportan de forma más independiente y que solo consultan cuando no comprenden algún procedimiento en particular. Asimismo, destaca que estas guías de trabajo dotan a los estudiantes de una orientación para proceder en el desarrollo de las clases y manipulación del equipo o interacción con las simulaciones que utilicen:

[...] El estudiante es un poco más independiente con eso, pero siguiendo siempre la guía de trabajo, más que todo por el equipo con que se ha trabajado, igual con la simulación, se tuvo una guía de trabajo para poder contestar las preguntas. No puedes solo darle los recursos y ya, porque entonces nada más dice ¿y bueno que hago con esto?, ¿porque si yo no exploro?, ¿que yo no explore, yo no entendí!, ¿pero que quería usted que yo hiciera con esto? [...].

Continúa expresando:

[...] De ahí que lo que he identificado con este trabajo, es que a ellos les gusta trabajar de manera independiente, pero teniendo una guía, porque sino, llegan a un momento, en donde dicen ¿para donde voy? y tienen razón, por eso es tan importante que ellos tengan una pregunta a la que llegar, una respuesta, o sea, alguna meta, porque sino, ellos dicen, ¡bueno, ya tengo el recurso, yo lo exploro, ando por aquí, por allá!, ¿pero qué?, entonces eso es lo más importante de tener, una línea de trabajo [...].

Nuevamente la dimensión práctica ( $\sigma$ ) es la que aborda estas declaraciones, ya que la profesora se manifiesta preocupada por dar una orientación a los estudiantes, a través de las guías de trabajo, de la mano con sus explicaciones. Al contrario de simplemente dar las guías y

que sigan las instrucciones, o ni siquiera entregarles un documento con lineamientos para desarrollar en clase y solo dejar que los estudiantes trabajen con el equipo o las simulaciones, sin un orden definido.

Otro aspecto relevante sobre el actuar de los estudiantes que indica la profesora, es respecto al contexto de la virtualidad, ya que pocas veces manifiestan si tienen dudas:

[...] Cuando estamos en la clase, cuando yo estoy en clase y alguien dice algo, o cuando yo soy la estudiante, es como, ¡suave, a ver porque no le entendí!, ya el gesto de uno es ¡no! Entonces a veces los profesores deben retomarlo y ya uno es como, ¡ah ok!, ¡ahora sí!, ya uno, cambia verdad, ahorita no los ves. De ahí que, uno hace preguntas, pero con la virtualidad es más cómodo ya que algún estudiante te responde, ¡si profe, todo claro!, pero él está respondiendo por el grupo; porque ya nadie contestó, o sea, se dijo, ¿está claro o no?, entonces, obviamente no responde nadie, es porque todo está claro o les da pena decir que no [...].

Continúa:

[...] Por esa razón, si no me dicen en el momento que no entendieron, y a algunos les he dicho, yo me puedo quedar más tiempo en el *Zoom*, podemos hacer un *Zoom* individual, no hay problema [...].

Además, manifiesta que, en la mayoría de las clases virtuales, mantienen las cámaras apagadas, ya que, por normativa de la institución, es voluntario el uso de estas.

[...] Al menos, cuando estábamos en lo presencial, estábamos ahí viéndonos, ahorita al menos, como se maneja esto de la virtualidad, con el colegio, no sé, ellos tienen la cámara siempre apagada, no los ves, pues yo como docente, pongo mi cámara, yo ocupo que vean mis gestos, para mí es necesario, más cuando explico algo, yo uso

mucho mis manos, pero ellos tienen la cámara apagada, y no los veo [...].

Ante estos planteamientos, la dimensión práctica ( $\sigma$ ) está presente debido a la preocupación de la profesora, por el hecho que los estudiantes tengan las cámaras apagadas y por la posibilidad presente de que existan dudas, que les apene manifestarlas delante de los demás compañeros, lo que le dificulta, en contraste con las clases presenciales, identificar más rápido, esas necesidades de los estudiantes. Por lo que, muestra disposición a ofrecer tiempo después de clases, e inclusive acompañamiento extra, en el contexto de la educación virtual, a los estudiantes que así lo requieran.

#### **IV.2.4.2 Resultados de los estudiantes**

En este aspecto, la profesora espera que los estudiantes adquieran habilidades tecnológicas, tales como el procesamiento y graficación de datos. Asimismo, la comprensión del comportamiento y relación de las variables asociadas a la Ley de Ohm:

[...] Espero que desarrollen habilidades tecnológicas, en el sentido de poder tomar datos y graficarlos, una vez que ellos grafican, que puedan entender, comprender esos datos que graficaron, cuál era la razón de graficarlos, porque parte de lo que he implementado con ellos, es la toma de esos datos, la graficación, y el entender qué significa la pendiente en Ley de Ohm [...].

Además de lo anterior, manifiesta que:

[...] Que puedan ver esa relación entre las variables y también que es importante, más que todo con esta parte del análisis gráfico, que, si usted puede tomar un par ordenado y hacer una estimación, pero cuando usted tiene muchas pruebas que son muchos pares ordenados, puede tener una mejor acotación de los resultados. Esa es una habilidad, no solo es matemática, sino, también tecnológica,

porque es utilizar también la computadora, utilizar el *Excel*, que, si he logrado con el equipo, al menos de nuevo, porque, si voy a hacer esa diferencia, esas son las que he podido desarrollar, cuando se tiene al momento de laboratorio, porque cuando se utiliza la simulación, al menos la que utilice en ese momento, no había relación gráfica, no había una relación, donde ellos pudieran medir [...].

Pero sin dejar de lado, que también es una de las secciones del tema de Ley de Ohm que más presenta dificultades a los estudiantes.

[...] Lo que más les cuesta después de haber medido y más cuando tienen muchas series de datos, es la parte de análisis matemático, el análisis gráfico-matemático, ese paso de calcular la pendiente de forma mecánica, y que la pendiente me esta dando información [...].

**También destaca:**

[...] Por eso, hay que acompañarlos un poco para que lo vean, a partir de la definición básica de la pendiente ya lo ven, y entonces es como, ¡ah mira!, porque incluso, les sirve para ver, que les cuesta a veces inferir que esa pendiente le esta dando un porcentaje de crecimiento o de relación [...].

Estas declaraciones hacen referencia a la dimensión crítica ( $\rho$ ), puesto que la profesora espera que los estudiantes, vayan más allá de hacer mediciones y tomar datos, para lograr la interpretación del significado conceptual de las variables. Integrando, además, el uso de herramientas tecnológicas como las hojas de cálculo y fungiendo de facilitadora en el proceso, para colaborar en la comprensión de ese análisis gráfico y la comprensión del sentido físico de

la pendiente en el contexto de la Ley de Ohm. Asimismo, reconoce y aborda las dificultades que presentan estos.

### **IV.3 Resultados a partir de las declaraciones del profesor**

A continuación, se detallará parte de lo manifestado por el profesor de Física, al momento de diseñar e impartir sus clases, en función de lo solicitado a partir de las preguntas ReCo, asociadas a las BCPP. Asimismo, se muestra el posicionamiento de estas declaraciones con las dimensiones de la HC, así como una representación de su modelo CDC, según lo expuesto por Gess-Newsome (2015).

#### **IV.3.1 Conocimiento Profesional del Tópico Específico (CPTe) del profesor de Física**

##### ***IV.3.1.1 Estrategias de enseñanza y representaciones del contenido***

El profesor de Física menciona que, al iniciar el tema de la Ley de Ohm, lo hace explicando en qué consiste esta ley, además de la presentación de ejemplos, como lo detalla a continuación:

[...]les hago una explicación de lo que es la Ley de Ohm y de lo que no es, las formas de enunciarlo, la diferencia entre un modelo y una ley, después pasamos a ver ejemplos, hacemos varios ejemplos para que quede claro el concepto, les digo, que la Ley de Ohm como tal es muy fácil, solo es una forma con tres cantidades y listo [...].

Además, expresa:

[...] empiezo diciendo que la Ley de Ohm en realidad no es una ley, es un modelo que intenta explicar el comportamiento de algunos materiales, los conductores y que además de eso, hay más de una forma de enunciar la Ley de Ohm, empiezo diciendo que la Ley de Ohm en realidad, desde el punto de vista de la Física, surge como

el modelo que relaciona la forma en que se produce una corriente en un conductor con el campo eléctrico en su interior, el campo eléctrico [...].

Se manifiesta la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que el profesor, antes de iniciar con ejercicios o problemas, explica y reflexiona sobre la diferencia entre modelo y ley, que posteriormente complementa con ejemplos.

#### **IV.3.1.2 Comprensión del estudiante**

El profesor de Física resalta que la abstracción de los conceptos asociados a Ley de Ohm es un detalle que influye en la comprensión de los estudiantes:

[...] Tal vez lo más difícil de enseñar la Ley de Ohm, es que se trate de un tema muy abstracto, o sea, pienso que la Física, al menos, desde el punto de vista de la enseñanza de la Física, se divide entre lo que es fácil de imaginarse y lo que es difícil, la parte mecánica es sumamente fácil, la parte electromagnetismo es sumamente difícil, puede ser difícil, porque al estudiante le puede costar un poco, imaginarse que es lo que esta estudiando [...].

Lo anterior, es una manifestación de la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que el profesor es consciente de las dificultades que pueden presentar los estudiantes, las cuales están asociadas a la naturaleza de la Ley de Ohm.

### **IV.3.2 Amplificadores y filtros de los profesores**

#### **IV.3.2.1 Creencias, orientaciones y conocimientos previos**

En este aspecto el profesor considera que las prácticas individuales o grupales en la que solo los estudiantes trabajan no son provechosas para el proceso de enseñanza-aprendizaje:

[...] Por lo general prefiero no hacer sesiones de práctica, porque tengo la idea, tal vez no sea así, pero tengo la idea de que, a



los estudiantes si uno los deja solos mucho tiempo, después se distraen, se ponen a hacer otras cosas, y no es tiempo que aprovechen para aprender [...].

**Destaca que prefiere realizarlas de manera conjunta entre él y los estudiantes:**

[...] considero más provechoso hacer trabajos o hacer prácticas colaborativas, o sea, como que yo ponga un problema y entonces le pido a alguien que dé una sugerencia de cómo resolverlo y luego alguien más contribuye y entre todos llegamos a una respuesta para ese problema, no prefiero hacer trabajo individual o incluso tampoco hacer prácticas en grupos, que no es lo mismo que hacer trabajo colaborativo [...].

Estas declaraciones dan cabida a la dimensión práctica ( $\sigma$ ) puesto que el profesor, promueve un abordaje colaborativo entre él y los estudiantes, al momento de resolver problemas y la forma en que los resuelven, generando un ambiente más dinámico en sus clases.

Igualmente, el profesor resalta la importancia de las emociones de los estudiantes, en el contexto de aula, declarando lo siguiente:

[...] Uno tiene que ser respetuoso y cuidadoso con las emociones de los estudiantes, no es que simplemente va a llegar y le va a preguntar algo, ¡lo primero que se le ocurra para ver que se le responde!, porque no, eso no sirve, no funciona y además, hace que los estudiantes pierdan la emoción de la clase y lo que quiero, es siempre en la medida de lo posible, hacer que mis clases sean interesantes, amenas y acordes al tipo de estudiante [...].

Lo anterior hace alusión a la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que el profesor vela por el respeto y procura expresarse de forma adecuada al momento de plantear preguntas y problemas, para que así los estudiantes no pierdan interés en las clases.

En lo que respecta a la forma de revisar los problemas en las evaluaciones sumativas, el profesor destaca:

[...] Muchas veces los estudiantes tienen un conocimiento cualitativo, apropiado, pero por la razón que sea, cometen un error, entonces les va mal. Una parte importante de la evaluación consiste, en que uno entienda qué fue lo que hicieron, o sea, ¿cómo justifica su respuesta?, porque muchas veces uno los ve y se da cuenta que el estudiante si entendió, pero al final cometió una equivocación y no lo hizo bien [...].

Continúa indicando, que, en el contexto universitario, los profesores no consideran los procedimientos que realizan los estudiantes y solo se limitan a verificar si la respuesta esta bien o no:

[...] después se pierde cuando llegan a la universidad, porque en la universidad los profesores cuando revisan buscan el resultado, que les haya dado bien, son más rigurosos con la evaluación cuantitativa tal vez, pero bueno, en el colegio pues no, o sea, uno, trata digamos de señalar, lo que hicieron mal, ir un poquito más de la mano del estudiante, para que vean cómo pueden mejorar, el error que cometieron, y cómo prevenirlo en el futuro [...].

Estas declaraciones posicionan al profesor en la dimensión práctica ( $\sigma$ ), debido a que considera relevante revisar los procedimientos que realicen los estudiantes, sea correcta o no la respuesta, para determinar el aprendizaje conceptual y cualitativo que tengan. Asimismo, destaca el hecho de que, en el contexto de educación secundaria, es donde más detalle se le debe dar a estos aspectos, para que así, los estudiantes, comprendan y aprendan, y eviten tener esos errores en el contexto universitario.

#### **IV.3.2.2 Contexto del profesor**

El profesor considera que tiene un rol de facilitador en el proceso de enseñanza y aprendizaje, sin dejar de lado, la participación de los estudiantes declara al respecto lo siguiente:

[...] El rol del profesor siempre debe ser, ya sea para el caso de la Ley de Ohm o para cualquier otro tipo de tema que estemos viendo, de facilitador, lo que hace el profesor es señalar qué es lo que se esta estudiando, cuál es su importancia, cómo se aplica a la vida cotidiana, dar una explicación del fenómeno también, pero no por ello debe limitar al estudiante a que no averigüe por sí mismo en otras fuentes [...].

Esta declaración está dentro de la dimensión crítica ( $\rho$ ), pues el profesor menciona que no se debe opacar el rol activo e investigativo de los estudiantes. Sin dejar de lado, hacer explicaciones de los conceptos científicos con aplicaciones de vida la cotidiana, sin limitarse a exponer sobre conceptos teóricos y resolución de ejercicios, sino que reflexiona con ellos sobre las aplicaciones y fenómenos de los temas que explica, como la Ley de Ohm.

En lo que respecta al trabajo colaborativo en su contexto de clase el profesor destaca, que mantiene un ambiente de respeto entre él y los estudiantes, sin generar presiones para llegar la respuesta:

[...] Una parte importante de hacer un trabajo colaborativo, como ya mencioné, es llegar a la respuesta entre todos, ser un poco respetuoso con el ritmo de cada persona, o sea, no voy a obligar a un estudiante, a que pase un mal rato, para llegar a la respuesta, si no la sabe, le puedo preguntar, y si veo que esta muy trabado o que le cuesta mucho, entonces, le explico, trato de demostrarle que todo esta bien y le indico que no pasa nada si se equivoca [...].

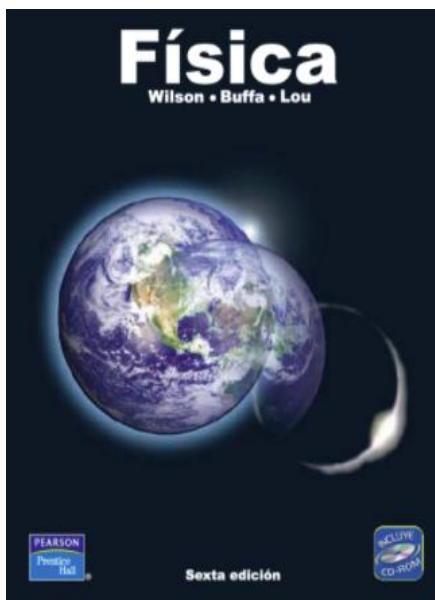
Lo anterior da entrada a la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que el profesor se preocupa de cómo pueden reaccionar los estudiantes cuando realizan ejercicios frente a todos los de la clase, y los ayuda, cuando nota que se les dificulta avanzar o llegar a la respuesta. Asimismo, es consciente que, en esos momentos, se debe promover un ambiente tranquilo y no hacer pasar momentos incómodos, ya que la premisa es potenciar el trabajo colaborativo mientras se aprende.

El profesor también manifiesta que utilizan un libro de texto oficial, pero que también otro a manera de complemento, debido a la calidad de explicaciones que ofrece:

[...] usamos un libro de texto que es el Zemansky, por ahí empezamos también, tenemos acceso a otros libros como el Buffa, de hecho, el Buffa es bueno, porque es de un nivel parecido al de los cursos de Física médica (nivel universitario básico), es bueno porque tiene buenas explicaciones [...].

#### Figura IV.7

*Portada de uno de los libros Física utilizados por el profesor*



Esta manifestación da presencia a la dimensión práctica ( $\sigma$ ), en el sentido de que plasma un interés por utilizar varios recursos bibliográficos, sin enfocarse en uno en particular, con el objetivo de que sean libros que faciliten la comprensión de los estudiantes en los contenidos.

El profesor además resalta al tiempo de clase como la principal limitante en su contexto educativo:

[...] Con respecto a las limitaciones que uno se encuentra, siempre las hay, porque uno como educador, quiere que los temas que uno enseña queden bien claros, que quede todo bien cubierto, y no hay tiempo para eso, porque hay que partir el tiempo de clase, verdad, entre el tiempo que paso explicando y el tiempo que paso evaluando, o que paso haciendo práctica, o que paso haciendo actividades que no son necesariamente explicar y eso digamos limita [...].

Lo anterior se coloca en la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que se preocupa por limitantes que se manifiestan en su contexto, en este particular el tiempo del que dispone, para realizar las diversas actividades de clase, evaluación y demás. Del mismo modo, que la abstracción del tema, aunque para ambas limitaciones considera la implementación de estrategias didácticas que ayuden a solventarlo:

[...] Por un lado es difícil porque ya es un tema muy abstracto y por el otro es difícil porque hay limitaciones de tiempo, incluso de equipo, y si no hay equipo físico, por lo menos, tal vez, se pueda acceder a un equipo, virtual, remoto, una computadora, pero igual por el tiempo, es muy difícil, cubrir todo lo que uno quiere enseñar en el tiempo de clase [...].

### **IV.3.3 Práctica en el aula**

#### **IV.3.3.1 CDC personal**

El profesor expone que considera eventualmente realizar alguna actividad experimental complementaria a su curso de teoría:

[...] es posible tal vez que en algún momento hagamos algún experimento, alguna investigación relacionada con la Ley de Ohm o relacionada en general con todo el tema de circuitos [...].

Lo anterior lo complementa indicando:

[...] También tendríamos que considerar los recursos que tengamos para hacer demostraciones, para hacer ejemplos, por ejemplo, algún programa, alguna simulación de *PhET* de circuitos y resistencias. A partir de este año, se tiene acceso al laboratorio remoto de la UNED, el *LabsLand*, que tiene una práctica de circuitos, y se puede usar para estudiar la Ley de Ohm [...].

De manera que, con lo anterior, el profesor se ubica en una dimensión crítica ( $\sigma$ ), debido a que contempla la planificación y realización de experimentos virtuales y remotos, complementarios a sus clases de teoría, además considera la realización de actividades que orienten a la investigación.

#### **IV.3.3.2 CDC y H**

Para esta subcategoría el profesor menciona que antes de explicar Ley de Ohm, explica qué es la corriente eléctrica y la diferencia de potencial eléctrico:

[...] Comienzo explicando qué es la corriente eléctrica y qué es la diferencia de potencial, porque son conceptos relacionados, pero son diferentes y precisamente uno de los problemas más grandes, que tal vez, un estudiante se pueda encontrar, cuando esté estudiando la Ley de Ohm, es que no le quede claro, qué es cada

concepto, porque son cosas muy abstractas [...].

**También indica:**

[...] Entonces, para explicarlo, les digo que la diferencia de potencial, es la energía que se necesita para hacer que una corriente circule por un material, en alguna situación particular, entonces a mayor potencial, se requiere mayor energía, de que manera sucede esa situación, donde se requiere mayor o menor energía para mover una partícula, y qué esta relacionada con el concepto de resistencia eléctrica, la resistencia, como el nombre lo sugiere nos dice qué tan fácil o que tan difícil es hacer mover una partícula cargada sobre un material, de ahí viene la Ley de Ohm [...].

**Resalta que cuando comienza a explicar la Ley de Ohm, hace un repaso de lo visto previamente, así como resaltar que se trata de un modelo y no una ley propiamente:**

[...] les digo que la Ley de Ohm es un modelo matemático, que no es una ley, que es una fórmula, que existió un físico George Ohm, que se dio cuenta que los materiales metálicos tenían la propiedad de que la corriente eléctrica pasa a través de ellos, queda casi siempre proporcional al potencial, entonces Ohm en su momento, tal vez, no sabía porque pasaba eso, él no tenía claro por qué era proporcional a esos materiales, ¿dependía la proporción?, él simplemente lo que hizo fue estudiar los casos, apuntar los datos y medir esas proporciones [...].

**Destaca que hace una breve alusión a la historia de la ciencia**

[...] También hago un repaso de historia de la ciencia, paso por un poco de lo que es epistemología, al menos decir por lo menos, la

forma en que la Física trabaja planteando modelos, y una vez que se tienen los modelos, tratando de explicarlos y tratando de encontrar alguna razón que los justifique [...].

Con lo declarado anteriormente, se plasma la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que el profesor aborda detalles conceptuales, antes de iniciar con la explicación de ejercicios, preocupándose por la comprensión de estas variables asociadas a la Ley de Ohm debido a la abstracción que se presenta en temas asociados a la Electricidad y Magnetismo, dando explicaciones detalladas del tema. Asimismo, detalla a los estudiantes, aspectos históricos sobre el planteamiento de modelos y el contexto histórico de esta ley.

En cuanto a la realización de problemas en clases, el profesor indica que propicia un ambiente participativo y colaborativo entre él y los estudiantes:

[...] siempre me gusta mucho, plantear un problema, que no sea muy difícil y llamar un estudiante para que lo venga hacer a la pizarra, lo que hago, es que le pido a los compañeros que le ayuden o que nos ayuden a llegar a la respuesta, obviamente durante el procedimiento yo estoy guiándolos, sugiriéndoles cosas y muchas veces, el estudiante que pasa a la pizarra aprende por los comentarios o las sugerencias que le hacen sus compañeros [...].

Propiciando y manejando un ambiente de respeto ante las posibles equivocaciones que los estudiantes puedan presentar cuando están resolviendo los problemas:

[...] Es un proceso, obviamente hay que hacerlo con cuidado, porque, o sea, hay que tener delicadeza cuando un estudiante se equivoca, o cuando alguien dice algo que no es correcto, entonces hay que explicarlo con delicadeza, amabilidad, pero también, aprovechando que es una oportunidad para aclarar alguna duda o algún malentendido [...].



Ante estas declaraciones se presenta la dimensión práctica ( $\sigma$ ), puesto que el profesor en su rol de facilitador y guía potencia la participación de los estudiantes y van desarrollando las soluciones de los problemas entre todos. Además, de considerar un abordaje en un marco de respeto, ante muestras de error que presenten los estudiantes, las cuales son aprovechadas como herramientas de aprendizaje durante la realización de los ejercicios.

Respecto a las evaluaciones sumativas que realiza el profesor menciona el uso de pruebas cortas y el respectivo examen, así como un proyecto práctico:

[...] Se hacen quices sobre cada unidad que vemos, siempre hay quiz de la Ley de Ohm, hasta el año pasado que teníamos clases presenciales, hacíamos un proyecto, consistía en construir un circuito eléctrico con materiales caseros, creo que este año no lo voy a hacer, pero pienso tal vez sustituirlo con una práctica de laboratorio virtual o una simulación; es materia del primer examen que hacíamos siempre en el segundo semestre de undécimo año, entonces, es quiz, examen y proyecto [...].

El proyecto que menciona el profesor en la declaración anterior consiste en la construcción del circuito de un motor casero, que se muestra en el código QR en la figura IV.8:

#### **Figura IV.8**

*Video que usa el profesor como proyecto*



*Nota:* También se puede acceder mediante el siguiente enlace: <https://youtu.be/StGVDqsbP0>

Con lo anterior se presenta la dimensión práctica ( $\sigma$ ), puesto que el profesor complementa las evaluaciones escritas como las pruebas cortas y exámenes, con actividades prácticas y de experimentación como lo expuesto en la figura IV.8. De forma que, va más allá, de la

contemplación evaluativa de ejercicios de respuesta cerrada, promoviendo problemas más abiertos, a través de la implementación del proyecto.

En lo concerniente a las clases no presenciales debidas a la situación de la pandemia, el profesor menciona que utiliza las plataformas *Google Classroom* y *Zoom*, la primera para distribuir material y la segunda para la comunicación sincrónica con los estudiantes:

[...] En este caso el colegio, utiliza la plataforma *Google Classroom* para dar clase, tenemos un día a la semana para subir material y tenemos un día diferente para dar consulta por medio de video llamada, lo que yo he estado haciendo, es que les mando a ellos un video que yo grabo explicando un tema y les dejo una pequeña práctica [...].

**Resalta también:**

[...] Entonces, ellos me escriben, yo les respondo y el día que tenemos la clase por video llamada, yo me refiero a los temas que ellos me escribieron, casi nunca los pongo a hacer un trabajo para que los hagan completamente solos, porque si yo hago eso, es muy posible que lo hagan mal o que ellos lo hicieron, no es la forma correcta de hacerlo [...].

Hay presencia de la dimensión práctica ( $\sigma$ ), puesto que el profesor a través de video llamadas en *Zoom* aborda las dudas que los estudiantes le manifestaron previamente a través de *Google Classroom*. Además de mantener una participación conjunta entre los estudiantes y él al momento de realizar lo que previamente envió, como detalla a continuación:

[...] Prefiero que tengan una práctica, tengan un problema, lo vean, lo estudien, lo vean por muchos lados, y si lo logran entender por ellos mismos genial y si no, me preguntan y yo les explico, porque pienso que es más provechoso, a simplemente, tirarles un video de

una hora, explicando un tema con detalle [...].

Con lo anterior, se nota que el profesor presta atención a la comprensión de los estudiantes, de ahí que se concentra en abordar con ellos dudas puntuales en los ejercicios que desarrollan, más que utilizar videos explicativos, que de repente no van a abordar las necesidades de los estudiantes.

### **IV.3.4 Amplificadores y filtros de los estudiantes**

#### ***IV.3.4.1 Creencias, conocimientos previos y comportamientos***

El profesor de Física menciona que los estudiantes tienden a confundir algunos términos de las variables asociadas a la Ley de Ohm:

[...] algo que tal vez pueda ser un problema es que el estudiante, no tenga claro ¿cuál es la diferencia, entre conceptos parecidos o relacionados?, como por ejemplo la resistencia y la resistividad, ¿cuál es la diferencia entre cada una?, ¿porqué es importante entenderlas o separarlas?, que no sepan cuando aplicarlas, cuándo sí y cuándo no, porque, o sea, a uno le dicen que la resistencia es una propiedad de los materiales, de los resistores, pero también le dicen que cambia, o sea, que puede variar. Entonces ¿cómo hace uno, para que el estudiante no se haga un enredo con eso?, hay que explicarlo todo en orden, despacio y con claridad [...].

Estas declaraciones se ubican dentro de la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que el profesor manifiesta su preocupación, por las dificultades de comprensión de algunas variables asociadas a la Ley de Ohm. De forma que, para solventarlas, da explicaciones claras y ordenadas.

El profesor resalta que los estudiantes tienden a ser muy activos en el sentido de que además de ser estudiosos, son muy curiosos:

[...] estoy acostumbrado a trabajar con estudiantes que por lo general son muy estudiosos, muy inquietos, muy curiosos; entonces, se va bien, porque ellos tienen verdaderamente ganas de aprender, de ir más allá, siempre me proponen hacer algún tipo de experimento en la clase o algún proyecto [...].

Sobresaliendo de lo anterior la dimensión práctica ( $\sigma$ ), ya que él desprende conocimiento sobre las actitudes y aptitudes de los de los estudiantes, lo cual potencia el desarrollo de estrategias didácticas complementarias como los experimentos o el desarrollo de algún proyecto.

#### ***IV.3.4.2 Resultados de los estudiantes***

Para este aspecto el profesor destaca que los estudiantes desarrollan habilidades referentes al planteamiento y justificación en la resolución de problemas, ya que considera esos detalles al momento de revisar los procedimientos en las evaluaciones sumativas:

[...] La ley de Ohm se ve casi al puro final de undécimo de año, entonces, los estudiantes ya están acostumbrados tal vez al tipo de evaluación que yo les hago, que son exámenes o quices, por un lado, tienen que contestar, tienen que calcular la respuesta. Por otro lado, tienen que justificar, tienen que saber como plantear un problema y llegar a la respuesta, como son estudiantes de colegio, entonces, tomo mucho en cuenta, el procedimiento que ellos hacen para llegar a la respuesta, trato de entender que fue lo que hicieron y como fue que llegaron a su respuesta [...].

También espera que desarrollen complementando a lo mencionado en la declaración anterior, la comprensión de lectura, el reconocimiento de las variables y por ende la manera de llegar a la respuesta:

[...] Las habilidades serían, primero que nada, el manejo de contenido, el estudiante sepa aplicar la comprensión de lectura,

que sepa hacer un planteamiento de un problema, identificar las variables que yo le estoy dando, identificar cuál es la variable que le estoy pidiendo que averigüe, que sepa identificar el procedimiento para llegar a la respuesta [...].

**Continúa indicando:**

[...] la Ley de Ohm, es un poco más sencilla, porque es solamente una fórmula: corriente, potencial y resistencia; el problema es que, en un ejercicio dado, el estudiante va a tener un circuito o va a tener algún arreglo, y le doy algunos datos, como la corriente que pasa por una resistencia, y luego le indico el potencial de otra resistencia. Entonces, yo les doy datos distintos a diferentes elementos de un circuito, y una parte muy importante de aplicar la Ley de Ohm, precisamente es identificar en un ejercicio dado, qué usted tiene, una gran variedad de situaciones, donde hay muchas incógnitas, y el problema, es identificarlas correctamente y saber como aplicar la Ley de Ohm para llegar a la respuesta, porque a veces la Ley de Ohm nos da el potencial, pero a veces lo que queremos es encontrar la corriente, o incluso nos piden encontrar la resistencia, por ejemplo, esta ley se puede combinar con otras leyes u otros modelos para llegar a otro tipo de respuestas, se puede aplicar la Ley de Ohm con la fórmula de la potencia, que dice que potencia es corriente por potencial, la potencia también es potencial al cuadrado entre resistencia o es corriente al cuadrado por resistencia, entonces, tener un manejo de eso [...].

Estas declaraciones hacen referencia a la dimensión práctica ( $\sigma$ ), debido a que el profesor espera que los estudiantes no solo sepan sobre la Ley de Ohm, sino, sobre cómo resolver los

problemas de este tema y otros, de una forma que no se limite solo a lo cerrado y mecánico, de simples despejes de la ecuación (1) por ejemplo. Asimismo, que sepan distinguir en los ejercicios, los diferentes datos correspondientes a las variables asociadas a esta ley, de manera que el profesor desarrolle problemas, donde tenga que identificar diversos datos, donde para llegar a la respuesta desarrollen el uso de estas habilidades de planteamiento, comprensión e identificación.

De igual forma, el profesor destaca que los estudiantes deben adquirir capacidades investigativas:

[...] El rol del estudiante, primero que nada, es aprender y tiene que estar abierto a las explicaciones que da el profesor, lo ideal sería que siempre tuviera curiosidad, afán por ir más allá de lo que enseña el profesor, investigar, es posible tal vez que en algún momento hagamos algún experimento, alguna investigación relacionada con la Ley de Ohm o relacionada en general con todo el tema de circuitos. Entonces el estudiante puede ir más allá, o sea, puede investigar por qué la Ley de Ohm se cumple, por qué no se cumple, cuando no se cumple, de qué depende que no se cumpla [...].

Lo anterior introduce a la dimensión crítica ( $\rho$ ), ya que el profesor promueve la capacidad investigativa de los estudiantes, a que vayan más allá de lo que este expone, dándoles un rol más activo, a través de la realización de experimentos o proyectos.

## CAPÍTULO V

### Discusión, conclusiones e implicaciones educativas

#### V.1 Introducción

A manera de cierre de esta investigación, se presenta la discusión de aspectos como las dimensiones de la Hipótesis de la Complejidad (HC, en adelante) en las que están inmersos los profesores, quienes presentaron una tendencia a estar entre las dimensiones práctica ( $\sigma$ ) y crítica ( $\rho$ ). Asimismo, se muestran las formas en que abordan los obstáculos inclusivos del Desarrollo Profesional Docente (DPD, en adelante), sin dejar de lado, el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC, en adelante), Conocimiento Didáctico del Contenido en Física (CDCF, en adelante) y Conocimiento Profesional Deseable (CPD, en adelante) de cada uno. De forma consecuente, se presenta un sistema de categorías emergente, generado a partir de las Bases del Conocimiento Profesional del Profesor (BCPP, en adelante) y demás aspectos vinculados al modelo de CDC propuesto por Gess-Newsome (2015), junto con sus respectivos descriptores y códigos. Además, de las correspondientes conclusiones y de las perspectivas que se tienen, como la realización de estudios similares, en otros contenidos de la Física, así como, de Ciencias Naturales y en contextos que vayan desde enseñanza primaria hasta universitaria.

#### V.2 Discusión

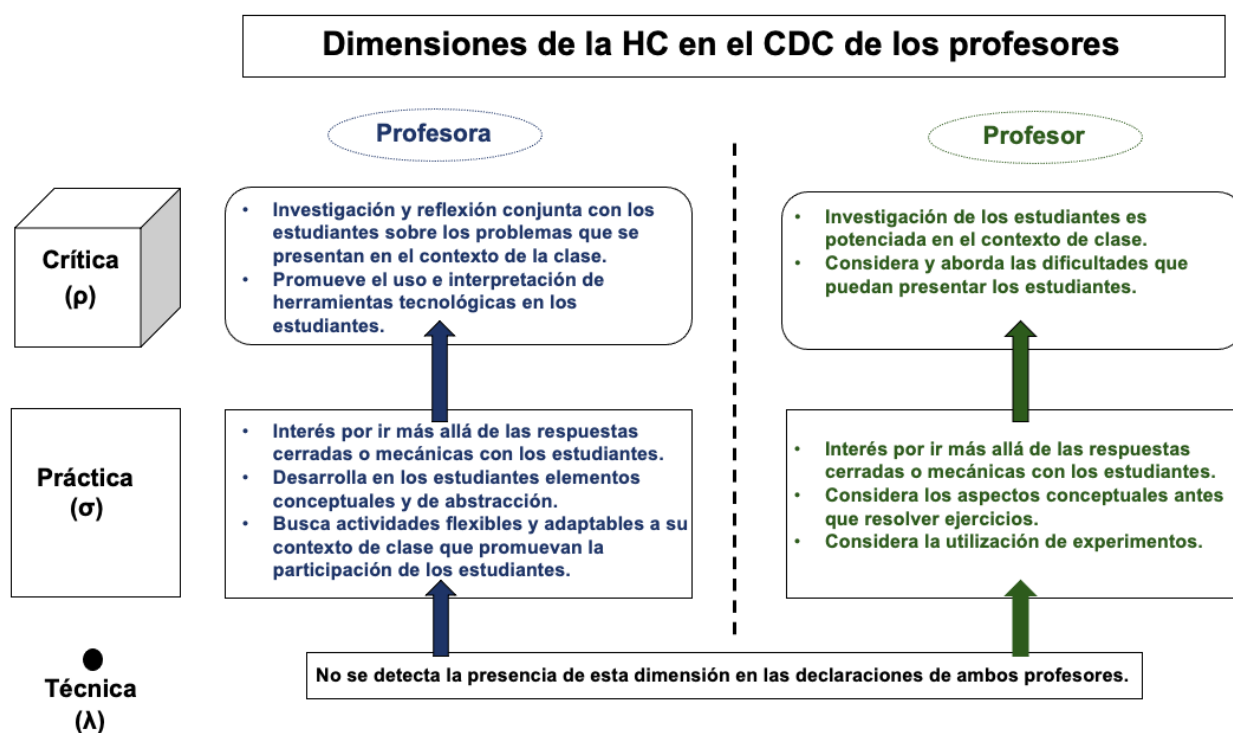
##### V.2.1 Dimensiones de la HC presentes en los profesores

Dentro de lo manifestado por ambos profesores, destaca su trascendencia entre las dimensiones práctica ( $\sigma$ ) y crítica ( $\rho$ ) de la HC, sin presentar tendencias a la dimensión técnica ( $\lambda$ ). De ahí que, sobresalgan aspectos en los dos, como explicar y fortalecer la parte conceptual, como en el caso de las variables asociadas a la Ley de Ohm, para así solventar las dificultades de abstracción que han detectado en los estudiantes. De la manera, que promueven, desde sus respectivos contextos la participación de los estudiantes ya sea dando libertad de ejecución al

momento de realizar los experimentos como el caso de la profesora o para el caso del profesor, cuando los estudiantes realizan ejercicios en la pizarra. Sin dejar de mencionar, el interés de ambos profesores, por fomentar la capacidad investigativa de sus estudiantes, ya sea a través de la ejecución de proyectos o mediante preguntas de investigación durante las clases, así como otros detalles, que dan cabida a la transcendencia entre las dimensiones, como se presenta en la figura V.1:

**Figura V.1**

*Dimensiones de la HC en el CDC de los profesores*



*Nota:* A partir de las declaraciones de los dos profesores de Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

Los profesores al ir pasando entre la dimensión técnica (λ) a la crítica (ρ), demuestran el abordaje que hacen a los diferentes obstáculos inclusivos del DPD. En consecuencia, reforzarán no solo su CDC, sino, que, además, construirán un entorno de clase más dinámico para ellos y los estudiantes, resaltando así lo expuesto por Retana-Alvarado et al. (2021), en el sentido que la complejidad considera el proceso de variación en la capacidad del profesor que a su vez le hace superar obstáculos de distinta naturaleza y poder trascender en el contexto de clase.



### **V.2.2 Abordaje de los obstáculos inclusivos del DPD de los profesores**

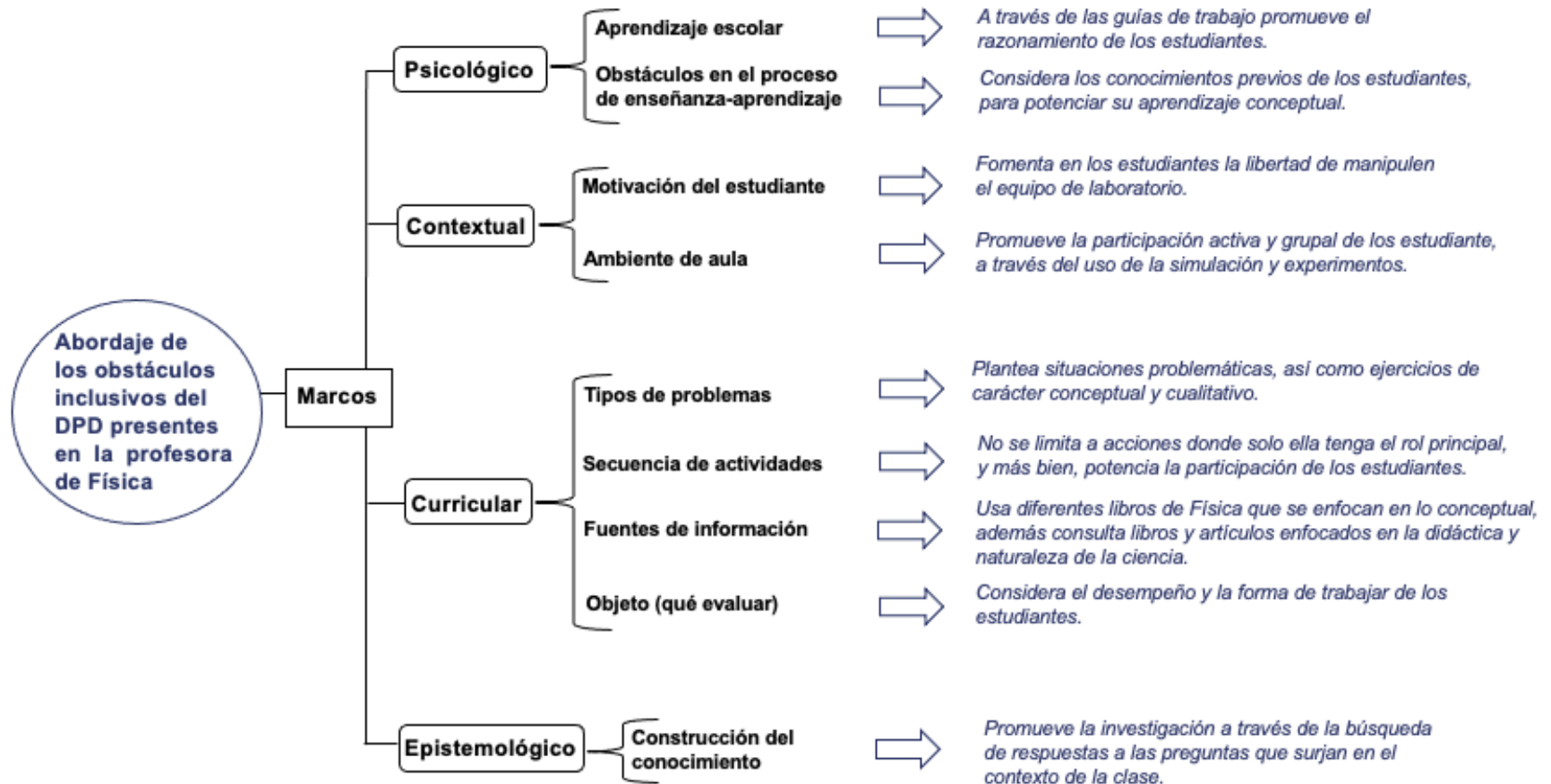
En esta sección, se describe el abordaje de los obstáculos inclusivos del DPD detectado a partir de las declaraciones de cada profesor en sus contextos de planificación y ejecución de las clases. En función de lo explicado en la figura II.10, donde se mostró la definición de este tipo de obstáculos, en el caso de la profesora, resaltando aspectos como la atención que presta al razonamiento de los estudiantes, sobre todo el cualitativo a través de las guías de trabajo, que confecciona. Además, mantiene la participación y motivación de los estudiantes, ya que no los limita en cuanto al uso del equipo de laboratorio, permitiéndoles que lo manipulen libremente, claro esta con su supervisión.

Por otro lado, hace uso de diferentes fuentes de información, sin limitarse solo a un único libro de texto, al utilizar diversas fuentes bibliográficas, que sobresalen por la explicación de aspectos conceptuales de los contenidos. De igual forma, recurre a libros y artículos, que profundizan temas de didáctica y naturaleza de las ciencias, para así, reflexionar sobre las experiencias de otros profesores expertos y considerar qué estrategias implementar en su contexto educativo.

Además, fomenta el rol activo e investigativo de los estudiantes, como en las situaciones en la que menciona, que al no saber la respuesta ante alguna duda de los estudiantes y antes de emitir un criterio del cual no tiene seguridad total, prefiere admitir que no lo sabe de momento, pero que lo va a indagar e invita a los estudiantes a hacer lo mismo y discutirlo en la clase siguiente. Promoviendo así, entre todos, el carácter investigativo, y además de construir conocimiento de forma conjunta entre ella y los estudiantes. En la figura V.2, se expone la asociación de los diferentes abordajes como los mencionados anteriormente, obtenidos de las declaraciones de la profesora:

Figura V.2

Abordaje de la profesora a los obstáculos inclusivos del DPD



Nota: A partir de las declaraciones de la profesora de Física.

Fuente: Elaboración propia

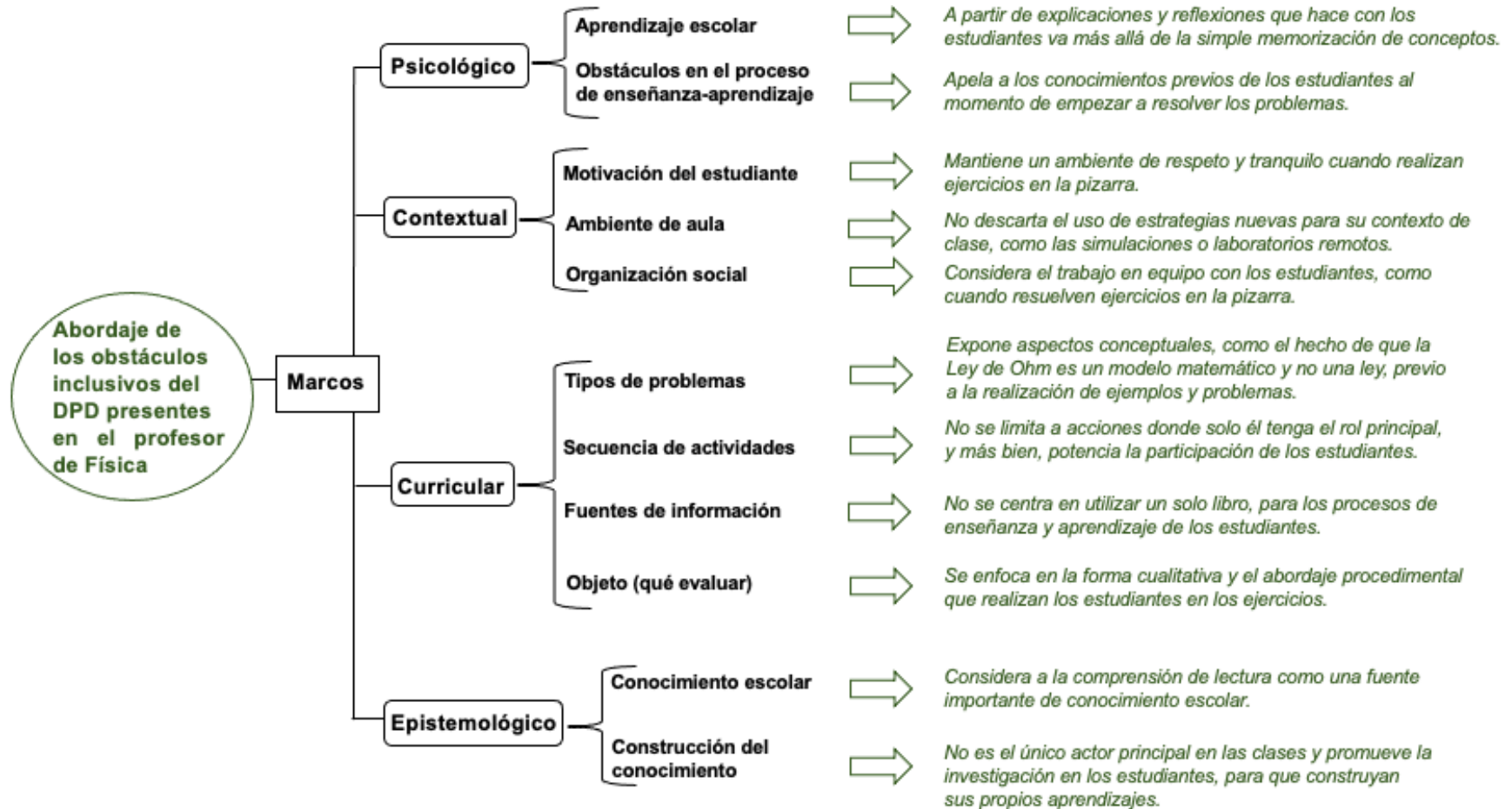
Mientras que para el profesor sobresalen aspectos como el hecho de considerar estrategias didácticas basadas en la experimentación, como complemento a sus clases de teoría, como simulaciones o los laboratorios remotos. Asimismo, da énfasis a los conceptos, y resalta aspectos relevantes, como que la Ley de Ohm, es un modelo matemático. Además, no abarca el foco de atención en sus clases, fomenta la participación de los estudiantes, sobre todo, cuando realizan ejercicios en la pizarra, donde incentiva a los estudiantes a resolver los ejercicios de forma conjunta, de manera colaborativa, manejando de forma asertiva y respetuosa las situaciones, en las que los estudiantes cometen errores, con el fin de mantener un ambiente de motivación en sus clases. Lo anterior, con el fin de no ser el único generador de conocimiento y que los estudiantes también formen parte de la construcción de este, sin dejar de mencionar, que potencia el rol activo de estos. En lo que respecta, a las fuentes de información, hace uso de varios libros de texto, complementarios al oficial del curso, que abordan los temas, de una forma y nivel adecuado y sencillo para los estudiantes.

Por otro lado, considera de relevancia la comprensión de lectura y la identificación de variables como un elemento indispensable para el planteamiento de los problemas. De ahí que, desarrolla ejercicios en los que se plasman diversas situaciones, con varias incógnitas, para que los estudiantes adquieran y pongan en prácticas esas habilidades.

Al momento de las evaluaciones sumativas, enfatiza en la revisión de los procedimientos, independientemente de si es correcta o no la respuesta final. Con el fin, de considerar el conocimiento cualitativo y conceptual de los estudiantes, ante errores procedimentales de índole algebraico. Estos abordajes se muestran con los respectivos obstáculos inclusivos del DPD encontrados en la figura V.3:

**Figura V.3**

*Abordaje del profesor a los obstáculos inclusivos del DPD*



*Nota:* A partir de las declaraciones del profesor de Física.

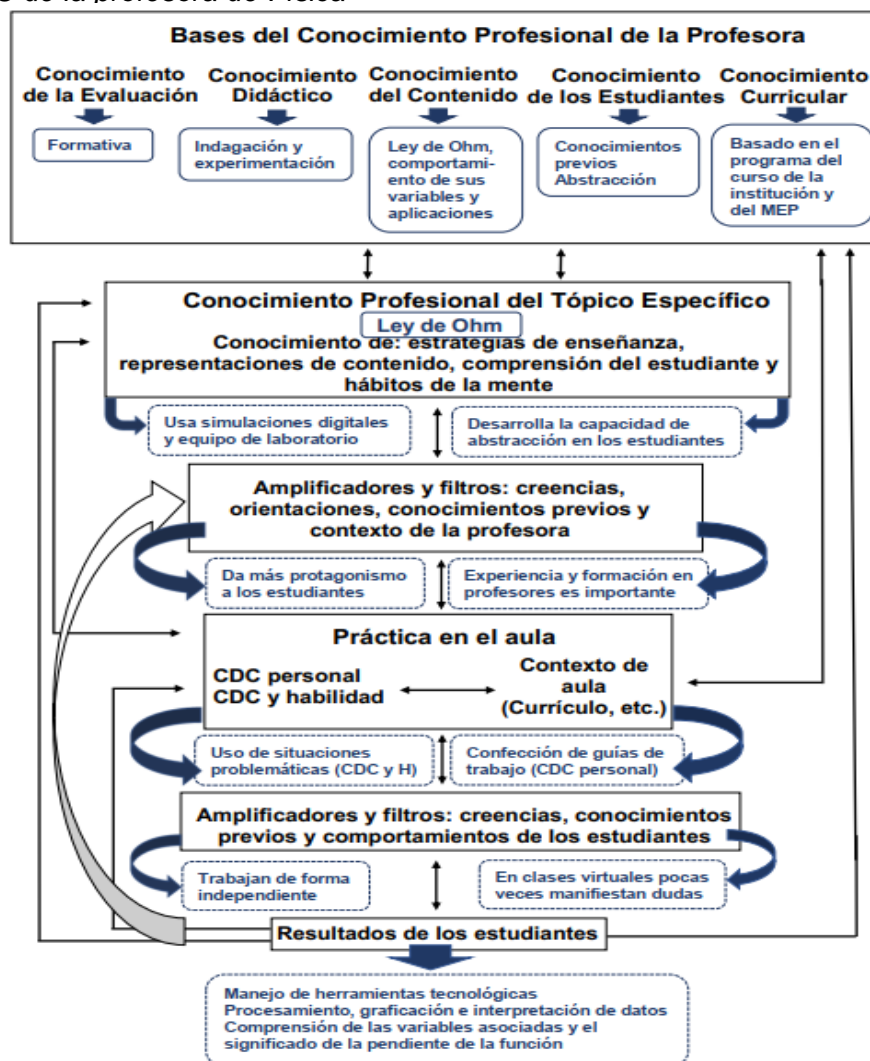
*Fuente:* Elaboración propia.

### V.2.3 CDC, CDCF y CPD manifestados por los profesores

La profesora de Física define un CDC personal fundamentado en la revisión de literatura sobre didáctica de la Física y Química, así como en la confección de guías de trabajo. Además, de promover una participación más activa de los estudiantes, como lo ratifica su CDC y H, entre otros aspectos mencionados en sus declaraciones. Como resultado, en la figura V.4 se presenta una representación del modelo de CDC de la profesora al momento de enseñar el tópico de la Ley de Ohm, según lo expuesto por Gess-Newsome (2015) y sus BCPP en la figura II.1:

**Figura V.4**

*Modelo de CDC de la profesora de Física*



*Nota:* A partir de las declaraciones de la profesora de Física.

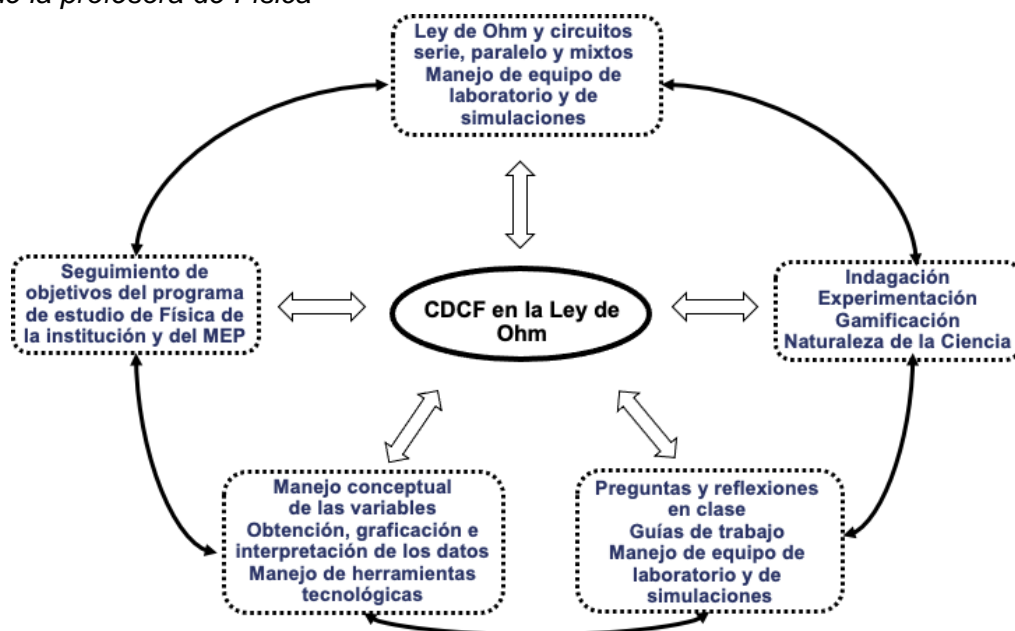
*Fuente:* Elaboración propia.

En lo que respecta al CDCF, en el caso de la profesora y fundamentado en lo expuesto en la figura II.3, se determina que el conocimiento de Física por enseñar corresponde a la Ley de Ohm, sus aplicaciones y demás herramientas tecnológicas como el equipo de laboratorio y simulaciones. Así como el conocimiento didáctico, que abarca procesos de enseñanza como la indagación, naturaleza de la ciencia y experimentación, muy acordes al contexto y noción de curso que desarrolla la profesora en la institución. Mientras que, en lo concerniente al conocimiento de la evaluación, la profesora destaca más la parte formativa, mediante el uso de preguntas y reflexiones en la clase, por medio de las situaciones problemáticas que ella plantea; además de las guías de trabajo que confecciona, para así mantener ese rol de facilitadora y mediadora, y poder medir aspectos como la manipulación y forma en que los estudiantes usan los equipos de laboratorio.

Por otro lado, para el conocimiento de los estudiantes en la enseñanza de la Física, la profesora determina la relevancia de detallar aspectos conceptuales para fortalecer la capacidad de abstracción de estos. Además, de la parte interpretativa de las variables asociadas a la Ley de Ohm y los datos obtenidos en los experimentos, para que los estudiantes grafiquen y comprendan el sentido físico de la pendiente. Asimismo, para definir qué otras actividades, eventualmente podrá utilizar, para fomentar estos aprendizajes. Finalmente, respecto al conocimiento curricular, la profesora desarrolla los contenidos del plan de estudio y se encarga de llevar a cabo el resto de las obligaciones curriculares, que esta demanda, como la experiencia en manejo del equipo y demás premisas para cumplir con la evaluación de este. En la figura V.5, se muestra el modelo de CDCF derivado de la figura II.3 y construido a partir de las declaraciones de la profesora de Física:

Figura V.5

CDCF de la profesora de Física



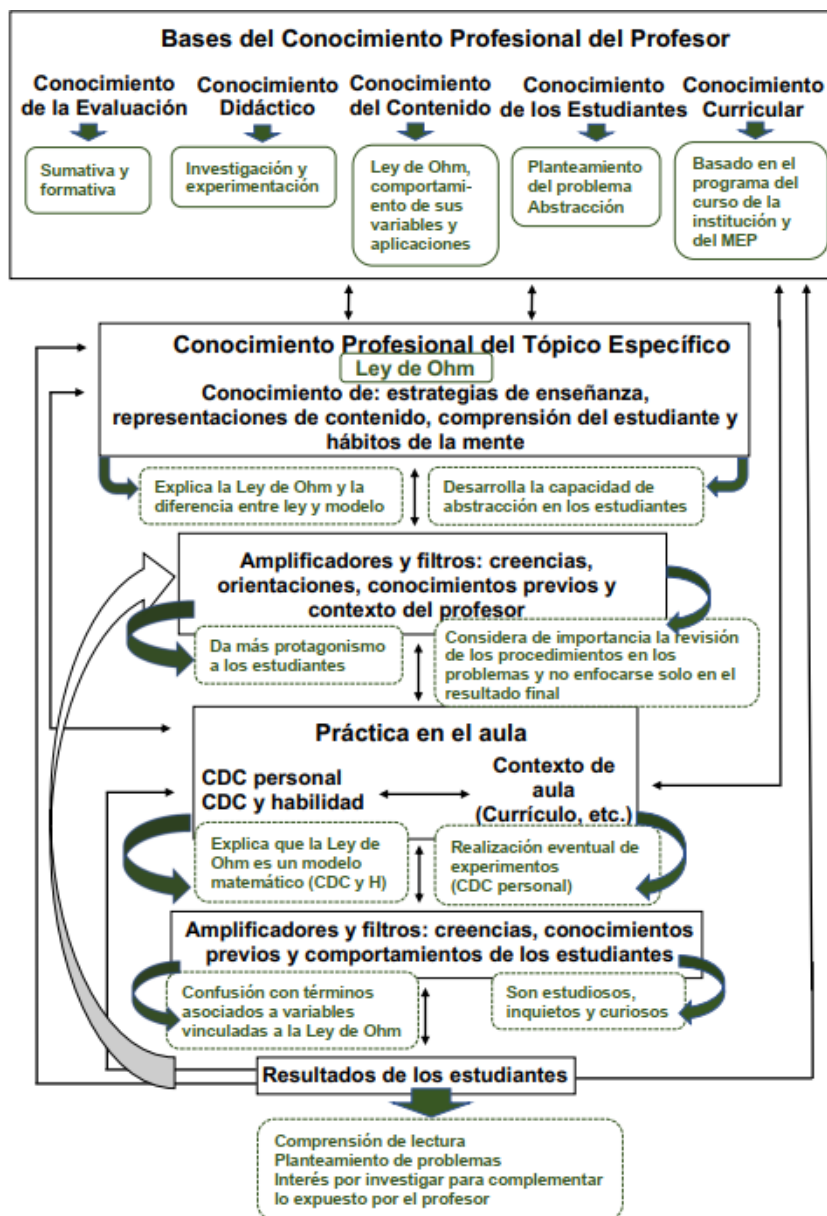
*Nota:* A partir de las declaraciones de la profesora de Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

Para el caso del profesor, en la figura V.6 se plasma el modelo de CDC conformado a partir de las declaraciones aportadas por este y fundamentado en lo expuesto por Gess-Newsome (2015) en la figura II.1. En la que sobre sale, en su CDC personal la consideración a realizar en sus clases futuras experimentos a manera de complemento a los aspectos conceptuales y que fomenten más la investigación, como ya lo ha hecho con otros recursos y actividades, además, de que, al momento de impartir las clases sobre la Ley de Ohm, resalta la diferencia entre ley y modelo; entre otros que se resumen y representan a continuación:

Figura V.6

Modelo de CDC de el profesor de Física



*Nota:* A partir de las declaraciones del profesor de Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

Mientras que su CDCF, en lo que respecta al conocimiento de la Física por enseñar de la Ley de Ohm, sobre sale por hacer la diferencia entre modelo y ley, resaltando que esta ley, es más bien un modelo matemático. Además, en el conocimiento didáctico, complementa sus explicaciones con historia de la ciencia, reforzando así el carácter teórico del curso, pero sin dejar

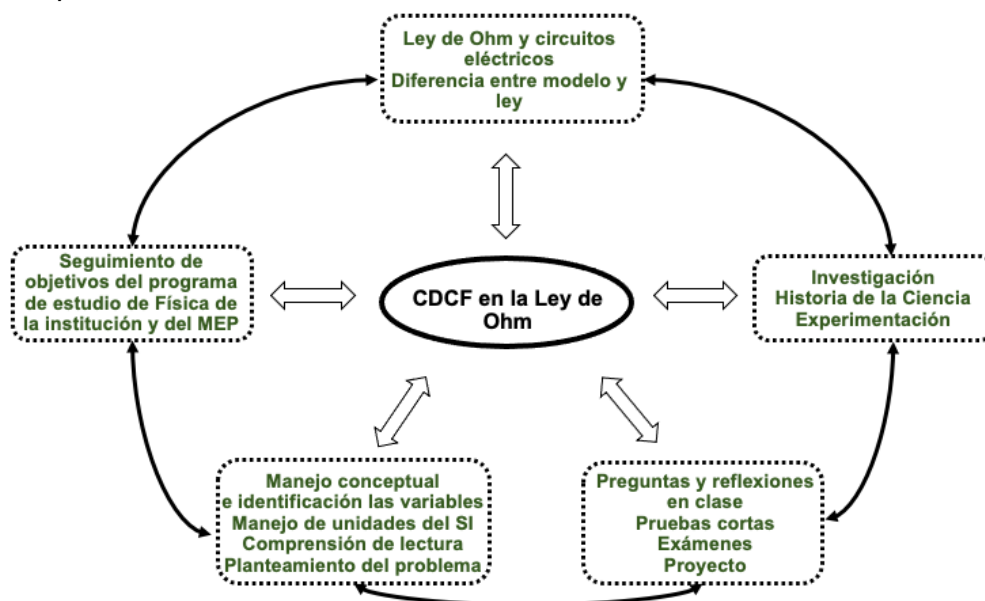


de lado, actividades experimentales complementarias como el proyecto, potenciando el interés investigativo que presentan los estudiantes.

Por otro lado, respecto al conocimiento de la evaluación, el profesor resalta la parte formativa, mediante las actividades que realiza, como las que menciona de poner a estudiantes a realizar ejercicios en la pizarra, con la ayuda de los demás compañeros y sus intervenciones, sin dejar lado, su interés en la revisión de los procedimientos en los ejercicios que plasma mediante pruebas cortas y exámenes, antes que solo verificar si la respuesta es la correcta o no. Asimismo, destaca la importancia de la identificación de las variables asociadas a la Ley de Ohm que deben tener los estudiantes, además de la comprensión de lectura y lo importante de que sepan plantear los problemas, entre otros factores, en lo que corresponde al conocimiento de los estudiantes en la enseñanza de la Física. Por último, en cuanto al conocimiento curricular, desarrolla los contenidos del plan del estudio y se encarga de llevar a cabo el resto de las obligaciones curriculares que le corresponden, todo lo anterior se resume en la figura V.7:

**Figura V.7**

*CDCF de el profesor de Física*



*Nota:* A partir de las declaraciones del profesor de Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

En cuanto al DPD y CPD, la profesora destaca entre otros aspectos, que es determinante que los profesores cuenten con formación y experiencia en manipulación de equipo de laboratorio, para así crear un mejor ambiente y desarrollo experimental en el contexto de la enseñanza de la Física y en particular de la Ley de Ohm, en comparación con otros que no estén familiarizados con el uso de instrumentación de laboratorio, colocando lo anterior dentro de las creencias ideológicas del CPD. Además, resaltó su rol de facilitadora y de acompañante en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, dándoles más autonomía y ayudándoles con dudas que estos presenten, por ejemplo, con la manipulación del equipo, enmarcándolo dentro de sus experiencias cotidianas.

Finalmente, entre lo manifestado, y enfatizando en el conocimiento científico, se detectó la importancia que hace la profesora, sobre conocer no solo sobre la Ley de Ohm, sino, de la comprensión de la relación entre las variables asociadas a este tópico (corriente, voltaje y resistencia), para así enseñarlo y plasmarlo con seguridad en los estudiantes. En la figura V.8 se ilustra el CPD de la profesora, junto con los aspectos, que se mencionaron anteriormente:

**Figura V.8**

*CPD manifestado por la profesora de Física*



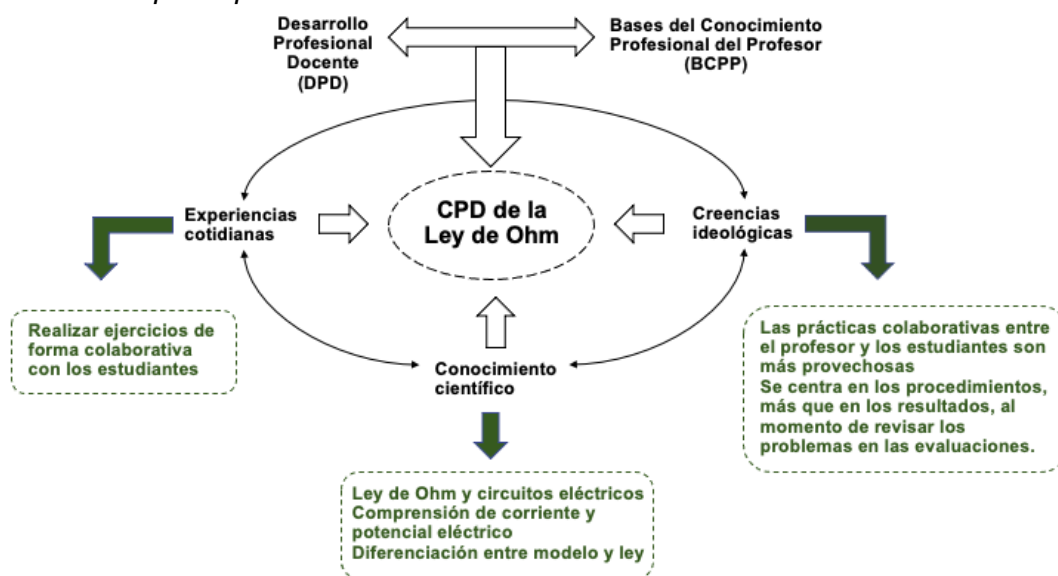
*Nota:* A partir de las declaraciones de la profesora de Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

Mientras que, en lo correspondiente al DPD y CPD de el profesor, sobresalen aspectos como los que se aprecian en la figura V.9, como su preferencia por la realización de prácticas colaborativas entre él y los estudiantes, antes que asignárselas y dejar que las realicen por su propia cuenta, ya que considera más provechoso hacerlas de forma conjunta, resaltando su rol de facilitador en el proceso de enseñanza y aprendizaje. De igual manera, sobresale la importancia que da el profesor a los procedimientos en las resoluciones de los problemas de los estudiantes, al momento de la revisión de las evaluaciones, como parte de sus creencias ideológicas. Así como, también el hecho de enfatizar la diferencia entre ley y modelo, además, de explicar corriente y potencial eléctrico, y demás aspectos de la Ley de Ohm, dentro del conocimiento científico, correspondiente a lo expuesto por el CPD.

**Figura V.9**

*CPD manifestado por el profesor de Física*



*Nota:* A partir de las declaraciones del profesor de Física.

*Fuente:* Elaboración propia.

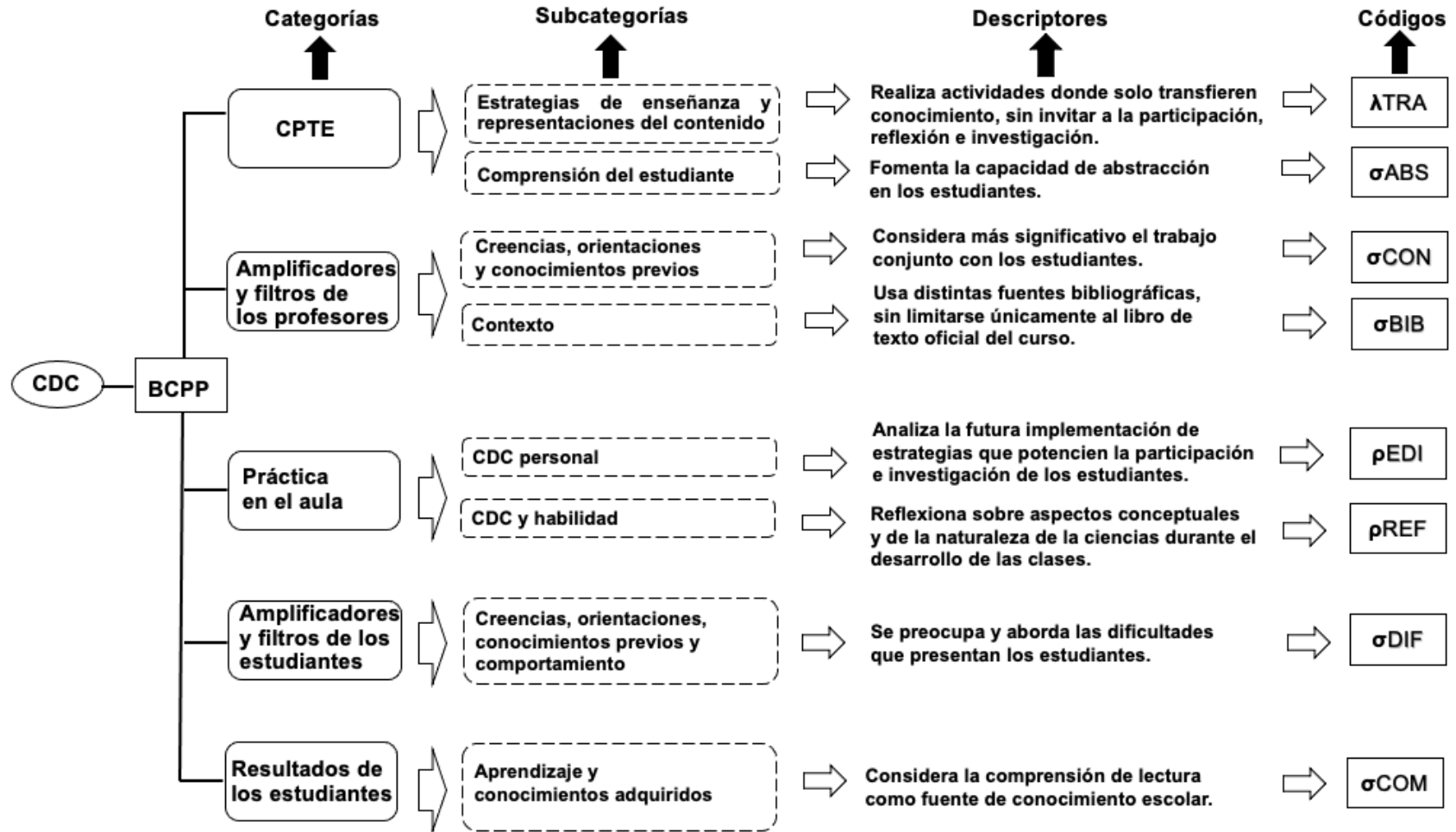
#### V.2.4 Sistema de categorías emergente

A partir del análisis de las reflexiones de los dos profesores de Física y basado en las BCPP en coherencia con las dimensiones técnica ( $\lambda$ ), práctica ( $\sigma$ ) y crítica ( $\rho$ ) de la HC, surge un sistema de categorías, el cual podrá ser utilizado y validado, como instrumento de segundo o tercer orden, analizar la reflexión de carácter declarativo en otro momento, para estudios similares.

Este sistema de categorías emergente presenta descriptores que plasman las actividades de los profesores en su contexto educativo, junto con códigos, compuestos por las letras griegas  $\lambda$ ,  $\sigma$  y  $\rho$ , correspondientes a las dimensiones de la HC, además de tres letras arbitrarias, que representan a las actividades inmersas en los descriptores. Entonces, el código  $\sigma$ ABS, indica que el profesor o profesora, se ubica en la dimensión práctica de la HC y que considera de importancia fomentar la capacidad de abstracción de los estudiantes; el  $\rho$ REF, corresponde a la dimensión crítica, ya que los profesores reflexionan sobre aspectos conceptuales y de la naturaleza de la ciencia. Mientras que,  $\lambda$ TRA, atañe a la dimensión técnica e indica que los profesores solo tienen un rol de transmisores de conocimiento, sin reflexionar ni promover la investigación en los estudiantes. En particular, este código se diseñó, a pesar de que los profesores participantes no presentaron indicios de estar en esta dimensión, con la idea que el sistema de categorías propuesto sirva para abarcar diferentes aspectos de los profesores en general y en base al CDC que vayan a presentar; así que, se consideró importante la representación de la dimensión técnica ( $\lambda$ ), para el caso de que se manifieste, en el supuesto de una futura implementación de este sistema. En la figura V.10 se presenta el sistema de categorías completo, conformado por las categorías, subcategorías en la que se fundamenta, así como los descriptores y códigos que se generaron.

Figura V.10

Sistema de categorías emergente



Nota: A partir de las declaraciones de los dos profesores de Física.

Fuente: Elaboración propia.

### V.3 Conclusiones, limitaciones y proyecciones de la investigación

**El CDC es un compendio de conocimientos sobre como los profesores entrelazan los saberes de los contenidos de la asignatura que imparten, junto con los saberes didácticos, curriculares, evaluativos y de los estudiantes en sus respectivos contextos de clase.** De ahí que, en esta investigación, se mostró el CDC de dos profesores de Física en el contexto de la enseñanza de la Ley de Ohm a nivel de educación secundaria.

A partir de las declaraciones de estos profesores se refleja el CDC de cada uno, respondiendo así a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de dos profesores de Física de Secundaria en la enseñanza de la Ley de Ohm?

Cuya respuesta, se resume **en una tendencia de ambos profesores de la dimensión práctica ( $\sigma$ ) hacia la crítica ( $\rho$ ) de la HC, en el sentido, en que van más allá de la realización de ejercicios de respuestas cerradas y por el contrario promueven, ejercicios y actividades que tienden a la reflexión e investigación**, como se represento en la figura V.1.

Teniendo claro su rol de facilitadores, además de potenciadores de la participación y protagonismo de los estudiantes, entre otros aspectos, que se mostraron en las figuras V.4 y V.6, mismas que describen de una forma más concreta el CDC sobre la Ley de Ohm de ambos y se complementan con el CDCF plasmado en las figuras V.5 y V.7, así como con su CPD mostrado en las figuras V8 y V9.

De lo analizado, se tiene que **el CDC de los dos profesores se fundamenta en la experiencia y los diversos contextos en los que se desarrollan sus clases, aunado a las percepciones sobre los estudiantes.** Ambos abordan la enseñanza del contenido de la Ley de Ohm, desde dos orientaciones distintas pero que se complementan entre sí, una desde el sentido teórico y la otra desde el enfoque experimental, lo que permitió, mostrar el CDC declarativo desde estos dos planteamientos. Asimismo, **destaca la tendencia a la planificación e implementación de estrategias didácticas basadas en herramientas tecnológicas y**

**digitales de aprendizaje, dando cabida al Conocimiento Didáctico Tecnológico del Contenido o *Technological Pedagogical Content Knowledge***, descrito por Mishra y Koehler (2006) como la integración de la tecnología con la didáctica, al momento de desarrollar los contenidos.

Con respecto a **limitaciones que tuvo la investigación, la principal se debió a la pandemia**, ya que se consideró la observación del desarrollo de una clase presencial de cada uno de los dos profesores. Así como, la validación de las preguntas de la entrevista a través de un cuestionario a un grupo pequeño de profesores de Física en ejercicio, para valorar la comprensión de las preguntas y sus correspondientes respuestas; sin embargo, no fue posible debido a esta situación.

En cuanto a las proyecciones de continuidad de esta investigación, se podrían utilizar las preguntas ReCo de la tabla III.2, con los cambios adecuados, en otros contenidos de Física, como Campo magnético y Electromagnético, ya que son los siguientes en enseñarse según los programas de estudio del MEP, así como en la mayoría de los cursos de Física, luego de la Ley de Ohm y Circuitos eléctricos. Además, en algún tema de Mecánica, como las Magnitudes escalares y vectoriales, debido a que es uno de los temas iniciales, así como de ser un contenido fundamental en la enseñanza de la Física, ya que, el Álgebra Vectorial es una herramienta esencial para diversos temas de Mecánica, Dinámica y Electromagnetismo. Teniendo en cuenta, **la validación e implementación futura del sistema de categorías emergente plasmado en la figura V.10, para así utilizarlo como elemento que asocie el CDC de los profesores, junto con las dimensiones de la HC y los obstáculos del DPD, inclusive usarlo como herramienta cuantitativa, en el sentido que se podrían hacer análisis de frecuencias de estas categorías**, para desarrollar investigaciones de carácter mixto. Por otro lado, no se descarta efectuar estudios similares, en las asignaturas de Biología, Química y Ciencias Naturales, en el contexto de la educación secundaria de Costa Rica. Además, de considerar la realización de este tipo de investigación a diferentes grupos de profesores, en formación y a punto de retirarse,

desde enseñanza primaria hasta enseñanza universitaria, que impartan, asignaturas o contenidos relacionados con las Ciencias Naturales, para así tener nociones de CDC, tanto al inicio como al final, del proceso formativo y laboral. Para generar una mayor visión de las necesidades, habilidades y concepciones que se requieren en un profesor de esta asignatura, fundamentadas en el CDC junto con el Conocimiento Didáctico Tecnológico del Contenido.

El investigar sobre CDC, en particular en la enseñanza de la de la Física, abre una variedad de implicaciones en la formación docente. Ya que, **pone en evidencia la importancia de diferentes aspectos indispensables en la mediación pedagógica de esta disciplina**, como la instrucción en equipo de laboratorio físico, simulaciones, laboratorios remotos, así como, la capacidad de diseñar experimentos con materiales caseros. Además, de fomentar durante la preparación de los futuros profesores en ejercicio, sobre tecnología educativa y metodologías activas, en las que se promueva la participación de los estudiantes como eje central, para convertir a los profesores de Física en facilitadores de aprendizaje y no en meros transmisores de métodos matemáticos para resolver ecuaciones y armado de equipos.

A partir de esta investigación, **se conoció y aprendió sobre el CDC en la enseñanza de la Física, que junto con la experiencia y contextos en los que están inmersos los profesores, inciden en la forma de planear y ejecutar sus clases**. Asimismo, a través de el desarrollo del estudio de estos casos, se profundizó en el uso de herramientas como las ReCo y la entrevista semiestructurada, así como el análisis de información cualitativa, que como investigador me ha generado una experiencia y aprendizaje valiosos, y una gran motivación para el desarrollo de futuras de investigaciones sobre CDC y CDCF.



## REFERENCIAS

Artículos científicos, tesis y libros de texto:

- Acevedo, J. (2008). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46.
- Amórtegui, E. F. (2018). *Contribución de las prácticas de campo a la construcción del conocimiento profesional del profesorado de biología*. Un estudio con futuros docentes de la Universidad Surcolombiana (Neiva, Colombia). Tesis Doctoral, Universitat de València, Valencia, España.
- Caamaño, A. (2011). *Didáctica de la Física y Química*. (1ª Ed.). Barcelona: Editorial Graó.
- Carlson J., & Daehler, K. R. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume., R. Cooper, & A. Borowski. (Eds.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*. Springer: Singapore.
- Cochran, K. F. & Jones, L. L. (1998). The subject matter knowledge of preservice science teachers. In B. J. Fraser & K. G. Tobin. (Eds.), *International handbook of science education* (Vol. 2, pp. 707–718). Dordrecht: Kluwer.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., y Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction: A framework for improving teaching and learning science. In J. Dillon, y D. Jorde. (Eds.), *Science education research and practice in Europe: Retrospective and prospective* (pp. 13–27). Rotterdam, Boston, Taipei: SENSE.
- Fernández, C. y Fernandes de Goes, L. (2014). Conhecimento pedagógico do conteúdo: estado da arte no ensino de ciências e matemática. En A. Garrritz, S. Daza, y M. G. Lorenzo. (Eds.), *Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamerica* (pp. 66-100) Saarbrük: Editorial Académica Española.
- García, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa, sobre los contenidos escolares*. (1ª Ed.). Sevilla: Díada.
- Garritz, A. (2010). Pedagogical Content Knowledge and the affective domain of Scholarship of Teaching and Learning. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 4(2), 1-6. <https://doi.org/fssr>
- Gess-Newsome, J. y Carlson, J. (2013). The PCK Summit Consensus Model and Definition of Pedagogical Content Knowledge. *The Symposium "Reports from the Pedagogical Content Knowledge (PCK) Summit, ESERA Conference 2013*. Nicosia: Chipre.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran. (Eds.), *Reexamining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). New York: Routledge.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Herrán, A. de la. (2003). El nuevo "paradigma" complejo-evolucionista en educación. *Revista Complutense de Educación*, 14(2), 499-562.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill

- Jiménez-Pérez, R., y Wamba, A. M. (2003). ¿Es posible el cambio en los modelos didácticos personales? Obstáculos en profesores de Ciencias Naturales de Educación Secundaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 17(1), 113-131.
- Lederman, N., Antink, A. & Bartos, S. (2014). Nature of Science, Scientific Inquiry, and Socio-Scientific Issues Arising from Genetics: A Pathway to Developing a Scientifically Literate Citizenry. *Science & Education*, 23, 285–302. <https://doi.org/f5spf5>
- Liepertz, S., & Borowski, A. (2018). Testing the Consensus Model: relationships among physics teachers' professional knowledge, interconnectedness of content structure and student achievement. *International Journal of Science Education*. 41(7), 890-910. <https://doi.org/gdj7bj>
- Loughran, J., Gunstone, R. F., Berry, A., Milroy, P., & Mulhall, P. (2000). Science cases in action: Developing an understanding of science teachers' pedagogical content knowledge. Paper presented at the *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. New Orleans: USA.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: developing ways of articulating and documentating professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391.
- López, W. (2013). El estudio de casos: una vertiente para la investigación educativa. *Educere*, 17(56), 139-144.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome, & N. Lederman. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. (Vol. 6, pp. 95-132) Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publisher.
- Machado, C., Teti, C., Haidar, A. y García, G. (2013). El uso de las representaciones del contenido (ReCo) para desarrollar Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en la formación de docentes. *IX Congreso Internacional sobre investigación en Didáctica de las Ciencias*. Girona: España.
- Martínez-Rivera, C. A., y Martínez-Rivera, V. G. (2012). El conocimiento escolar y las Hipótesis de Progresión: algunos fundamentos y desarrollos. *Nodos y Nudos*, 4(32), 50-64. <https://doi.org/gsvp>
- Melo, L., Cañada, F. y Mellado, V. (2013). El Conocimiento Didáctico del Contenido que ponen en juego tres profesores de Física de bachillerato alrededor de la enseñanza del campo eléctrico. *IX Congreso Internacional sobre investigación en Didáctica de las Ciencias*. Girona: España.
- Melo, L. (2015). *Desarrollo del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre el Campo Eléctrico con Profesores de Física Colombianos de Bachillerato, mediante un programa de intervención*. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
- Melo, L., Cañada, F., Mellado, V., y Buitrago, A. (2016). Desarrollo del Conocimiento Didáctico del Contenido en el caso de la enseñanza de la Carga Eléctrica en Bachillerato desde la práctica de aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 459-475. <https://doi.org/fss2>
- Melo, L., Cardona, G., Cañada, F., y Martínez, G. (2018). Conocimiento didáctico del contenido sobre el principio de Arquímedes en un programa de formación de profesores de Física en Colombia. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(76), 253-279.

- Melo, L., y Cañada, F. (2018). Emociones que emergen durante el análisis del conocimiento didáctico del contenido sobre el campo eléctrico. *Ciência & Educação*, 24(1). <https://doi.org/fss3>
- Ministerio de Educación Pública. (2017). *Programa de Estudio de Física Educación Diversificada*. San José, Costa Rica.
- Mishra, P., & Koehler, M.J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teacher College Record*, 106(9), 1017-1054.
- Mora, W. M. y Parga, D. (2008). El conocimiento didáctico del contenido en química: integración de las tramas de contenido histórico-epistemológicas con las tramas de contexto-aprendizaje. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*, 24, 56-81. <https://doi.org/fss4>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez, A. (2013). *Metodología de la investigación, Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis* (4.ª ed.). Colombia, Bogotá: Ediciones de la U.
- Perafán, G. (2016). El conocimiento profesional docente específico asociado a categorías particulares. Fundamentación con estudio de caso. En G. Perafán, E. Badillo, y A. Adúriz-Bravo. (Eds.), *Conocimiento y emociones del profesorado* (pp. 65-96). Bogotá, Colombia: Editorial Aula de Humanidades.
- Porlán, R., Azcárate, P., Martín del Pozo, R., Martín, J. y Rivero, A. (1996). Conocimiento profesional deseable y profesores innovadores: fundamentos y principios formativos. *Investigación en la Escuela*, 2, 23-38.
- Ponce, A. (2018). El Estudio de Caso Múltiple. Una estrategia de Investigación en el ámbito de la Administración. *Revista Publicando*, 15(2), 21-34.
- Retana-Alvarado, D. A., de las Heras Pérez, M. Á., Vázquez-Bernal, B. y Jiménez-Pérez, R. (2018). El cambio en las emociones de maestros en formación inicial hacia el clima de aula en una intervención basada en investigación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2602. <https://doi.org/fss7>
- Retana-Alvarado, D. A., y Vázquez-Bernal, B. (2019). Educación científica basada en la indagación: análisis de concepciones didácticas de maestros en ejercicio de Costa Rica a partir de un modelo de complejidad. *Revista Educación*, 43(2). <https://doi.org/fss8>
- Retana-Alvarado, D. A., Vázquez-Bernal, B., de las Heras Pérez, M. A., y Jiménez-Pérez, R. (2021). Las causas del cambio emocional en el clima de aula desde la Hipótesis de la Complejidad. *Revista Interdisciplinaria Sulear*, 9, 170-190.
- Resnick, R., Halliday, K., Krane, K. (2002). *Física*. Vol. I. (5.ª ed.). México: CECSA.
- Reyes, J. (2010). Tendencias en investigación en el Conocimiento Pedagógico de Contenido de profesores de Física en formación inicial. *Revista de Enseñanza de la Física*. 23(1), 7-19.
- Reyes, J., y Martínez, C. (2013). Conocimiento didáctico del contenido en la enseñanza del campo eléctrico. *Revista Tecné Episteme y Didaxis*, 33(1), 37-60.
- Rivero, A., Martín del Pozo, R., Azcárate, P. y Porlán, R. (2017). Cambio del conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 29-52. <https://doi.org/fss9>
- Rodríguez, R., y López, J. (2020). Creencias y prácticas curriculares de docentes chilenos de Física en Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(2), 121-139. <https://doi.org/fstb>

- Settlage, J. (2013). On Acknowledging PCK's Shortcomings. *Journal of Science Teacher Education*, 24(1), 1-12. <https://doi.org/fstv>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/bg52xz>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–23. <https://doi.org/gc8qnc>
- Stake, R. E. (2005). Qualitative case studies. In N. K. Denzin, & Y. S. Lincoln. (Eds.) *The SAGE Handbook of Qualitative Research* (pp. 443-466). Thousand Okas: SAGE Publications.
- Valbuena, E. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia)*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., y Mellado, V. (2006). La Hipótesis de la Complejidad como integración reflexión-práctica. *Actas de XXII Encuentros Nacionales de Didácticas de las Ciencias Experimentales*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza: España.
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., Matilde, M. y Mellado, V. (2009). Aprendizaje escolar y obstáculos. Estudio de caso de una profesora de ciencias de secundaria. *Ciência e Educação*, 15(1), 1-19. <https://doi.org/bnp2vn>
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R. y Mellado, V. (2010a). Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 417-432.
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., Mellado, V. y Taboada, M. (2010b). La Resolución de Problemas: ¿podemos cambiar el tipo de actividades en el aula? Estudio de un Caso. En A.M. Abril y A. Quesada. (Eds.) *XXIV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 118-125. Jaén. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén. Andalucía: España.
- Vázquez-Bernal, B., Mellado, V., Jiménez-Pérez, R. & Taboada, M. (2012). The process of chance in a science teacher's professional development: A case study based on the types of problems in the classroom. *Science Education*, 96(2), 337-363. <https://doi.org/fmrfvf>
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., y Mellado, V. (2019). El conocimiento didáctico del contenido (CDC) de una profesora de ciencias: reflexión y acción como facilitadores del aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, 37(1), 25-53. <https://doi.org/fstf>
- Verdugo-Perona, J., Solaz-Portolés, J., y Sanjosé-López, V. (2017). El Conocimiento Didáctico del Contenido en Ciencias: Estado de la cuestión. *Cuadernos de Pesquisa*, 47(164). 586-611. <https://doi.org/fstg>
- Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2008). *Física*. (6ª Ed.). México: Pearson, Prentice Hall.
- Young, H., Freedman, A., Ford, L., Sears, F., Zemansky, M. (2013). *Física universitaria con Física moderna*. Vol. II. (13.ª ed.). México: Pearson.
- Zhang, B.H. (2011). CK, PCK, TPCK, and Non-intellectual Factors in sustaining an iMVT Innovation for Science Learning. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2142–2147.

Sitios web y videos de *YouTube*:

PhET Colorado. (s.f.). *Ley de Ohm*.

[https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_es.html)

Vernier. (2020). *Vernier Circuit Board 2*.

<https://www.vernier.com/product/vernier-circuit-board-2/>

Andalón, J. [math2me] (2016, diciembre 19). Cómo resolver un circuito eléctrico en serie. [Video].

<https://youtu.be/-zuNO1MoPz4>

(s.a.). [Espacio de César] (2011, octubre 03). El motor eléctrico más simple casero, con batería y un imán. [Video]. <https://youtu.be/StGVDqsbP0>

## APÉNDICES

Apéndice 1:

Entrevista semiestructurada (guión, 3 páginas), versión definitiva que incluye sugerencias y observaciones de expertos nacionales e internacionales.

Primera página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

### Guión de entrevista semiestructurada

Trabajo Final de Graduación (modalidad Tesis) para optar por el Grado de Licenciatura en la Enseñanza de la Física por la Universidad de Costa Rica	
Título del trabajo	Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio
Estudiante	Marco Vinicio López Gamboa
Director de TFG	Dr. Diego Armando Retana Alvarado
Fecha de la entrevista	
Docente entrevistado	
Cargo e institución educativa donde labora	
El propósito de la entrevista se focaliza en capturar el del Conocimiento Didáctico del Contenido declarado sobre la Ley de Ohm de dos profesores que imparten la asignatura de Física en Educación Secundaria en Costa Rica.	
Bases del conocimiento profesional por Gess-Newsome (2015)*	Preguntas
Conocimiento del contenido	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En su opinión, ¿qué situación problemática explica o resuelve la Ley de Ohm?, ¿qué estudia la Ley de Ohm?</li> <li>2. ¿De qué variables depende la Ley de Ohm, cómo se relacionan estas variables y cuál es la forma de la dependencia entre ellas?</li> <li>3. ¿Cuál es la secuencia didáctica que utiliza habitualmente para la enseñanza de la Ley de Ohm?, descríbala.</li> <li>4. ¿Qué otras estrategias o recursos se podrían diseñar o implementar para enseñar sobre Ley de Ohm? ¿por qué?</li> <li>5. ¿Qué dificultades o limitaciones enfrenta usted como docente cuando enseña la Ley de Ohm?</li> </ol>

Segunda página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

	6. ¿Existe otro factor que influya en la enseñanza y el aprendizaje sobre la Ley de Ohm? Explíquelo.
Conocimiento didáctico	<p>7. ¿Qué habilidades espera que los estudiantes desarrollen cuando usted enseña la Ley de Ohm?</p> <p>8. ¿Por qué es importante que los estudiantes aprendan sobre la Ley de Ohm?</p> <p>9. ¿Cómo inicia la primera clase sobre la Ley de Ohm, con preguntas o situaciones problemáticas, muestra relaciones con la historia y naturaleza de la ciencia y/o relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad?</p> <p>10. ¿Cuál es el rol del profesor y del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje y evaluación de la Ley de Ohm?</p>
Conocimiento curricular	<p>11. ¿Qué recursos y/o referencias bibliográficas utiliza y/o utilizará al momento de planificar la clase y explicar el contenido de Ley de Ohm?</p> <p>12. ¿Con cuáles otros contenidos de Física indicados en los programas de estudio de Física del MEP se relaciona la Ley de Ohm? ¿Dependen de esta, para su explicación y aprendizaje?</p>

Tercera página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

<p>Conocimiento de los estudiantes</p>	<p>13. ¿Qué dificultades presentan los estudiantes a la hora de trabajar la Ley de Ohm?</p> <p>14. ¿Qué conoce acerca de las ideas previas o alternativas de los estudiantes sobre la Ley de Ohm? ¿Consulta las revistas de Didáctica de las Ciencias para informarse científicamente sobre esas ideas? ¿Utiliza esas ideas como punto de partida para hacerlas progresar a través de una secuencia de actividades?</p> <p>15. ¿Qué estrategias lleva a cabo y/o consideraría implementar en la práctica para fortalecer el clima de clase con sus estudiantes?</p> <p>16. ¿Considera las emociones de los estudiantes en la mediación pedagógica?</p>
<p>Conocimiento de evaluación</p>	<p>17. ¿De qué manera y con qué instrumentos evalúa y/o evaluará el contenido Ley de Ohm?</p> <p>18. ¿A qué formas de evaluación (cualitativas y/o cuantitativas) han respondido los estudiantes de manera favorable o desfavorable en cuanto a sus resultados de aprendizaje?</p>

\*Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran. (Eds.), *Reexamining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). New York: Routledge.



Apéndice 2:

Consentimiento informado (4 páginas), para suministrar a los docentes participantes.

Primera página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

**Formulario de Consentimiento Informado basado en el del Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica**

**Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio**

Nombre de el/la investigador/a principal: Marco Vinicio López Gamboa

Nombre del/la participante: \_\_\_\_\_

Medios para contactar a la/al participante: \_\_\_\_\_

Correo electrónico: \_\_\_\_\_

**A. PROPÓSITO DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en una investigación en temas de educativos, relacionados propiamente con docentes del área de Física para el desarrollo de una tesis de licenciatura, a cargo de Marco Vinicio López Gamboa, estudiante de la Licenciatura en Enseñanza de la Física bajo la supervisión del Dr. Diego Armando Retana Alvarado, docente e investigador, ambos de la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica. La investigación tiene como propósito analizar el Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de secundaria en ejercicio a través de dos estudios de casos.

**B. ¿QUÉ SE HARÁ?**

Su aporte a este estudio consiste en participar en una entrevista, conformada de una serie de preguntas explícitas, y que a través de sus respuestas y la conversación que con el investigador, se genere una reflexión, para obtener la información requerida para establecer un sistema de categorías (de carácter aproximativo) que permita analizar el Conocimiento Didáctico del Contenido personal de su persona como docente Física, dicha entrevista puede realizarse de forma presencial (en un lugar acordado por usted y el investigador) o de forma remota (vía alguna de las siguientes plataformas: Skype, Zoom, etc., acordada por usted y el investigador).

La entrevista tendrá una duración de 1 hora a 2 horas, es del tipo "semi estructurada", en la cual se le van a realizar una serie de preguntas, que generan conversación entre usted y el investigador, la misma en caso de realizarse de forma presencial, el audio será grabado y si por el contrario se diera de forma remota tanto el audio como el video serán grabados, para facilitar la transcripción textual (en caso de ser requerida), procesamiento y análisis de la información suministrada por su persona. Los resultados de la investigación usted podrá apreciarlos en la futura de tesis.

Firma del sujeto participante: \_\_\_\_\_

Segunda página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

### **C. RIESGOS**

La entrevista no le generará ningún riesgo físico o mental, su identidad será protegida, es probable que la transcripción y alguno de los archivos (audio o video) sean adjuntados en los respaldos digitales del trabajo final graduación, para su almacenamiento en alguna de las bibliotecas de la universidad.

### **D. BENEFICIOS**

En esta investigación usted NO obtendrá ningún beneficio directo. Sin embargo, con la realización del estudio se aportará a la comunidad docente e investigadores educativos información sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido propiamente en el contexto de la enseñanza de la Física, que a su vez será de utilidad para su persona en su quehacer como docente de esta disciplina.

Eventualmente, usted tendría acceso a los resultados de la investigación, ya sea de forma presencial o virtual remota, como lo puede ser en la defensa de la tesis, una copia de la presentación, o de la tesis misma en formato digital.

### **E. VOLUNTARIEDAD**

Su participación en todo momento durante el desarrollo de la entrevista es voluntaria y usted puede negarse a participar o retirarse en cualquier momento sin perder ningún beneficio de los expuesto en el punto "D", ni mucho menos ser castigada por su retiro o falta de participación.

### **F. CONFIDENCIALIDAD**

Su participación y la información que usted suministre para el desarrollo de la investigación estará resguardada, así como su identidad, la cual en el planteamiento, desarrollo y publicación de la investigación no será expuesta, haciendo uso de un nombre ficticio, manteniendo así su anonimato. Las únicas personas que tendrán acceso a los registros de la información con su nombre, para verificar procedimientos y datos de la investigación, serán el investigador Marco Vinicio López Gamboa, carnet universitario A32881, correos electrónicos: MARCOVINICIO.LOPEZ@ucr.ac.cr y mviniopcn@gmail.com, y su supervisor, el Dr. Diego Armando Retana Alvarado, correo electrónico: DIEGOARMANDO.RETANA@ucr.ac.cr.

### **G. MUESTRAS BIOLÓGICAS**

Su participación en este estudio no requiere de ningún tipo de muestras biológicas.

Firma del sujeto participante: \_\_\_\_\_

Tercera página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

## **H. INFORMACIÓN**

Antes de dar su autorización debe hablar con el o la profesional responsable de la investigación o sus colaboradores sobre este estudio y ellos deben haber contestado satisfactoriamente todas sus preguntas acerca del estudio y de sus derechos. Si quisiera más información más adelante, puede obtenerla llamando a Marco Vinicio López Gamboa al teléfono celular: 8729-5464 o a los correos electrónico: MARCOVINICIO.LOPEZ@ucr.ac.cr y mviniciopcn@gmail.com, así como al Dr. Diego Armando Retana Alvarado al teléfono 2511-8893 o al correo electrónico: DIEGOARMANDO.RETANA@ucr.ac.cr.

Cualquier consulta adicional puede comunicarse a la Escuela de Formación Docente de la Facultad de Educación de la Universidad de Costa Rica al teléfono 2511 5388 y/o al correo electrónico asuntosesudiantiles.efd@ucr.ac.cr.

Usted NO perderá ningún derecho por firmar este documento, además recibirá una copia de esta fórmula firmada para su uso personal.

Firma del sujeto participante: \_\_\_\_\_

Cuarta página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

### CONSENTIMIENTO

He leído o se me ha leído toda la información descrita en esta fórmula antes de firmarla. Se me ha brindado la oportunidad de hacer preguntas y estas han sido contestadas en forma adecuada. Por lo tanto, declaro que entiendo de qué trata el proyecto, las condiciones de mi participación y accedo a participar como sujeto de investigación en este estudio

**\*Este documento debe de ser autorizado en todas las hojas mediante la firma, (o en su defecto con la huella digital), de la persona que será participante o de su representante legal.**

\_\_\_\_\_  
Nombre, firma y cédula del sujeto participante

\_\_\_\_\_  
Lugar, fecha y hora

\_\_\_\_\_  
Nombre, firma y cédula del/la investigador/a que solicita el consentimiento

\_\_\_\_\_  
Lugar, fecha y hora

Firma del sujeto participante: \_\_\_\_\_

Apéndice 3:

Breve descripción de la investigación (2 páginas), para enviar a expertos validadores.

Primera página:

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de  
Licenciatura en la Enseñanza de la Física

**Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido  
sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en  
ejercicio**

Marco Vinicio López Gamboa

Junio 2020

Segunda página:

#### Objetivo general

- Analizar el Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio a través de dos estudios de caso.

#### Objetivos específicos

- Establecer un sistema de categorías con carácter aproximativo que permita el análisis del CDC personal a partir de un modelo de conocimiento profesional (Gess-Newsome, 2015), en coherencia con las dimensiones técnica, práctica y crítica de la Hipótesis de la Complejidad (Vázquez-Bernal, Mellado, Jiménez-Pérez y Taboada, 2012).
- Describir el CDC sobre la Ley de Ohm a partir de la reflexión con carácter declarativo del profesorado.
- Distinguir la naturaleza de los obstáculos implicados en la enseñanza de la Ley de Ohm.

## Apéndice 4:

Entrevista semiestructurada (guión, 2 páginas), versión enviada a expertos nacionales e internacionales para su respectiva validación y aporte de recomendaciones u observaciones.

Primera página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

### Guión de entrevista semiestructurada

Trabajo Final de Graduación (modalidad Tesis) para optar por el Grado de Licenciatura en la Enseñanza de la Física por la Universidad de Costa Rica	
Título del trabajo	Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio
Estudiante	Marco Vinicio López Gamboa
Director de TFG	Dr. Diego Armando Retana Alvarado
Fecha de la entrevista	
Docente entrevistado	
Cargo e institución educativa donde labora	
El propósito de la entrevista se focaliza en capturar el CDC declarado sobre la Ley de Ohm de dos profesores que imparten la asignatura de Física en Educación Secundaria en Costa Rica.	
Preguntas	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Qué espera que los estudiantes aprendan cuando usted enseña el contenido de la Ley de Ohm?</li> <li>2. ¿Por qué es importante que los estudiantes aprendan el conocimiento de Ley de Ohm? ¿Para qué enseñar Ley de Ohm?</li> <li>3. ¿Cómo se enseña el contenido de la Ley de Ohm en el contexto escolar? ¿Haciendo qué?, ¿se muestran relaciones con la historia y naturaleza de la ciencia? ¿existen relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad?</li> <li>4. ¿Cuál es el rol del profesor y del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje y evaluación de la Ley de Ohm?</li> <li>5. ¿Qué fuentes o referencias bibliográficas utiliza al momento de planificar la clase y explicar el contenido Ley de Ohm? ¿Apuntes de cuando era estudiante? ¿Libros de texto?</li> <li>6. ¿Con cuáles otros contenidos se relaciona la Ley de Ohm? ¿Dependen de esta, para su explicación y aprendizaje?</li> <li>7. ¿Cuáles son las principales dificultades que enfrentan los estudiantes en el aprendizaje de la Ley de Ohm?</li> </ol>	

Segunda página:



Universidad de Costa Rica  
Facultad de Educación  
Escuela de Formación Docente  
Departamento de Educación Secundaria

**FE** Facultad de  
Educación

8. ¿Qué conoce acerca de las ideas previas o alternativas de los estudiantes sobre la Ley de Ohm? ¿Consulta las revistas de Didáctica de las Ciencias para informarse científicamente sobre esas ideas? ¿Utiliza esas ideas como punto de partida para hacerlas progresar a través de una secuencia de actividades?
9. ¿Cuál es la secuencia didáctica que utiliza habitualmente para la enseñanza de la Ley de Ohm?, puede describirla.
10. ¿Qué otras estrategias se podrían diseñar o implementar para enseñar sobre Ley de Ohm? ¿por qué?
11. ¿Utiliza recursos tecnológicos en la enseñanza sobre la Ley de Ohm? ¿Cuáles recursos emplea?
12. ¿Qué estrategias lleva a cabo en la práctica para fortalecer el clima de aula? ¿Considera las emociones en la mediación pedagógica?
13. ¿Qué dificultades o limitaciones enfrenta usted como docente cuando enseña el contenido de la Ley de Ohm?
14. ¿De qué manera y con qué instrumentos evalúa el contenido Ley de Ohm?
15. ¿A qué formas de evaluación han respondido los estudiantes de manera favorable o desfavorable en cuanto a sus resultados de aprendizaje?
16. ¿Existe otro factor que influya en la enseñanza y el aprendizaje sobre la Ley de Ohm?



Apéndice 5:

Plantilla de carta de validación (1 página) para expertos nacionales.

Validación de instrumento por juicio de expertos nacionales: entrevista  
semiestructurada

Lugar, DD de MM del AAAA

Yo \_\_\_\_\_ identificación \_\_\_\_\_  
profesor(a) de la Universidad \_\_\_\_\_,  
experto(a) en Física y enseñanza de la Física, certifico que el instrumento “Guión de  
entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del  
Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de  
Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación.  
En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente,  
su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

Nombre y firma de experto

Apéndice 6:

Plantilla de carta de validación (1 página) para expertos internacionales.

Validación de instrumento por juicio de expertos internacionales: entrevista  
semiestructurada

Lugar, DD de MM del AAAA

Yo \_\_\_\_\_ identificación \_\_\_\_\_  
profesor(a) de la Universidad \_\_\_\_\_,  
experto(a) en Didáctica de las Ciencias Experimentales, certifico que el instrumento  
“Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de  
casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de  
Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su  
aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado  
teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

Nombre y firma de experto

Apéndice 7:

Carta de validación de experto internacional Dr. Bartolomé Vázquez Bernal, de España.

Validación de instrumento por juicio de expertos internacionales: entrevista  
semiestructurada

Cádiz (España), 5 de junio de 2020

Yo Bartolomé Vázquez Bernal profesor(a) de la Universidad Huelva (Andalucía, España) experto(a) en Didáctica de las Ciencias Experimentales, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

Recordar los criterios éticos de información y tratamientos de datos anónimos hacia los entrevistados.



Dr. Bartolomé Vázquez Bernal

## Apéndice 8:

Carta de validación de experto internacional Dr. Antonio Alejandro Lorca Marín, de España.

Validación de instrumento por juicio de expertos internacionales: entrevista  
semiestructurada

Huelva, 05 de 06 del 2020

Yo Antonio Alejandro Lorca Marín, identificación 75549768N profesor(a) de la Universidad de Huelva (España), experto(a) en Didáctica de las Ciencias Experimentales, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

*Véase el documento adjunto*

Dr. Antonio A. Lorca Marín

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Antonio A. Lorca Marín', written over a set of horizontal lines.

Apéndice 9:

Carta de validación de experta internacional Dra. Linda Silva Arias, de Chile.

Validación de instrumento por juicio de expertos internacionales: entrevista semiestructurada

Talca, Chile, 12 de 06 del 2020

Yo Linda Silva Arias, profesor(a) de la Universidad de Talca, experto(a) en Didáctica de las Ciencias Experimentales, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

*Encuentro que las preguntas son precisas, dejando visibilizar un hilo conductor adecuado al tema, permitiendo así una exploración del CDC sobre la Ley de Ohm declarado por el profesorado.*

*En este orden de ideas y debido a que uno de los objetivos de esta investigación es establecer un sistema de categorías, es recomendable que en una columna al lado derecho del guion de la entrevista se permita visibilizar las posibles categorías que podrían surgir de las respectivas preguntas, dado que es evidente que unas preguntas están dirigidas al conocimiento de los estudiantes, otras al conocimiento de las estrategias... de acuerdo al modelo acogido desde Gess-Newsome. Sin embargo, considero que hacerlas explícitas directamente en el guión, pueden ser de ayuda para el momento del análisis sin dejar de lado que pueden surgir nuevas categorías propuesta por el directo investigador.*



Dra. Linda Silva Arias

Apéndice 10:

Carta de validación de experto internacional Dr. Carlos Becerra Labra, de Chile.

Validación de instrumento por juicio de expertos internacionales: entrevista  
semiestructurada

Talca, Chile, 06 de junio de 2020

Yo, Carlos Becerra Labra, Magister en Ciencias Físicas y Doctor en Enseñanza de la Física, Académico de Jornada Completa de la Universidad de Talca, Talca, Chile, experto(a) en Didáctica de las Ciencias Experimentales, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicional:*

*El tema del estudio me parece interesante, sólo sugiero agregar algunas preguntas, y ajustar otras. Todos estos cambios se incluyen en instrumento respectivo.*

*Sugiero, tener presente que es un estudio del CDC, éste se refiere, entre otros aspectos, sobre las formas o maneras en que los profesores comprenden y representan los conocimientos de la disciplina a los estudiantes.*

Dr. Carlos Becerra Labra

Apéndice 11:

Carta de validación de experto internacional Dr. Elías Francisco Amórtegui Cedeño, de Colombia.

Validación de instrumento por juicio de expertos internacionales: entrevista semiestructurada

Neiva, 10 de Junio del 2020

Yo Elías Francisco Amórtegui Cedeño identificación 1018409127 profesor(a) de la Universidad Surcolombiana, experto(a) en Didáctica de las Ciencias Experimentales, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

*Agradezco la oportunidad de validar este instrumento. En el documento “entrevista semiestructurada” se encuentran algunas de mis sugerencias. Sin embargo, aprovecho este espacio para sugerirles que organicen las preguntas por temáticas. Es decir: las primeras cinco acerca del profesor, después sobre los estudiantes, los medios para enseñar la Ley de Ohm y así sucesivamente.*

Dr. Elías Francisco Amórtegui Cedeño

Apéndice 12:

Carta de validación de experto nacional Lic. Gustavo De Lemos, de Costa Rica.

Validación de instrumento por juicio de expertos nacionales: entrevista  
semiestructurada

11 de junio del 2020

Yo Gustavo De Lemos Morales identificación 108830512 profesor(a) de la Universidad Estatad a Distancia, experto(a) en Física y enseñanza de la Física, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

*Tomar en cuenta que se vive un proceso educativo a distancia por el virus COVID-19, y depende de cuando sea aplicado este instrumento, el formato de algunas interrogantes tienen que modelarse en función de la metodología a distancia en sustitución de la presencialidad.*

GUSTAVO  
ADOLFO DE  
LEMONS MORALES  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por GUSTAVO  
ADOLFO DE LEMOS  
MORALES (FIRMA)  
Fecha: 2020.06.11  
20:34:45 -04'00'

Nombre y firma de experto



Apéndice 13:

Carta de validación de experto nacional Dr. Herberth Morales Ríos, de Costa Rica.

Validación de instrumento por juicio de expertos nacionales: entrevista  
semiestructurada

San José, 8 de junio del 2020

Yo Herberth Morales Ríos identificación 1-0804-0504 profesor(a) de la Universidad de Costa Rica, experto(a) en Física y enseñanza de la Física, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

*Que cada ítem del instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” conste de una única pregunta para facilitar la aplicación de la misma y convertir por tanto las otras preguntas del ítem en frases explicativas, ejemplo: en ítem 5 cambiar ¿Apuntes de cuando era estudiantes? ¿Libros de texto? → Ej. apuntes de cuando era estudiante, libros de texto, revistas científicas, etc.*



Dr. Herberth Morales Ríos

Apéndice 14:

Carta de validación de experto nacional Dr. rer. nat. Francisco Frutos Alfaro, de Costa Rica.

Validación de instrumento por juicio de expertos nacionales: entrevista  
semiestructurada

San José, 8 de Junio del 2020

Yo, Francisco Frutos Alfaro profesor de la Universidad de Costa Rica, experto en Física y enseñanza de la Física, certifico que el instrumento “Guión de entrevista semiestructurada” correspondiente al TFG denominado “Estudio de casos del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la Ley de Ohm en profesores de Física de Secundaria en ejercicio” cumple con los criterios de calidad suficientes para su aplicación. En este sentido, responde a los objetivos de la investigación, está sustentado teóricamente, su redacción es concisa y coherente.

*Recomendaciones u observaciones adicionales:*

*Fco Frutos A.*

Dr. rer. nat. Francisco Frutos Alfaro

Profesor

Escuela de Física

Universidad de Costa Rica