



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**LA ENSEÑANZA DE LA DIFRACCIÓN A TRAVÉS DE LA  
MODELACIÓN COMPUTACIONAL: UNA APUESTA POR APRENDER  
CIENCIA, SOBRE CIENCIA Y A HACER CIENCIA**

Autor(es)

Claudia Marcela Marín

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Medellín, Colombia

2020



La enseñanza de la difracción a través de la modelación computacional: una apuesta por aprender ciencia, sobre ciencia y a hacer ciencia

**Claudia Marcela Marín**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Magíster en Educación en Ciencias Naturales**

Asesores (a):

Sonia Yaneth López Ríos

Doctora en Enseñanza de las Ciencias

Línea de Investigación:

Línea de investigación en TIC para la Enseñanza de las Ciencias

Grupo de Investigación:

PiEnCias

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Medellín, Colombia

2020

## **AGRADECIMIENTOS**

A Jesús por ser mi sustento y quien me guía en cada paso de mi vida.

A la profesora Sonia López por su acompañamiento, paciencia y confianza; sus palabras de apoyo fueron fundamentales para culminar con éxito esta investigación.

A mi familia, quienes, con su paciencia, apoyo y aliento me animaron a continuar en medio del cansancio.

A mi compañera de maestría Mónica Cardona, por su apoyo y sus palabras de motivación cuando sentía desfallecer.

A mis amigos por su compañía y motivación, por creer en mí para cumplir mis objetivos.

A la I.E.R. Piedras Blancas, por abrirme las puertas y brindarme los espacios para la ejecución de esta propuesta.

A mis evaluadores por valorar mi trabajo, por su disposición y sus importantes apreciaciones.

A la profesora María Mercedes Jiménez, por su cariño, comprensión y apoyo.

Al grupo de investigación Perspectivas de investigación en Educación en Ciencias (PiEnCias), por respaldar mi investigación y permitirme hacer parte de ellos.

## RESUMEN

La presente investigación parte de una reflexión sobre la necesidad de una enseñanza de las ciencias en secundaria que favorezca el aprendizaje significativo y crítico y que responda a las exigencias hechas desde el Ministerio de Educación Nacional. De este modo, surge una propuesta de enseñanza basada en tres principios del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010) y en los Retos de la Educación Científica de Hodson (2003, 2014), con el fin de analizar los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción, por parte de los estudiantes de undécimo grado de la I.E.R Piedras Blancas. Esta propuesta de enseñanza se implementó haciendo uso del diagrama AVM y del método POE para facilitar la conceptualización del fenómeno y el análisis del modelo computacional. Los hallazgos se relacionan con tres categorías, aprender ciencia, aprender sobre ciencia y aprender a hacer ciencia. En la primera se resaltan los aportes de la modelación computacional para facilitar el reconocimiento de variables y sus relaciones en el modelo, además de favorecer la comprensión del fenómeno y su conceptualización; en la segunda, la modelación computacional permite comprender la diferencia entre modelo y la realidad así como profundizar en el análisis del modelo teórico y/o matemático como sustento del modelo computacional; y en la tercera favorece la interacción social y el cuestionamiento para generar criticidad frente al conocimiento. La implementación de esta propuesta en otros espacios de enseñanza de la difracción es pertinente para propiciar aprendizajes significativos y críticos.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
2.1. Objetivo General .....	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
3.1. Modelación y simulación en la enseñanza de la óptica.....	24
3.2. Referentes teóricos que apoyan la enseñanza de la óptica.....	26
3.3. Estrategias didácticas y de enseñanza implementadas para abordar fenómenos ópticos.....	26
4. REFERENTES TEÓRICOS .....	30
4.1. Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.....	30
4.2. Retos de la educación en ciencias (aprender ciencia, aprender sobre ciencia y aprender a hacer ciencia) .....	33
4.3. Relación entre Aprendizaje Significativo Crítico y los retos de la educación en ciencias.....	37
4.4. La Modelación desde la visión de Mario Bunge.....	39
4.5. La Modelación Computacional.....	41
5. FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA.....	44
5.1. Paradigma y enfoque de investigación .....	44
5.2. Acerca del contexto y los participantes.....	45
5.3. Instrumentos y técnicas para la recolección de la información.....	46
5.4. Propuesta de Enseñanza.....	52
5.4.1. Primera fase. Predicciones.....	53
5.4.2. Segunda fase. Observaciones.....	56
5.4.3. Tercera fase. Explicaciones.....	57
5.5. Instrumentos y procedimientos para el análisis de la información.....	58
5.6. Proceso de construcción de las categorías para el análisis.....	60
5.6.1. Aprender ciencia.....	61
5.6.2. Aprender sobre ciencia.....	63

5.6.3. Aprender a hacer ciencia.....	63
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	67
6.1. Aprender ciencia.....	67
6.2. Aprender sobre ciencia.....	83
6.3. Aprender a hacer ciencia.....	90
7. CONSIDERACIONES FINALES .....	97
7.1 Conclusiones .....	97
7.2 Recomendaciones y perspectivas futuras de investigación .....	100
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102
9. ANEXOS .....	117

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de artículos encontrados por revista.....	21
Tabla 2. Categorías para la revisión de literatura.....	22
Tabla 3. Fases para la implementación de la propuesta de enseñanza.....	52
Tabla 4. Matriz metodológica de la investigación.....	60
Tabla 5. Cualidades del lenguaje que evidencian apropiación de conceptos.....	62
Tabla 6. Fragmentos de concepciones previas del fenómeno de difracción en actividad en <i>Tracker</i> .....	69
Tabla 7. Predicciones y concepciones previas sobre el comportamiento del rayo de luz al pasar por dos rendijas de diferentes tamaños.....	71
Tabla 8. Representaciones del fenómeno de difracción después de observarlo de forma experimental.....	73
Tabla 9. Fragmentos sobre apropiación de símbolos o variables relacionadas con el fenómeno de difracción.....	76
Tabla 10. Relaciones entre las variables del fenómeno de difracción identificadas y descritas por los estudiantes.....	77
Tabla 11. Descripción del fenómeno de difracción en el diagrama AVM.....	81
Tabla 12. Concepciones previas sobre modelos y sus relaciones con la realidad.....	84
Tabla 13. Evolución de la concepción de modelo y su relación con la realidad.....	87
Tabla 14 Interacciones en diferentes momentos alrededor del conocimiento.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre los Retos de la Educación Científica y tres principios del Aprendizaje Significativo Crítico. ....	38
Figura 2. Adaptación del diagrama AVM para la conceptualización del fenómeno de difracción.....	49
Figura 3. Patrón de difracción en <i>Tracker</i> .....	54
Figura 4. Materiales para experiencia.....	54
Figura 5. Modelo computacional del fenómeno de difracción en <i>LabView</i> .. ....	55
Figura 6. Imagen y gráfica del fenómeno de difracción en <i>Tracker</i> .....	68
Figura 7. a) y b) Estudiantes E4 y E6 apuntando con el láser a la rendija. c) Rendija de 0.5mm aproximadamente formada por los bordes de una cuchilla de afeitar.....	70
Figura 8: Patrón de difracción proyectado en la pared por E3.....	75
Figura 9: Diagrama AVM desarrollado por el estudiante E1.....	79

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Consentimiento informado para estudiantes y padres de familia atendiendo a las consideraciones éticas.....	117
Anexo B. Carta enviada a rectoría para solicitar permiso de intervención.....	119
Anexo C. Protocolo de entrevista.....	121
Anexo D. Propuesta de intervención.....	122
Anexo E. Registro Fotográfico de la modelación computacional.....	127

## **1. INTRODUCCIÓN**

La presente investigación centra su mirada en el aula, en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción por parte de los estudiantes de la educación media y realiza aportes a la comprensión de la naturaleza de la ciencia, acercándose a los procesos epistémicos afines a la construcción del conocimiento científico. Es en el salón de clase donde se tiene como principal propósito brindar estrategias de enseñanza que favorezcan en los estudiantes la adquisición de aprendizajes significativos, la aprehensión de conceptos, el análisis de modelos teóricos, la experimentación y el desarrollo de procesos epistémicos.

Ya desde hace décadas se han propuesto e investigado teorías con estos fines y como alternativas para mejorar los procesos de enseñanza- aprendizaje en el aula; resaltando aquí la teoría cognitivista del Aprendizaje Significativo de Ausubel (1963), que se constituye en un sustento para Moreira (2005), quien introduce el concepto de Criticidad y propone unos principios de aprendizaje para ser implementados en el aula de clase.

Este esfuerzo por mejorar los procesos de enseñanza- aprendizaje de las ciencias se encuentra también en los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales planteados por el MEN (2002), donde se presentan como desafíos a los que debe responder la enseñanza de las ciencias en la actualidad:

Formar en Ciencias Naturales en la Educación Básica y Media significa contribuir a la consolidación de ciudadanos y ciudadanas capaces de asombrarse, observar y analizar lo que acontece a su alrededor y en su propio ser; formularse preguntas, buscar explicaciones y recoger información; detenerse en sus hallazgos, analizarlos, establecer relaciones, hacerse nuevas preguntas y aventurar nuevas comprensiones; compartir y debatir con otros sus inquietudes, sus maneras de proceder, sus nuevas visiones del

mundo; buscar soluciones a problemas determinados y hacer uso ético de los conocimientos científicos. (p. 96).

Los docentes que asumen este reto encuentran un sinnúmero de posibilidades y complejidades; pudiéndose considerar el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como una oportunidad para contribuir a la enseñanza de las ciencias, en cuanto permite hacer uso de herramientas tecnológicas que nos permiten acercarnos a la observación y análisis de fenómenos con diferente grado de abstracción.

De acuerdo con Capuano (2011), “La presencia de las TIC en la enseñanza de las Ciencias Naturales es variada y se da en todos sus ámbitos” (pp. 79-80). Esta afirmación da cuenta de la inclusión de las TIC en la enseñanza de las ciencias a través de múltiples herramientas; pero la inquietud que surge es si dicha incorporación ha sido hecha con fines pedagógicos y didácticos, en busca de lograr aprendizajes significativos.

Entre todo el abanico de posibilidades del uso de TIC, en el presente trabajo se eligió la modelación computacional por considerarse la opción más pertinente para abordar y analizar el fenómeno de difracción, gracias a que esta permite visualizar la relación entre el modelo matemático y el modelo computacional.

Esta investigación pretende contribuir al desafío planteado por el MEN (2002), a partir del diseño e implementación de una propuesta de enseñanza-aprendizaje que permita a los estudiantes participar en procesos de construcción de conocimiento, aprehender conceptos, comprender y analizar fenómenos; y asumir una postura crítica frente a la ciencia. Desde esta perspectiva, cualquier fenómeno científico es susceptible de ser abordado; no obstante, el interés de este trabajo está puesto en la difracción, al considerar que se trata de un fenómeno óptico poco abordado en la educación secundaria y cuyo análisis y comprensión se tornan complejos (Andrade y Cabral, 2006; Maurines, 2010).

Atendiendo a estas consideraciones, la presente investigación tuvo como principal objetivo analizar los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción, a través de una propuesta didáctica implementada con los estudiantes del grado undécimo de la Institución Educativa Rural Piedras Blancas del municipio de Guarne. La propuesta se fundamenta en los retos de la educación planteados por Hodson (2003, 2014) y en la teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010); referentes teóricos ampliamente compatibles, dado que ambos abordan componentes epistemológicos, conceptuales-disciplinares y pedagógico-didácticos.

Este estudio se aborda desde un enfoque cualitativo y el tipo de investigación es el estudio de caso propuesto por Stake (2010). La implementación de la propuesta contempla la exploración y el análisis de un modelo computacional del fenómeno de difracción de Franhoufer utilizando el método POE y la V de Gowin, para el análisis y comprensión del fenómeno.

Dentro de los principales hallazgos se encuentran los aportes de la modelación computacional a la apropiación del lenguaje relacionado con el fenómeno de difracción por una rendija, a la comprensión de las diferencias entre modelo y realidad y, a la interacción social entre los estudiantes y con el profesor en torno al fenómeno abordado.

Este trabajo está organizado en siete secciones en las cuales se contemplan todos los elementos que constituyeron la investigación. En la primera sección se encuentra la introducción que presenta un panorama general de los elementos que componen la investigación. En la segunda se presenta el planteamiento del problema con las justificaciones sobre la pertinencia de la investigación; y en la tercera se describe el proceso de revisión de literatura, el cual consistió en un análisis exhaustivo de investigaciones previas en óptica.

En la cuarta sección se presentan los referentes teóricos que fundamentaron la investigación y guiaron el análisis de los resultados. En la quinta sección se encuentra la descripción de la metodología cualitativa, el enfoque de estudio de caso, la ruta metodológica que orientó la recolección de información y los instrumentos para la recolección y análisis de la misma, así como las categorías de análisis de la información. En la sexta sección se analizan los resultados a la luz de los referentes teóricos y de los objetivos y se presentan los principales hallazgos. En la séptima sección son descritas las conclusiones derivadas del análisis de resultados y algunas recomendaciones a tener en cuenta en futuras investigaciones.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la presente investigación se plantean los desafíos que se proponen desde el MEN (2002) en los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales, para que la enseñanza de las ciencias genere un aprendizaje significativo y crítico en los estudiantes. Se hace referencia también a los dos estándares en ciencias que hacen alusión a la enseñanza de la óptica en el grado noveno: “Reconozco y diferencio modelos para explicar la naturaleza y el comportamiento de la luz” e “Identifico aplicaciones de los diferentes modelos de la luz” (MEN, 2002, p. 139). Asimismo, en los Derechos Básicos de Aprendizaje de Ciencias Naturales se ubica el fenómeno de difracción en el grado undécimo junto con otros fenómenos ópticos, para que los estudiantes a través de su estudio comprendan el comportamiento de la luz, como se muestra a continuación: “Explica los fenómenos ondulatorios de sonido y luz en casos prácticos (reflexión, refracción, interferencia, difracción, polarización)” (MEN, 2016, p. 37).

Lo anterior denota una exigencia hacia los docentes de ciencias que deberían orientar la enseñanza con el fin de generar aprendizajes basados en la aprehensión, comprensión y análisis de fenómenos, actividades propias de la construcción del conocimiento y el acercamiento al proceso de formulación de los modelos teóricos.

En la revisión de literatura realizada en esta investigación se identifica una escasez de estudios relacionados con la enseñanza de fenómenos ópticos en la educación secundaria; encontrándose solamente cuatro artículos en Colombia en un periodo de 11 años; lo cual podría atribuirse a que los docentes de nuestro país no se han interesado en investigar y/o documentar los aprendizajes obtenidos por los estudiantes en el estudio de la óptica.

Por otra parte, de los fenómenos abordados por los investigadores de los diferentes países sólo seis investigan la enseñanza de la difracción, y en Colombia uno, posiblemente porque es un fenómeno complejo y poco observable en la vida cotidiana.

La revisión de literatura también pone de manifiesto que las propuestas de enseñanza de la óptica carecen de profundización pedagógica, resaltando 6 de 69 artículos que plantean de manera explícita los referentes teóricos de carácter pedagógico en que se sustentan las investigaciones.

Por otro lado, uno de los objetivos que el MEN (2002) plantea frente a lo que se quiere lograr con la enseñanza de las Ciencias Naturales es:

Educar personas que se saben parte de un todo y que conocen su complejidad como seres humanos, que son responsables de sus actuaciones, que asumen posturas críticas y reflexivas ante aquello que se da por establecido, que identifican las consecuencias fundamentales de las decisiones locales y nacionales, que sustentan y debaten sus planteamientos teniendo en cuenta los aportes del conocimiento científico, que escuchan los argumentos de otros y revisan los propios a la luz de ellos, que trabajan con sus pares para buscar soluciones a situaciones problemáticas. (p.107).

Los docentes tienen la responsabilidad de formar a través de la enseñanza de las ciencias personas críticas y reflexivas, que puedan debatir y argumentar desde el conocimiento. Todo esto se logra brindando los espacios en el aula, donde los estudiantes se acerquen a procesos epistémicos, convirtiéndose en parte activa de la construcción del conocimiento y contribuyendo al desarrollo de su capacidad de análisis y criticidad, con argumentos convincentes a la luz de los modelos científicos.

En la revisión de literatura, solamente Bravo, Pesa y Pozo (2009, 2011, 2012) se preocupan por detallar los argumentos de los estudiantes y los conocimientos de los

modelos teóricos presentados a la luz de sus propias perspectivas de aprendizaje. En los demás trabajos se identifica una escasez de estrategias que fomenten el debate, la reflexión y la argumentación sobre el fenómeno estudiado.

Por último, la inexistencia de trabajos que aborden la modelación computacional como un proceso clave en la comprensión de los modelos teóricos, muestra la falta de profundización en el potencial que esta tiene para contribuir en los aprendizajes significativos de los estudiantes. Esta ausencia está en coherencia con la preocupación por la poca articulación de las TIC en la enseñanza de las ciencias con fines pedagógicos y didácticos. Arias (2016) plantea que en el ámbito educativo en Colombia ha sido escasa la valoración que se ha hecho de las TIC en la enseñanza de las ciencias y en su trabajo de investigación realizó una búsqueda exhaustiva de los artículos que se escribieron entre el 2000 y 2014, para analizar la implementación y los aportes de las TIC en la enseñanza de las ciencias en Colombia.

Algunas de las conclusiones planteadas por esta autora, muestran que son escasas las investigaciones en las que se reporte la implementación de las TIC en la enseñanza de contenidos científicos, y en general, se presenta un uso instrumental de las tecnologías con poca inclusión de elementos didácticos y epistemológicos.

La ausencia de elementos reflexivos en el uso de las TIC, evidencia una necesidad por incorporar referentes pedagógicos en las investigaciones que incluyan este tipo de tecnologías, con el fin de aportar a unos aprendizajes más críticos y con significado.

Si bien no todas las herramientas de las TIC cumplen los mismos propósitos en la enseñanza de las ciencias, existen dos que van estrechamente ligadas al análisis que los estudiantes pueden hacer de los modelos teóricos que se abordan en ellas; estas son la simulación y la modelación computacional. López, Veit y Araujo (2016) señalan que la

simulación y la modelación computacional son herramientas “altamente promisorias para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física, puesto que posibilitan el diseño e interacción con modelos conceptuales que, por lo menos en principio, puedan ser implementados en el computador y tengan fines didácticos” (p. 60). Estas dos herramientas contribuyen al aprendizaje crítico y con significado al analizar un fenómeno modelado, pero es la modelación computacional la que más aporta a los objetivos de esta investigación, en cuanto permite analizar el modelo teórico que subyace al modelo computacional, a diferencia de la simulación que sólo permite modificar variables y observar lo que sucede y donde no tienen la oportunidad de crear ellos mismos el entorno de la simulación (López et al., 2016).

Partiendo de lo anteriormente expuesto, en esta investigación se presenta una alternativa que responde a los desafíos del MEN y que pretende abordar el fenómeno de difracción, bajo unos referentes pedagógicos y unas estrategias didácticas que posibiliten aprender ciencia, aprender a hacer ciencia y aprender sobre ciencia, a través de la modelación computacional exploratoria, que se entiende como el proceso de explorar un modelo computacional a la luz del análisis del modelo conceptual que le subyace.

Hodson (2003, 2013) plantea que el currículo actual no responde a las problemáticas expuestas anteriormente y propone unos retos actuales de la educación en ciencias. Estos retos son contrarios a la mirada tradicional donde el profesor enseña algunas teorías para que sus estudiantes las memoricen, sin tener en cuenta que hay varios modelos que tratan de explicar un mismo fenómeno, ni tampoco se piensa en los procesos que se llevaron a cabo para llegar a dichas teorías. Esta enseñanza dogmática de la ciencia se ha perpetuado durante años y se ha convertido en uno de los principales obstáculos para la comprensión de conceptos por parte de los estudiantes y la toma de posturas críticas, lo que agudiza el

problema de la confusión de la realidad con los modelos científicos que se han construido para tratar de explicarla.

Los retos mencionados anteriormente buscan más bien que en las clases los estudiantes puedan aprender ciencia (su contenido disciplinar), pero no la transcripción del libro de texto que carezca de análisis, sino los modelos teóricos que se han construido para explicar los fenómenos, con una mirada crítica y consciente de los conceptos y las variables involucradas, sus significados y sus relaciones. El segundo reto es aprender sobre ciencia (la naturaleza de la ciencia); conocer aquellos asuntos que se han dado en el proceso de construcción de conocimiento, el contexto, la cultura, las interacciones sociales, entre muchos otros que le permiten entender al estudiante el carácter social y evolutivo de la ciencia. Y el tercer reto es aprender (procesos epistémicos) a hacer ciencia, lo cual hace referencia a los espacios que se le brindan al estudiante en el aula de clase para que debata, discuta significados y posibilidades, cuestione, critique y resuelva problemas referentes a los modelos teóricos abordados.

Moreira (2005) en su Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico plantea nueve principios que aportan a la enseñanza de las ciencias en el aula de clase, contemplando aspectos epistemológicos, disciplinares y pedagógicos o didácticos, en términos de López (2014); los cuales van en consonancia con los retos propuestos por Hodson (2003, 2010).

Así pues, fueron elegidos como referentes teóricos de esta investigación, La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010) y Los Retos de la Educación Científica de Hodson (2003, 2014), por considerar que permiten hacer uso de la modelación computacional de una manera crítica y reflexiva, aportando elementos para responder el principal interrogante que orientó este proceso investigativo y que se refiere a ¿Cuáles son

los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción, por parte de los estudiantes de undécimo grado?

## **2.1 Objetivo general**

Analizar los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción, por parte de los estudiantes de undécimo grado.

## **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar el papel de la modelación computacional en la apropiación de conceptos relativos al fenómeno de difracción por parte de los estudiantes.
- Describir las potencialidades de la modelación computacional para la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia.
- Identificar la contribución de la propuesta de enseñanza al desarrollo de procesos epistémicos que faciliten un aprendizaje reflexivo y crítico.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

La revisión de literatura se enfocó en la búsqueda de las investigaciones que atendieran principalmente a los siguientes criterios:

a. Fenómenos ópticos abordados en investigaciones en secundaria: investigaciones realizadas sobre la enseñanza de diferentes fenómenos ópticos en la secundaria, con el fin de identificar aquellos que han sido mayormente abordados y los que aún no han sido objeto de un número importante de investigaciones.

b. La modelación y simulación computacional en la enseñanza de la óptica, como dos recursos importantes para la exploración y el análisis de fenómenos y la comprensión de los modelos matemáticos subyacentes a éstos.

c. La enseñanza de fenómenos ópticos en secundaria, bajo diferentes estrategias didácticas y/o referentes teóricos.

Para la revisión de literatura se realizó una búsqueda manual en 37 revistas, 6 nacionales y 31 internacionales, en un rango de 11 años, entre 2006 y 2016. Las revistas se clasificaron en ámbitos como: educación, educación en ciencia y tecnología, enseñanza de las ciencias y enseñanza de la física. Se complementó dicha búsqueda con la revisión de las siguientes bases de datos: *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science* y *Google Scholar*; a partir de la cual se puede establecer, que ningún trabajo de los encontrados en las revistas del ámbito educación, hacía referencia a la enseñanza de algún fenómeno óptico. De las revistas pertenecientes a los demás ámbitos, se hallaron 69 artículos que atendían a por lo menos uno de los criterios. Ver tabla 1.

Tabla 1. *Cantidad de artículos encontrados por revista.*

Ámbito	Nombre de la Revista	País	Artículos
<b>Revistas de Educación en Ciencia y Tecnología</b>	Computers & Education	Estados Unidos	2
	Journal of Science Education and Technology	Estados Unidos	1
	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	Brasil	1
<b>Revista en Enseñanza de las Ciencias</b>	Revista Virtual Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias	Colombia	4
	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	España	12
	Enseñanza de las Ciencias	España	3
	International Journal of Science Education	Estados Unidos	3
	Investigações em Ensino de Ciências	Brasil	2
	Experiências em Ensino de Ciências	Brasil	2
<b>Revista en Enseñanza de la Física</b>	Latin American Journal of Physics Education	México	10
	American Journal of Physics	Estados Unidos	5
	Physics Education	Estados Unidos	9
	Revista Brasileira de Ensino de Física	Brasil	14
	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	Brasil	1

En la tabla 1 puede verse que los países predominantes en la investigación sobre la enseñanza de fenómenos ópticos son: Brasil con 19 artículos, Estados Unidos con 20, España con 15 y México con 10. En Colombia se hallaron sólo cuatro artículos que mostraban la enseñanza de algún fenómeno óptico en secundaria, poniéndose de manifiesto la escasez de investigaciones sobre estas temáticas en nuestro país; y en los demás países de América Latina no se encontró ningún artículo.

Para realizar el análisis de los resultados que arrojó la revisión de literatura se organizaron los artículos en tres categorías, como se muestran en la Tabla 2. Las tres categorías corresponden a los criterios de búsqueda mencionados anteriormente y en cada artículo se resaltaron elementos relevantes de acuerdo con los propósitos de la presente investigación.

En la primera categoría se muestran los artículos diferenciados entre modelación y simulación computacional, puesto que ambos presentan características y propósitos deferentes en el análisis de fenómenos. En la segunda categoría se resaltan los referentes

teóricos implementados para la enseñanza de fenómenos ópticos, intentando identificar puntos de convergencia con el marco teórico que sustenta esta investigación. Y en la tercera categoría se hace referencia a las diferentes estrategias didácticas y de enseñanza empleadas para abordar la enseñanza de la óptica.

Tabla 2. *Categorías para la revisión de literatura*

<b>Categoría</b>	<b>Elementos relevantes</b>	<b>Autores</b>	
<b>Modelación y Simulación en la Enseñanza de la Óptica</b>	Simulación	Andrade y Cabral da Costa, (2006); Heckler, Saraiva, Filho, y Souza, (2007); Bryan y Slough, (2009); Tekos y Solomonidou, (2009); Chang, Chen, Lin, y Sung, (2008); Bülbül y Wee, (2016); Fadaei, (2010); Rodríguez, Santana, y Mendoza, (2013); Rodrigues y Carvalho, (2014); Mzoughi, Herring, Foley, Morris y Gilbert, (2007); Santana, Rodríguez y Gómez, (2012).	11
	Modelación	Buty y Mortimer, (2008)	1
<b>Referentes Teóricos que apoyan la enseñanza de la óptica</b>	Pedagogía del Oprimido	Da Silva, De Freitas y Miquelin, (2015) Albuquerque, Santos y Ferreira, (2015)	2
	Aprendizaje Significativo	Parisoto y Hilger, (2016)	1
	Enseñanza para la Comprensión	Rodríguez y Mojica, (2006)	1
	Modos de Conocer y Cambio Conceptual	Bravo, Pesa y Pozo, (2009, 2011, 2012); Bravo, Pesa y Rocha, (2011)	2
<b>Estrategias didácticas y de enseñanza para abordar fenómenos ópticos</b>	Modelo por Competencias	Mendoza y Díaz, (2015)	1
	Aprendizaje Activo	Sokoloff, (2012) García, (2010)	2
	Enseñanza Problematizada	Osuna, Martínez y Menargues, (2012)	1
	Historia	Silva y Martins, 2010; Junior, Cunha y Laranjeiras, 2012; Scarinci y Marineli, 2014; Melo y Peduzzi, (2007); Moura, (2014); Silva y Moura, (2008); Silva, (2011); Martins y Silva, (2013).	8
	Experimentos	Ribeiro y da Silva, (2013); Kamata y Matsunaga, (2007); Ribeiro, (2014); Etkina, Planinšič y Vollmer, (2013); Hopper y Sieradzan, (2008); Cavalcante y Rodrigues, (2012); Viennot y Hosson, (2015); Şengören, (2010); Greaves, Rodríguez y Ruiz-Camacho, (2009); Silva, Zapparoli y Arruda, (2012); Souza <i>et al.</i> , (2015); Rahnama, (2015); Pionório, Rodrigues y Bertuola, (2008).	13
	Actividades didácticas	Sierra y Palacios, (2008); Kaewkhong, Mazzolini, Emarat y Arayathanikul, (2010); Pérez, (2008); Bernardes <i>et al.</i> , (2006); Flynt y Ruiz, (2015); Ivanov y Nikolov, (2011); Gargallo <i>et al.</i> , (2015); Avalos, (2008); Barrio, (2011); Criado, Del Cid y García-Carmona, (2007); Cyrulies y Schamne, (2014); García,	22

	Huertas, Gómez, Perales, y Romero, (2010); Nieves, García, Hernández-Andrés, y Huertas, (2010); Pérez, García y Abril, (2011); Szigety, Tintori Ferreira, Viau, y Moro, (2010); Pérez Lozada y Nelson, (2009); Szigety, Viau, Tintori Ferreira, y Moro, (2009); Del Mazo, (2011); Galindo, Murcia, y Morales, (2008); Maurines, (2010); Ashmann, Anderson, y Boeckman, (2016); Baird, (2014).	
Multimedia	Hoeling, (2012); Montealbán y Chavarría, (2010); Gagliardi, Giordano, y Recchi, (2006); Arribas <i>et al.</i> , (2012).	4

De los 69 artículos encontrados sobre óptica, los conceptos más ampliamente abordados son: la reflexión y la refracción, además de algunos enfoques en óptica geométrica; mientras que sólo seis artículos eligieron la difracción como fenómeno a enseñar. Andrade y Cabral (2006) y Maurines (2010), atribuyen esta situación a que los dos primeros fenómenos se pueden observar y estudiar en un nivel macroscópico, contribuyendo a su comprensión y análisis; mientras que los fenómenos de interferencia y difracción no son tan fáciles de reconocer a simple vista; por lo tanto, se hace más compleja su comprensión y modelación, razón por la cual en este trabajo se aborda la enseñanza de la difracción como un fenómeno poco explorado y analizado.

En los seis artículos que abordaron la difracción como fenómeno central, no se muestran evidencias claras sobre los aprendizajes obtenidos o el grado de comprensión del fenómeno; solamente Galindo, Murcia y Morales (2008) se refieren al impacto mental en los estudiantes cuando analizaron la relación entre sus ideas previas sobre el fenómeno con la observación del mismo; resaltando cómo esta confrontación favoreció la construcción de conocimiento.

A continuación, se mostrará el análisis de la revisión de literatura de acuerdo a cada categoría.

### **3.1 Modelación y simulación en la enseñanza de la óptica**

Esta categoría comprende dos elementos relevantes: los artículos en los que se hizo uso de simulaciones como estrategia de enseñanza de fenómenos ópticos y los que implementan la modelación, no necesariamente computacional.

Se encontraron 11 artículos que utilizan las simulaciones como estrategia de enseñanza de fenómenos ópticos. El principal objetivo de estos autores es aumentar la motivación de los estudiantes a través de la observación y manipulación de simulaciones, con el fin de mejorar su nivel de comprensión de los fenómenos y un mayor razonamiento alrededor de las variables y modelos que se ponen en juego en la simulación. Algunos autores presentan una crítica a la enseñanza tradicional (Mendoza y Díaz, 2015; Heckler et al., 2007).

En los resultados esperados por los investigadores se presenta un cambio positivo en la comprensión de los conceptos por parte de los estudiantes, contrario a los grupos de control, en las investigaciones cuasiexperimentales (Bülbul y Wee, 2016; Rodrigues y Carvalho, 2014; Tekos y Solomonidou, 2009; Chang, Chen, Lin y Sung, 2008). En las investigaciones cualitativas, se muestra un mejor análisis de los fenómenos con el uso de las simulaciones, respecto a los conocimientos previos que evidenciaron los estudiantes (Andrade y Cabral da Costa, 2006; Heckler, Saraiva, Filho y Souza, 2007a; Fadaei, 2010; Bryan y Slough, 2009; Rodríguez, Santana y Mendoza, 2013; Mzoughi, Herring, Foley, Morris y Gilbert, 2007; Santana, Rodríguez y Gómez, 2012).

No se encontraron artículos que utilicen la modelación computacional para la enseñanza de la óptica en secundaria, pero sí hay algunos que abordaron la modelación como metodología para la apropiación de los conceptos.

Se hallaron dos artículos (Bravo, Pesa y Pozo, 2011; Bravo, Pesa y Rocha, 2011) que hacen referencia al concepto de modelo teórico, pero desde una perspectiva epistemológica propia enfocada en los modelos explicativos y los modos de conocer de los estudiantes respecto a los fenómenos de la visión y el color. Para estos autores los modos de conocer son tres: el modo intuitivo, que corresponde con el conocimiento basado en hechos observables e información aportada por los sentidos, el intermedio, que es un modo de conocer cercano al modelo teórico planteado por la ciencia escolar, pero que aún no es exacto y el último es el modo de conocer de la ciencia escolar que está completo.

El otro trabajo que utiliza modelación es el de Buty y Mortimer (2008) y es el más cercano a la visión epistemológica que se tiene en esta investigación sobre los modelos como sistemas abstractos que representan sistemas reales. También la perspectiva de los autores sobre los modelos en la enseñanza de las ciencias, plantea la importancia de que los maestros enseñen a sus estudiantes la diferencia entre un sistema abstracto (el modelo) y un sistema real.

A modo de conclusión, no se encontraron trabajos que aborden fenómenos ópticos haciendo uso de la modelación computacional y los artículos que utilizaron simulaciones computacionales no presentan una profundización en los resultados en cuanto a los aprendizajes de los estudiantes, o se quedan cortos en la valoración y el potencial de las simulaciones. Este resultado está en coherencia con los resultados obtenidos por López *et al.* (2016), quienes realizaron una revisión de literatura sobre el uso de modelación y simulación computacional para la enseñanza de la física en la educación básica y media y concluyeron que “la modelación y simulación computacional se concentra más ampliamente en el nivel universitario, siendo muy reducido el número de trabajos de investigación para los niveles de educación básica y media” (p. 6).

### **3.2 Referentes teóricos que apoyan la enseñanza de la óptica**

En esta categoría están todos los artículos que hacen explícitos diferentes referentes teóricos en la enseñanza de fenómenos ópticos. Al respecto, se encontraron seis artículos que se fundamentan en alguna teoría pedagógica para la enseñanza de fenómenos ópticos, como la pedagogía del oprimido (Da Silva, De Freitas y Miquelin, 2015; Albuquerque, Santos y Ferreira, 2015), el aprendizaje significativo (Parisoto y Hilger, 2016), la enseñanza para la comprensión (Rodríguez y Mojica, 2006) y los modos de conocer y el cambio conceptual (Bravo, Pesa y Pozo, 2009, 2011, 2012; Bravo, Pesa y Rocha, 2011). En todas las investigaciones se pretendía que los estudiantes comprendieran el fenómeno, mejoraran el nivel de razonamiento y se motivaran para participar más en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los fenómenos ópticos. Además de lo anterior, se pretendía implementar teorías diferentes a las tradicionales, en las que se presenta un concepto físico con su significado, bajo algún modelo teórico, para que el estudiante memorice, haga ejercicios algorítmicos y compruebe a través de la experimentación, sin profundizar en la comprensión del fenómeno.

Los trabajos más relevantes fueron los de Bravo, Pesa y Pozo (2009, 2011, 2012), que presentan el procedimiento realizado en la investigación y los criterios utilizados para hablar de los “Modos de Conocer” y del cambio conceptual que se generó en los estudiantes a través de la implementación de la propuesta de enseñanza-aprendizaje.

### **3.3 Estrategias didácticas y de enseñanza implementadas para abordar fenómenos ópticos**

En esta categoría se encuentran 51 artículos que usan diferentes estrategias didácticas y de enseñanza para abordar fenómenos ópticos. El modelo por competencias empleado por Mendoza y Díaz (2015) resalta el desarrollo de habilidades acerca de óptica geométrica

para posteriormente aplicar en el uso de instrumentos ópticos. El aprendizaje activo (Sokoloff, 2012; García, 2010), busca que el estudiante participe más en la construcción de su conocimiento a través de estrategias que le permitan la comprensión de conceptos ópticos.

Se encontraron ocho artículos (Silva y Martins, 2010; Junior, Cunha y Laranjeiras, 2012; Scarinci y Marineli, 2014; Melo *et al.*, 2007; Moura, 2014; Silva y Moura, 2008; Silva, 2011; Martins y Silva, 2013), donde las propuestas de enseñanza se centran en la historia como facilitadora de aprendizajes. Los autores en estas investigaciones tienen en cuenta cómo se construyó el conocimiento en la época y las diferentes dificultades o aciertos que tuvieron los científicos en ese proceso, pero no se muestran los resultados en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

En 13 investigaciones el principal propósito fue el uso de las actividades experimentales. En algunas se realizaron observaciones en el laboratorio, se recogieron datos y/ o se presentaron resultados, basadas en la demostración de experimentos o reproducción de los mismos, sin hacer un análisis posterior a las actividades experimentales que diera cuenta de los aprendizajes obtenidos o de los propósitos pedagógicos o didácticos de las mismas. La mayoría presenta una mirada positivista de la ciencia y su enseñanza, donde se reproducen o se demuestran experimentalmente los fenómenos, o se realiza toma de datos, pero no se profundiza en los significados o las relaciones que hay allí presentes. No se interesan en analizar los modelos, su proceso de construcción o discutir las teorías que subyacen a estos, sino que centran su mirada en observar cómo funcionan y para qué se pueden utilizar (Ribeiro y da Silva, 2013; Kamata y Matsunaga, 2007; Ribeiro, 2014; Etkina, Planinšič y Vollmer, 2013; Hopper y Sieradzan, 2008; Cavalcante y Rodrigues, 2012; Viennot y Hosson, 2015; Şengören, 2010; Greaves, Rodríguez y Ruiz-Camacho, 2009; Silva,

Zaparolli y Arruda, 2012; Souza *et al.*, 2015; Rahnama, 2015; Pionório, Rodrigues y Bertuola, 2008).

Hay 22 investigaciones que se enfocan en la manipulación de diversos materiales u objetos en el aula para la enseñanza de los fenómenos ópticos, tratando de acercar a los estudiantes a asuntos prácticos y visibles y señalando que esta forma de enseñanza a través de lo concreto permite comprender mejor los fenómenos. La mayoría de estas investigaciones no trascienden la observación de los fenómenos, sólo buscan que sean familiares para los estudiantes, pero no están interesados en encontrarle un significado al modelo que explica ese fenómeno o a los procesos de construcción de conocimiento (Silva, Zaparolli y Arruda, 2012; Pérez, 2008; Cavalcante y Rodrigues, 2012; Bernardes *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2015; Flynt y Ruiz, 2015; Ivanov y Nikolov, 2011; Parisoto y Hilger, 2016; Sierra y Palacios, 2008; Gargallo *et al.*, 2015; Scarinci y Marineli, 2014; Rodríguez y Mojica, 2006; Avalos, 2008a; Avalos, 2008; Barrio, 2011; Criado, Del Cid y García-Carmona, 2007; Cyrulies y Schamne, 2014; García, Huertas, Gómez, Perales y Romero, 2010; Nieves, García, Hernández-Andrés y Huertas, 2010; Pérez, García y Abril, 2011; Szigety, Tintori Ferreira, Viau y Moro, 2010; Pérez Lozada y Nelson, 2009; Szigety, Viau, Tintori Ferreira y Moro, 2009; Del Mazo, 2011).

Por último, cuatro investigaciones hacen uso de herramientas de multimedia como videos, imágenes, entre otras, para motivar a los estudiantes y mejorar su comprensión de los conceptos. En estos trabajos no se profundiza mucho acerca del uso de las herramientas tecnológicas con fines pedagógicos y didácticos; y más bien se evidencia un interés por mejorar la motivación en los estudiantes y favorecer una actitud más activa y participativa en el aula (Montealbán y Chavarría, 2010; Hoeling, 2012; Gagliardi, Giordano y Recchi, 2006; Arribas *et al.*, 2012).

Con base en los artículos abordados sobre el fenómeno de difracción y en la revisión de literatura en general, se puede concluir:

- El fenómeno de difracción es de difícil observación en la naturaleza y no es fácil comprenderlo.
- No se han encontrado trabajos que aborden el fenómeno de difracción a través de la modelación computacional.
- En los trabajos expuestos se presenta poca evidencia de los aprendizajes de los estudiantes y poca valoración de la comprensión que ellos pudieron tener del fenómeno.
- Ninguno de los referentes teóricos presentados en estos artículos se corresponde con los retos de la educación y la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, abordados desde la presente investigación.
- No se muestran estrategias pedagógicas y/o heurísticas para facilitar el análisis y la comprensión del fenómeno de difracción.

#### **4. REFERENTES TEÓRICOS**

En este capítulo se presentan los referentes teóricos que orientaron el proceso de investigación; la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010), la cual está fundamentada en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (1963) y en los planteamientos de la enseñanza como una actividad subversiva propuestos por Postman y Weingartner (1969); los retos de la educación en ciencias propuestos por Hodson (2003, 2014); la visión sobre modelación de Bunge (1972); y por último, la modelación computacional desde la perspectiva de López, Veit y Araujo (2014) y López et al. (2016).

##### **4.1 Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico**

La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico fue planteada por Moreira (2005), fundamentándose en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (1963), en la que se parte de dos condiciones para que el aprendizaje sea significativo; la primera es que el estudiante tenga conocimientos previos que puedan relacionarse con los nuevos conocimientos. Este proceso de interacción dinámica es el que le permite al estudiante reorganizar los conocimientos que están en su estructura cognitiva, estableciendo semejanzas y diferencias; de tal manera que el producto de esta interacción sea un conocimiento más elaborado y con más significados.

La segunda condición es la predisposición para aprender que tenga el estudiante, la intencionalidad que éste tenga para establecer relaciones y asumirse como un agente activo en el proceso de aprendizaje. Lo anterior responde en palabras de Palmero *et al.* (2008) citada por Moreira (2010) a la relevancia que el estudiante le atribuya al nuevo conocimiento. Y desde la perspectiva de estos autores es un desafío para los profesores provocar esta relevancia en los estudiantes.

El segundo fundamento de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico está en los planteamientos de la enseñanza como una actividad subversiva, propuestos por Neil Postman y Charles Weingartner (1969). Esta subversión surge como una respuesta que los autores dan frente a los conceptos fuera de foco que las escuelas aún enseñan. Algunos de estos conceptos son:

1. El concepto de “verdad” absoluta, fija, inmutable, en particular desde una perspectiva bipolar del tipo buena o mala.
2. El concepto de certeza. Existe siempre una respuesta “correcta”, y es absolutamente “correcta”.
3. El concepto de que el conocimiento es “transmitido”, que emana de una autoridad superior, y debe ser aceptado sin ser cuestionado (Postman y Weingartner, 1969, p. 217, citado en Moreira, 2005, p. 3).

Moreira (2005) complementa la crítica realizada por los autores a la educación mecánica, con otros conceptos contemporáneos fuera de foco, señalando que este tipo de enseñanza fomenta la formación de estudiantes pasivos, dogmáticos, que creen en una verdad única y que no realizan cuestionamientos, ni dan lugar a la incertidumbre.

Con base en lo anterior, surge el concepto de criticidad planteado en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, entendido como la postura activa y crítica que el estudiante debe asumir frente al conocimiento, buscando la comprensión y los significados que le son necesarios para desenvolverse en diversos contextos de su vida. “El principal fin de este aprendizaje es que el sujeto pueda comprender, representar y resolver situaciones propias de su vida, y adoptar una postura crítica frente a todos los escenarios que se le presenten” (López, 2014, pp. 58-59).

Moreira (2005, 2010) plantea nueve principios facilitadores del aprendizaje significativo crítico que considera son viables para implementar en el aula. López (2014) los clasifica en tres categorías: principios conceptuales y/o disciplinares, que buscan favorecer el dominio de los conceptos propios de una disciplina; principios epistemológicos, que aportan a una visión del conocimiento científico como una construcción humana y en constante cambio; y principios pedagógico-didácticos que buscan combatir la idea de que el conocimiento y la verdad están en los libros de texto y en lo que el profesor escribe en el tablero.

Para los propósitos de esta investigación se eligieron tres de ellos, por tener una relación directa con los tres retos de la educación científica planteados por Hodson (2003), los cuales se detallarán más adelante.

A continuación, se presentan los nueve principios que propone Moreira (2005, 2010), definiendo aquellos que se articulan con los propósitos de la presente investigación.

1. Principio de la no utilización de la pizarra, de la participación activa del alumno, de la diversidad de estrategias de enseñanza.
2. Principio de la interacción social y del cuestionamiento.

Para el autor la interacción social es fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este escenario se intercambian significados entre el profesor y el estudiante, se realizan debates, preguntas y discusiones en torno al conocimiento. La interacción social en el proceso de enseñanza- aprendizaje es contraria a la transmisión de teorías como verdades absolutas y permite reconocer el conocimiento como una construcción social que brinda soluciones a problemas e interrogantes, además esta interacción debe posibilitar un intercambio permanente de preguntas por parte de los estudiantes.

3. Principio de la no centralización en el libro de texto.

4. Principio del aprendiz como perceptor/representador.

5. Principio del conocimiento como lenguaje.

Todas las disciplinas poseen códigos y símbolos propios que representan formas de percibir la realidad. Comprender un conocimiento es comprender el lenguaje que le subyace, no sólo en palabras, sino en signos, instrumentos y procedimientos. “Aprender de forma crítica es percibir ese nuevo lenguaje como una nueva forma de percibir el mundo” (Moreira, 2010, p. 12).

6. Principio de la conciencia semántica.

“Este principio implica tomar conciencia de que el significado está en las personas, no en las palabras” (Moreira, 2010, p. 12). Son las personas quienes le atribuyeron significados a las teorías y modelos a través de las palabras que nombran las cosas para establecer relaciones que les permita comprender la realidad.

7. Principio del aprendizaje por error.

8. Principio del desaprendizaje.

9. Principio de incertidumbre del conocimiento.

A estos nueve principios, Moreira (2010) agrega dos más que no serán explícitamente contemplados en la presente investigación, estos son:

- Principio del conocimiento previo. Aprendemos a partir de lo que ya sabemos.
- Principio del abandono de la narrativa. De dejar que el alumno hable.

#### **4.2 Retos de la educación en ciencias (aprender ciencia, aprender sobre ciencia y aprender a hacer ciencia)**

Para Hodson (2003, 2014), el currículo de ciencias tal y como se concibe, no responde a las necesidades, intereses y aspiraciones de los ciudadanos jóvenes. Esta posición cuestiona la pertinencia de la ciencia enseñada en la escuela que la mayoría de veces se enfoca en

contenidos disciplinares alejados de posturas críticas y en ocasiones, también descontextualizados y distantes de los avances de la ciencia y su influencia en la construcción de la sociedad.

La construcción de conocimiento científico es una actividad humana, por lo tanto, involucra un momento social, económico y político, que le otorga un significado a los conocimientos desarrollados en una época. Los estudiantes deben acercarse a esta realidad para comprender los contextos humanos e históricos en los que están inscritos los fenómenos y para aproximarse a las actividades propias de la construcción del conocimiento.

Hodson (2003, 2014) asume una postura crítica frente a las teorías que plantean el hacer ciencia en el aula como un asunto de descubrimiento al azar y sin orientación alguna, y propone una perspectiva, que considera es la más pertinente para enseñar ciencias, la Investigación Dirigida. El autor, como respuesta a la necesidad de un cambio al currículo estático propone tres componentes a incluir en un currículo de ciencias diferente: aprender ciencia, aprender sobre ciencia y aprender a hacer ciencia.

Para los propósitos de esta investigación se retomarán estos tres componentes como retos que se plantean a la educación en ciencias y a los profesores de ciencias, quienes deben apropiarse de ellos y ponerlos en práctica en el aula para que los estudiantes tengan un acercamiento no sólo a contenidos disciplinares, sino que aprendan sobre la naturaleza de la ciencia y los procesos epistémicos que implica su construcción. Estos retos de la educación científica se describen a continuación.

#### *a) Aprender Ciencia*

Este reto hace referencia al proceso de enseñanza-aprendizaje de contenidos disciplinares. Los fenómenos están expresados en los lenguajes propios de cada disciplina

con sus símbolos, signos y representaciones, y es la aprehensión de dicho lenguaje y sus dinámicas lo que permite comprender las teorías y modelos que tratan de explicar la realidad. “Comprender y poder leer y escribir el lenguaje de la ciencia con confianza y apropiadamente es un objetivo clave del aprendizaje” (Hodson, 2014, p. 2544).

Para el autor, un indicio de que el estudiante aprendió ciencia es cuando éste logra apropiarse y dominar el lenguaje de cada disciplina y lo evidencia en los procesos de enseñanza- aprendizaje, con una actitud de confianza, a través de sus palabras orales o escritas en los análisis, aportes o debates en torno al conocimiento disciplinar.

La apropiación del lenguaje científico es un proceso complejo que requiere del apoyo y las directrices del profesor con objetivos claros y explícitos en el proceso de enseñanza- aprendizaje, teniendo en cuenta, desde la postura del autor, que existe una gran variedad de formas de enseñar y lograr la comprensión de los fenómenos.

#### *b) Aprender sobre ciencia*

Hodson (2014) hace una descripción amplia de lo que implica considerar un currículo de ciencias que contenga el aprender sobre ciencia. Lo primero, para tener en cuenta es la construcción del conocimiento científico como una actividad humana que está mediada por la cultura y el contexto, y que como toda comunidad de personas tiene reglas y valores que condicionan su quehacer. Segundo, el contexto social y cultural en el que están inmersos los científicos, que invariablemente influyen sus opiniones y sus propósitos, además de determinar el enfoque de las investigaciones y el uso que se les dará a los nuevos conocimientos. Lo tercero se relaciona con la importancia del lenguaje que los científicos usan y validan en sus teorías o modelos, otorgándoles un significado a las palabras con el fin de hacer el conocimiento comprensible para el resto de la comunidad. Como cuarto y último está la consideración de la historia como un aspecto importante para comprender las

circunstancias sociales y académicas que estuvieron involucradas en la construcción de alguna teoría o concepto. De todos los aspectos mencionados anteriormente que el autor considera relevantes para que los estudiantes aprendan sobre ciencias, se elige el que hace referencia al lenguaje que usan los científicos en los modelos y teorías como construcciones humanas, debido a la estrecha relación de este aspecto con los otros referentes teóricos abordados para esta investigación y con los propósitos de la misma.

Adoptar un enfoque para que el estudiante aprenda sobre ciencia implica considerar las formas en que se organiza la comunidad de científicos y cómo se legitima y supervisa la práctica de los científicos a través de un sistema de reglas, convenciones y valores.

Implica considerar las áreas de interés de los científicos, cómo se establecen las prioridades y cómo la institución de la ciencia interactúa con la sociedad en general. Se enfoca en los métodos que los científicos emplean para perseguir esas preocupaciones, el lenguaje distintivo en el que se expresa el conocimiento científico, el rol y el estado del conocimiento que generan los científicos y cómo ese conocimiento se analiza y valida.

Otro aspecto importante del aprendizaje de la ciencia es apreciar la historia y el desarrollo de importantes ideas científicas y las circunstancias sociales e intelectuales que rodean su desarrollo. (Hodson, 2014, p. 2541).

### *c) Aprender a hacer ciencia*

El énfasis de este reto está en “el uso de los métodos y procedimientos de la ciencia para investigar fenómenos, probar y desarrollar la comprensión, resolver problemas y seguir intereses” (Hodson, 2014, pp. 2545-2546).

El autor presenta un interés por un enfoque de Investigación Dirigida en el aula; es por esta razón que sugiere el uso de los métodos y procedimientos que los científicos utilizan para realizar sus investigaciones con el fin de que los estudiantes se aproximen a estos en el

aula. Para los propósitos de esta investigación, se busca hacer énfasis en la comprensión que adquieren los estudiantes a través de las discusiones, debates y planteamientos de nuevos interrogantes en relación con el análisis de un fenómeno, que puede ser problemático para ellos.

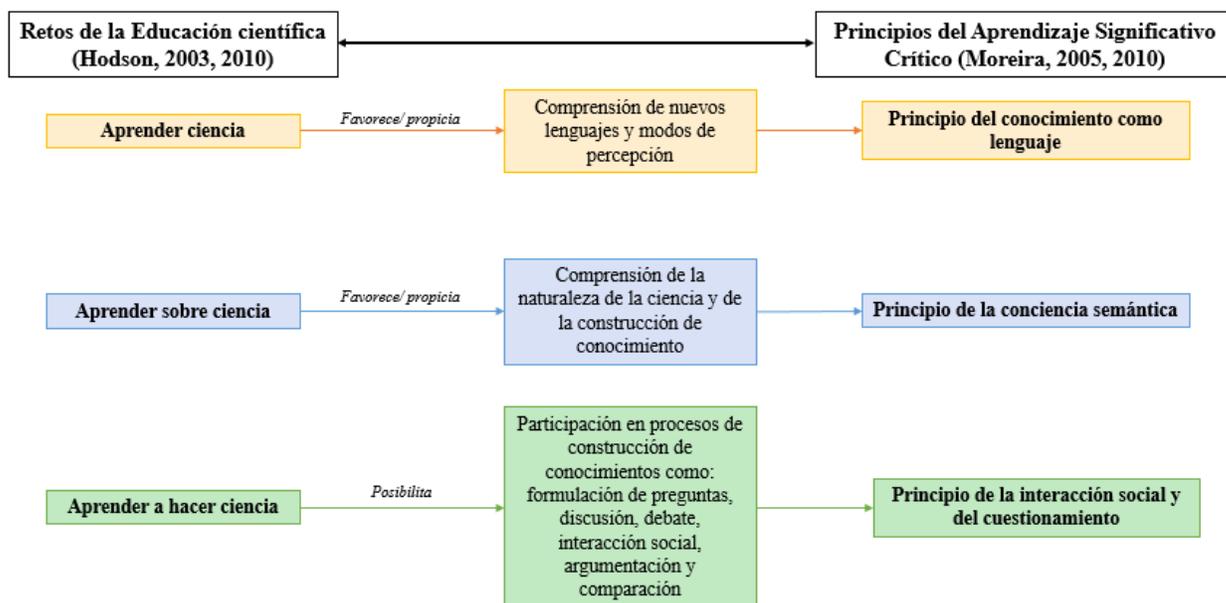
Hodson (2014) plantea que hacer ciencia es un proceso dependiente del contexto y de la idiosincrasia y toma distancia de la visión positivista que muestra “la ciencia como un conjunto prescrito de actividades discretas que conducen a un progreso lineal inevitable desde la especulación inicial hasta la conclusión final” (p. 2546). La visión que el profesor tenga acerca de la naturaleza de la ciencia y la forma como la presenta a sus alumnos, tendrá una influencia dentro de las actividades que se propongan y se desarrollen en el aula. Con respecto a la perspectiva del autor, para hacer ciencia se debe favorecer un ambiente de discusión grupal, críticas constructivas, reflexiones y análisis en torno al conocimiento, entre otras.

### **4.3 Relación entre Aprendizaje Significativo Crítico y los retos de la educación en ciencias**

Arias (2016) establece un vínculo entre la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010) y los retos de la educación científica de Hodson (2003, 2014), a través de un análisis de los puntos de convergencia entre ambos referentes teóricos; concluyendo que el foco central de la relación es el concepto de criticidad que ambos proponen como respuesta a un currículo estático y unas prácticas escolares mediadas por la visión lineal de la ciencia, con posturas positivistas e instrumentalistas.

La autora establece unas relaciones directas entre los tres retos de la educación en ciencias y algunos de los principios del Aprendizaje Significativo Crítico, conforme al diálogo establecido entre ambas teorías.

De acuerdo con los objetivos de esta investigación y para hacer el análisis de la relación entre ambas teorías en el contexto de implementación de la propuesta de enseñanza, se abordan tres relaciones directas entre tres de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y los retos de la educación científica. En la figura 1 se pueden observar las relaciones directas elegidas.



*Figura 1.* Relación entre los Retos de la Educación Científica y tres principios del Aprendizaje Significativo Crítico. Adaptación de Arias (2016, p. 64).

El primer reto plantea el aprender ciencia y hace referencia al aprendizaje del lenguaje propio de la ciencia expresado a través de los modelos teóricos construidos por los científicos y enseñados en el aula en las diferentes disciplinas. Este reto se relaciona directamente con el principio del conocimiento como lenguaje, donde es el lenguaje expresado a través de palabras, signos, símbolos, representaciones, entre otras, quien permite la construcción del conocimiento propio de cada disciplina y por lo tanto la

comprensión por parte de los estudiantes, de los modelos elaborados para dar explicación a los fenómenos.

El segundo reto relacionado con aprender sobre ciencia hace referencia a los procesos de construcción del conocimiento. Para los propósitos de esta investigación, el foco central es el análisis del lenguaje como construcción humana, asignado por los científicos a las teorías a través de los significados que les otorgan a las palabras que nombran las cosas y los fenómenos. Este reto está relacionado con el principio de la conciencia semántica. Las palabras representan cosas, sean fenómenos, objetos u abstracciones, pero no son la cosa en sí y adquieren significado dependiendo de la mirada y de las intenciones de la persona o grupo de personas que se lo adjudicaron.

El tercer reto referente a aprender a hacer ciencia se centra en aquellas actividades propias de la construcción del conocimiento, la elaboración de preguntas, el debate, la argumentación, entre otras y está relacionado con el principio de la interacción social y del cuestionamiento, donde el estudiante entra a hacer parte de un ambiente de discusión y de intercambio de significados, para adquirir un aprendizaje realmente crítico y significativo.

#### **4.4 La Modelación desde la visión de Mario Bunge**

Para los propósitos de esta investigación se ha elegido la visión epistemológica de Mario Bunge sobre la modelación. Para Bunge (1972), la modelación científica es el proceso de construcción de modelos idealizados y simplificados de la realidad, y los modelos son las representaciones a través de las cuales los científicos presentan su forma de ver el mundo y los fenómenos. El autor establece una diferencia entre modelos conceptuales y modelos teóricos. El modelo conceptual es entendido como un objeto modelo; es decir,

cualquier representación esquemática de un objeto. Si el objeto representado es concreto, entonces su modelo es una idealización del mismo. La representación puede ser

pictórica, como en el caso de un dibujo, o conceptual, como en el caso de una fórmula matemática; puede ser figurativa, como el modelo de bola-y-varilla de una molécula, semi-simbólica, como en el caso del mapa de contorno de la misma molécula, o simbólica como el operador hamiltoniano para ese objeto (Bunge, 1972, p. 40, citado en López, 2012, p. 61).

Bajo esta perspectiva un objeto-modelo puede entenderse como una representación conceptual de un objeto real, que describe sus propiedades y/ o atributos con el fin de comprenderlo; sin embargo, no aporta información sobre el comportamiento de dicho objeto; razón por la cual se hace necesario insertar el modelo conceptual en una teoría general para producir un modelo teórico, que es el que finalmente explica el comportamiento del objeto- modelo.

En la construcción de modelos, Bunge resalta el papel activo del sujeto y la considera como “una actividad creadora que pone en juego los conocimientos, las preferencias y aún la pasión intelectual del constructor” (Bunge, 1972, p. 23). El conocimiento teórico en esta concepción de modelación es fundamental para la construcción de modelos que se acerquen cada vez más a la realidad. Los modelos teóricos y conceptuales, desde la postura bungeana, juegan un papel fundamental en la construcción de conocimiento científico y a su vez en la enseñanza de las ciencias.

En coherencia con la visión epistemológica de Bunge, en la presente investigación se asume una imagen de ciencia que se aleja de posiciones dogmáticas que presentan las teorías como verdades absolutas, que no admiten cuestionamientos y se armoniza con la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y con la concepción de Hodson (2003, 2014) sobre la enseñanza de la ciencia; donde se muestran los modelos como construcciones humanas, susceptibles de ser permanentemente modificadas. Bajo esta perspectiva, se

busca que el estudiante pueda ser consciente de la naturaleza de los modelos científicos, de su proceso de construcción y de la diferencia que hay entre dichos modelos y la realidad misma.

En la visión dogmática de la ciencia se confunde el modelo con la realidad, sin establecer una clara diferencia entre el objeto real y el objeto-modelo, mientras que en la concepción de ciencia de Bunge los modelos se constituyen en la representación y la explicación de la realidad.

Para el proceso de modelación computacional, se plantea la necesidad de que los estudiantes tengan claridad sobre la diferencia mencionada en el párrafo anterior, para que estos puedan asumir una postura crítica frente al modelo conceptual y teórico de difracción que están analizando.

#### **4.5 La Modelación Computacional**

Partiendo de la perspectiva de modelación científica descrita anteriormente, la modelación computacional es el proceso de construcción y análisis de modelos conceptuales en programas computacionales creados para este fin. Para los estudiantes de secundaria pueden existir modelos conceptuales de difícil modelación, pero a través de la modelación computacional se puede lograr un acercamiento a las dinámicas de construcción del modelo con un análisis de los parámetros, las relaciones y los fundamentos matemáticos que permitieron su formulación.

En momentos se presenta confusión al considerar la simulación y modelación computacional como la misma actividad, cuando existen diferencias entre ellas. La principal consiste en que la primera sólo permite la modificación de parámetros para ver cómo varía el modelo computacional, mientras que la segunda va más allá, permitiendo la modificación del modelo matemático que fundamenta el modelo computacional. En

palabras de Araujo, Veit y Moreira (2007), “estos dos tipos de actividades se distinguen por el acceso que el alumno tiene al modelo matemático o icónico subyacente a la implementación de la actividad” (p. 504).

La modelación computacional, en términos de los autores, le permite al estudiante entrar a modificar, construir y reconstruir los modelos, a diferencia de las simulaciones donde el estudiante ya ve el modelo que fue representado por el maestro o por un tercero y en las cuales él interactúa modificando valores para observar qué pasa con el modelo; en la primera se permite la participación en la construcción o exploración de los modelos, comprendiendo las dinámicas y los problemas de dicho proceso.

Araujo *et al.* (2012) basados en la propuesta de Bliss y Ogborn (1989) presentan dos tipos de actividades que se pueden llevar a cabo con la modelación computacional, la expresiva y la exploratoria. La modelación computacional expresiva se refiere al proceso de modelar computacionalmente los modelos teóricos o expresarlos a través de representaciones computacionales. Considerando que este tipo de modelación requiere dominio de conceptos y relaciones presentes en los modelos teóricos y algunas habilidades computacionales, no era pertinente para los estudiantes de secundaria.

La modelación computacional exploratoria, como su nombre lo indica, supone la exploración de un modelo computacional ya construido, para analizar las relaciones existentes entre el modelo teórico y/o matemático y el modelo computacional. Este tipo de modelación se adecúa al nivel de conocimiento conceptual que tenían los participantes en este estudio. En la modelación computacional exploratoria ellos podían observar el modelo computacional del patrón de difracción y simultáneamente, el modelo teórico de la difracción de Fraunhofer. Aquí los estudiantes no son los que construyen el modelo computacional, pero sí tienen acceso al modelo teórico que le subyace, con el fin de

comprender las relaciones entre las variables, modificar parámetros, realizarle variaciones y verificar si el modelo computacional es una representación pertinente del fenómeno que permita su comprensión.

La modelación computacional exploratoria puede ser dirigida o abierta, y en ambos casos hacer uso del diagrama AVM (Adaptación de la V Gowin para la modelación computacional). En la modelación computacional exploratoria abierta, el estudiante explora el modelo matemático y computacional sin directrices que orienten dicha exploración. El estudiante puede variar parámetros y observar qué pasa en el modelo computacional, lo mismo que realizar cambios en el modelo matemático asociado. En la modelación exploratoria dirigida, es el profesor quien propone el objetivo general, las preguntas y las situaciones orientadoras en aras de que el estudiante explore y analice el modelo computacional y su relación con el modelo teórico y/o matemático.

Para la presente investigación la modelación computacional dirigida fue considerada la más pertinente respecto al contexto de implementación de la propuesta y de los objetivos planteados. En este tipo de exploración el profesor es quien primero debe dominar el modelo, comprenderlo y conocerlo a profundidad, para que después pueda dar orientaciones a sus estudiantes y ayudarles en su proceso de análisis.

La incorporación de actividades de modelación computacional en el aula de clase debe ser guiada por referentes teóricos, epistemológicos y metodológicos, que brinden las pautas necesarias para la construcción y análisis de modelos; aportando estrategias que orienten dicha actividad y permitan a los estudiantes comprender el proceso de construcción de conocimiento (López, 2012, p. 91).

A continuación se describe la fundamentación metodológica de la investigación.

## **5. FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA**

Este capítulo consta de seis apartados; en el primero de ellos se presenta el enfoque metodológico que orientó el proceso de la investigación; en el segundo se describe el contexto y los criterios de selección de los participantes; el tercer apartado se refiere a los instrumentos para la recolección de información; en el cuarto se detalla la propuesta didáctica implementada; en el quinto apartado se especifican las técnicas e instrumentos para el análisis de los datos recolectados y en el último se hace referencia a la definición de las categorías y los elementos que se tuvieron en cuenta en el proceso de análisis y en la discusión de resultados.

### **5.1 Paradigma y enfoque de investigación**

Para la presente investigación se eligió una metodología cualitativa desde la perspectiva de Taylor y Bogdan (1998); quienes la definen como una investigación que produce información descriptiva: “las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable” (p. 20). Una investigación cualitativa, busca que el investigador se adentre en lo particular, en un contexto específico con el fin de observar y recoger información desde las experiencias de los participantes, sus descripciones y percepciones.

De acuerdo con Moreira (2002), el interés central de la investigación cualitativa está en una interpretación de los significados atribuidos por los sujetos a sus acciones en una realidad socialmente construida. Son las personas investigadas quienes aportan la información que posteriormente se analiza para darle un significado desde la mirada del investigador y del contexto en el que se desarrolla.

En esta metodología el investigador realiza un trabajo detallado, describiendo todo lo que observa y escucha sin alterar las palabras, analizando actitudes y acciones a la luz de

los propósitos de su investigación e interpretando la información que recoge para posteriormente darle significado. Es una metodología humanista y flexible, sin descuidar el rigor en el proceso de investigación, en la recolección de información y en su respectivo análisis.

En el marco de este paradigma metodológico, se opta por realizar un estudio de caso, desde la perspectiva de Stake (2010), definido como “el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (p. 11). El Estudio de Caso es una forma de abordar un fenómeno, acontecimiento o situación particular de manera profunda y en su contexto, lo que permite un mayor aprendizaje del caso en estudio.

De los tipos de estudio de caso planteados por Stake (2010), se elige el instrumental, por la pertinencia para los propósitos de la presente investigación. Éste permite la comprensión de una situación o tema a través de su estudio; de esta manera, el caso se convierte en un instrumento (herramienta) para comprender lo que se está investigando en la naturalidad de su contexto.

## **5.2 Acerca del contexto y los participantes**

Atendiendo a lo propuesto por el MEN (2002), en relación con el grado en el cual se debe abordar el fenómeno de difracción, se eligió el grupo de undécimo de la Institución Educativa Rural Piedras Blancas del municipio de Guarne, que contaba con siete estudiantes; quienes, hasta este proceso de investigación, no habían tenido contacto con modelos computacionales, lo cual requirió de una ambientación sobre la modelación computacional y sus usos.

En el proceso previo a la implementación de la propuesta de enseñanza se contextualizó a los estudiantes sobre los propósitos de la investigación y se les hizo entrega de un

consentimiento informado (anexo A) que fue firmado por cada uno de los padres; además, se presentó una solicitud formal al rector de la institución para que avalara el proceso de investigación (anexo B).

### **5.3 Instrumentos y técnicas para la recolección de la información**

Los instrumentos elegidos para la recolección de la información obedecen a las características de la metodología cualitativa. La observación, las notas de campo, la entrevista semiestructurada, los videos y los audios permiten capturar los detalles de las interacciones presentes para darle sentido a lo que los participantes dicen, no sólo con palabras, sino con gestos y actitudes.

En primer lugar está la observación participante que, en el contexto de la investigación cualitativa, parafraseando a Hernández, Fernández & Baptista (2006), se sale del sentido común de simple contemplación de algo para adentrarse en los detalles, los gestos, las palabras y las acciones de los participantes, las interacciones entre ellos y con el conocimiento. Consiste en observar los diferentes ambientes, las respuestas de los estudiantes desde su lenguaje corporal, oral y escrito para darle significado en el contexto de la investigación.

El rol activo de la observación, desde la perspectiva de estos autores, es estar atento a los detalles, sucesos, eventos e interacciones. En esta investigación, la investigadora es al mismo tiempo la docente, quien se ocupa del proceso de implementación de la propuesta de enseñanza, pero observando lo que pasa a su alrededor con los estudiantes, en los grupos de trabajo, en las discusiones, los debates, las preguntas, entre otros.

Otro instrumento que se tuvo en cuenta fueron las notas de campo que se realizaron durante los diferentes momentos de intervención, reportando todo lo que sucede en el proceso y resaltando aquellos momentos o asuntos de mayor relevancia para la

investigación. El investigador puede percibir palabras, acciones o gestos que se deben registrar inmediatamente porque no es posible asegurar que se evidencien en otros instrumentos de recolección de información. Dado que las notas proporcionan información importante se deben realizar de una forma amplia y completa para no perder información valiosa.

Un apoyo tecnológico con el que se contó fueron las grabaciones de audio y video; estas herramientas permitieron registrar todos los detalles importantes para complementar o confirmar la información obtenida con otros instrumentos. Además, los videos favorecen el registro del lenguaje no verbal que es un aspecto importante de la comunicación; los gestos, las actitudes y las acciones muestran el interés y la disposición que los estudiantes tienen en el proceso de intervención.

Otro instrumento de recolección fue la entrevista semiestructurada. De los tipos de entrevistas existentes, la entrevista semiestructurada es la que más ajustaba a los propósitos de la investigación porque no se limita a las preguntas prediseñadas solamente, sino que permite la flexibilidad de ampliarlas o hacer otras diferentes en el transcurso de la entrevista (anexo C).

De acuerdo con lo anterior, la entrevista semiestructurada está en consonancia con la investigación cualitativa, puesto que es flexible, espontánea y dinámica; y aunque tiene unas orientaciones de acuerdo con los objetivos de la investigación, no se queda en la rigurosidad de sólo unas preguntas, sino que el entrevistador tiene la oportunidad de hacer otras o profundizar en algunas de ellas para obtener más información acerca de los asuntos, perspectivas u opiniones que quiera conocer de su entrevistado.

En este tipo de entrevista las preguntas deben formularse de manera amplia y abierta permitiendo que el entrevistado se exprese, con sus propias palabras, aportando sus

pensamientos, opiniones y conocimientos como información valiosa al proceso de investigación.

En esta investigación la entrevista se usó para indagar principalmente por los conocimientos que los estudiantes tienen sobre la naturaleza de la ciencia y sobre la relación entre modelo y realidad.

Por último se encuentra la producción de los estudiantes. Debido a la importancia que tiene para los objetivos de esta investigación el aprendizaje de los estudiantes, se hace también relevante conocer sus producciones en torno al aprender ciencia y sobre ciencia a través de la propuesta de intervención, la formulación de preguntas, el debate, entre otros. Estas producciones incluyen estrategias importantes como el diagrama AVM, el método POE, y los diferentes talleres que permitieron conocer los conocimientos producidos por los estudiantes.

*Adaptación de la V de Gowin a la Modelación Computacional (Diagrama AVM) como instrumento heurístico de recolección de información.*

El diagrama AVM es una adaptación de la V de Gowin, planteada por Araujo (2005) como un instrumento heurístico que permite una mejor comprensión y análisis de actividades que involucren la modelación computacional. En esta investigación el propósito es que el diagrama AVM le permita al estudiante analizar y comprender el modelo del fenómeno de difracción, donde se evidencie el dominio conceptual y metodológico del estudiante a través de sus componentes.

En este sentido, se considera que el uso de este diagrama contribuye a los propósitos de la presente investigación en cuanto aporta a los tres retos de la educación científica planteados en los referentes teóricos que fundamentan la investigación. En primer lugar, favorece el aprendizaje de la ciencia, dado que a través de éste el estudiante puede analizar

el modelo computacional y así apropiarse del lenguaje que hace parte del fenómeno, comprendiendo cada componente detallado del dominio conceptual y metodológico. Contribuye a aprender sobre ciencia en la medida que permite al estudiante analizar desde sus diferentes elementos, las diferencias existentes entre la realidad y el modelo computacional y matemático, pues en el diagrama se encuentran las particularidades de cada uno. Por último, aporta al reto de aprender a hacer ciencia, en cuanto permite asumir una postura crítica frente al conocimiento al detallar y fragmentar cada aspecto del modelo computacional. Aquí se utilizó una versión propia adaptada del diagrama realizado por López (2012).

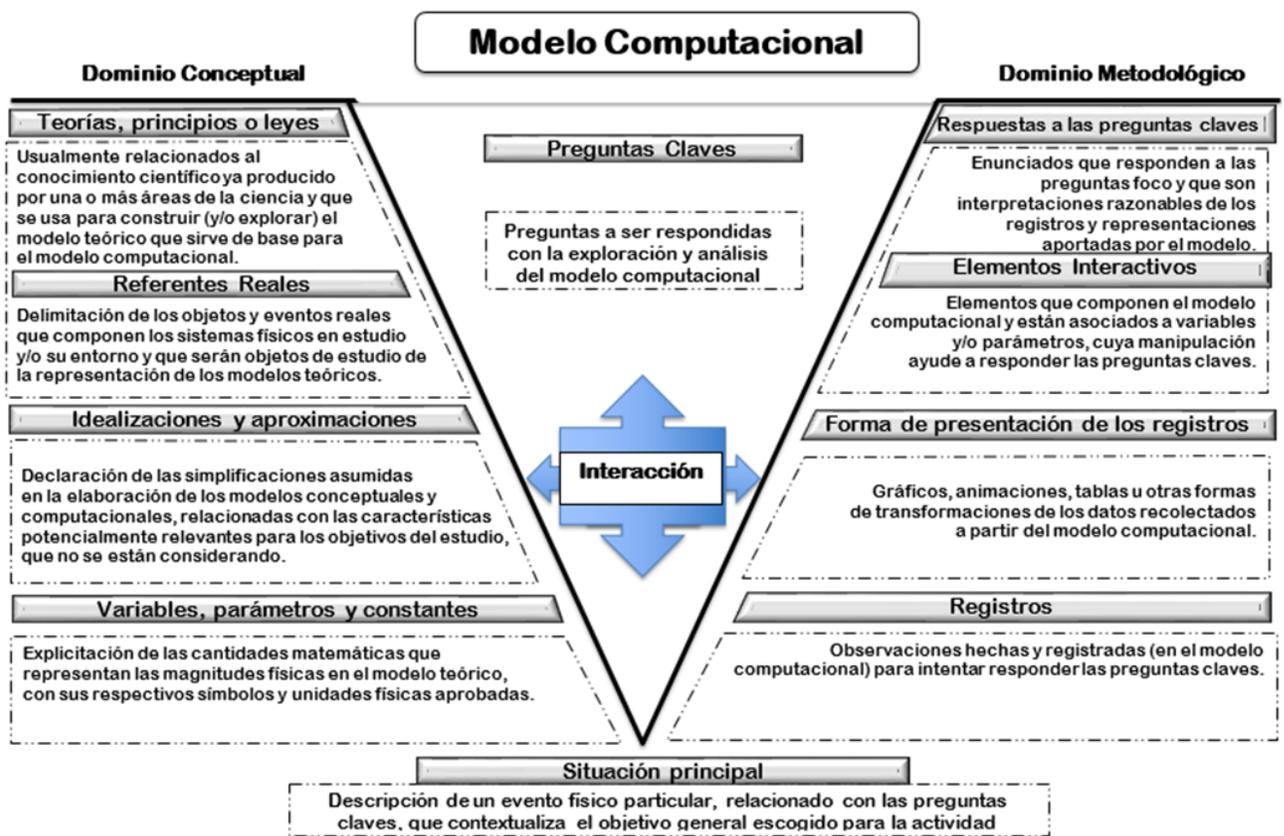


Figura 2. Adaptación del diagrama AVM para la conceptualización del fenómeno de difracción.

Como se observa en la figura 2, el diagrama AVM es un instrumento conformado por tres partes relacionadas entre sí:

i) En la parte central se encuentran las preguntas clave para ser respondidas por los estudiantes a través de la exploración y análisis del modelo computacional del fenómeno objeto de estudio. Estas preguntas buscan, de acuerdo con Araujo, Veit y Moreira (2012) ser puntos clave para favorecer el aprendizaje significativo; por lo que deben ser preguntas que permitan un análisis para ser respondidas y evitar aquellas de tipo procedimental. En el vértice de la V se describe el evento físico particular, como la situación principal que fundamenta el modelo computacional y se relaciona con las preguntas clave y el objetivo escogido para la actividad computacional.

ii) En la parte izquierda se encuentra el dominio conceptual que está constituido por 4 componentes: las teorías, principios o leyes que fundamentan el modelo conceptual y/o matemático del fenómeno, los referentes reales como objetos y/o eventos que están representados en el modelo computacional, las idealizaciones y aproximaciones se refieren a las simplificaciones asumidas en el modelo y por último, las variables, parámetros, constantes y relaciones entre ellas.

iii) En la parte derecha se encuentra el dominio metodológico conformado por cuatro elementos: los registros son las observaciones en el modelo computacional para intentar responder las preguntas clave, la forma de representar los registros se refiere a gráficos, animaciones, tablas u otro tipo de representación, los elementos interactivos del modelo computacional y los enunciados que responden a las preguntas foco y que son interpretaciones razonables de los registros y representaciones aportadas por el modelo.

*El método POE, estrategia de enseñanza aplicada en toda la propuesta de intervención*

El método POE (Predecir, Observar y Explicar), presentado por Tao y Gunstone (1999), es una estrategia de enseñanza diseñada principalmente para trabajar con simulaciones.

Este método sugiere tres pasos:

- a) Predecir: El estudiante debe predecir los resultados de alguna situación que se le presenta y justificar su predicción.
- b) Observar: El estudiante debe observar lo que sucede y registrar sus observaciones detalladamente.
- c) Explicar: El estudiante debe explicar el fenómeno observado y reconciliar cualquier conflicto entre su predicción y sus observaciones.

En las experiencias o actividades basadas en esta estrategia los estudiantes son protagonistas de su aprendizaje y se vuelven conscientes de este, siempre y cuando participen de manera crítica. Ellos primero se aventuran con predicciones acerca de lo que sucederá en un fenómeno a través de una experiencia, una simulación, un video o un modelo computacional; después en la parte de la observación ellos analizarán qué tan cerca o qué tan alejadas estaban sus concepciones de lo observado y, por último, al momento de explicar la convergencia o divergencia entre sus predicciones y observaciones, les permite ser críticos de sus propios conocimientos. Es una estrategia que bien implementada propicia la metacognición. López (2012) señala que “este método es considerado una herramienta invaluable para explorar el conocimiento de los estudiantes y permite involucrar al estudiante en actividades exploratorias de modelación computacional” (p. 35).

En la propuesta de enseñanza la mayoría de las actividades fueron diseñadas atendiendo la propuesta del método POE, como se mostrará más adelante; para la actividad diagnóstica, la experiencia que consistió en pasar un rayo de luz láser por rendijas de diferentes tamaños, así como para las actividades de modelación computacional (anexo F).

#### 5.4 Propuesta de Enseñanza (anexo D)

El diseño e implementación de la propuesta de enseñanza se fundamentó en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010) y en los Retos de la Educación en Ciencias de Hodson (2003, 2014). La propuesta se desarrolló en varias fases. La primera fue de las concepciones previas y/o predicciones, la segunda fase de las indagaciones y exploraciones y la tercera la fase de las explicaciones. En la tabla 3 se presentan los propósitos de cada fase, las actividades que se desarrollaron, las técnicas y los instrumentos de recolección de información. El proceso de intervención se llevó a cabo en seis sesiones (dos sesiones de dos horas, dos sesiones de tres horas y dos sesiones de cuatro horas), para un total de 18 horas.

Durante todo el proceso de intervención, las discusiones y análisis se realizaron en tres grupos: dos parejas y un trío, con excepción de la entrevista semiestructurada que se realizó de manera individual. Cada grupo tenía acceso a un computador portátil, en el cual previamente se instaló el *software* de *LabView* y la carpeta con las imágenes y el modelo computacional a explorar sobre difracción.

Tabla 3. *Fases para la implementación de la propuesta de enseñanza*

Fase	Propósito	Actividades	Técnicas e instrumentos para la recolección de información
<b>Concepciones previas y predicciones</b>	Identificar los conocimientos previos acerca de la difracción y de la naturaleza de la ciencia	1. Entrevista sobre la naturaleza de la ciencia. Diferencias entre modelo y realidad	Entrevista semiestructurada, notas de campo, observación y dibujos de los estudiantes.
		2. Ambientación en <i>Tracker</i> y predicciones sobre difracción en imagen y gráfica en <i>Tracker</i>	
		3. Predicciones en experiencia concreta con láser y rendijas a través de dibujos.	

		4. Ambientación y predicciones en <i>LabView</i>	
<b>Observaciones</b>	Facilitar el acercamiento al fenómeno de difracción desde la experiencia y la modelación computacional exploratoria dirigida para que observen y analicen lo que sucede en el fenómeno real y en el modelo computacional	5. Manipulación de <i>Tracker</i> , imagen de difracción y gráfica.	
		6. Observaciones del paso de la luz del láser a través de las diferentes rendijas.	Observación, notas de campo y dibujos de los estudiantes
		7. Exploración del modelo computacional, variación de parámetros y del modelo matemático	
<b>Explicaciones</b>	Analizar y confrontar las predicciones y las observaciones brindando explicaciones que muestren el nivel de conceptualización del fenómeno de difracción .	8. Explicaciones sobre las diferencias entre las predicciones y observaciones en la experiencia.	
		9. Elaboración de Diagrama AVM para la conceptualización y comprensión del fenómeno de difracción.	Diagrama AVM, observación y respuestas de los estudiantes
		10. Explicaciones sobre las diferencias entre las predicciones y observaciones en el modelo computacional.	
		11. Taller final sobre las diferencias entre modelo y realidad	

### 5.4.1 Primera fase

#### *Concepciones previas y predicciones*

1. Entrevista semiestructurada sobre la naturaleza de la ciencia: Cada estudiante participó de manera individual en esta actividad cuyo propósito era identificar los conocimientos previos acerca de la naturaleza de la ciencia, concepciones sobre quiénes son los científicos, la posibilidad de error de una teoría y la diferencia entre modelo y realidad.

2. Ambientación y predicciones de imagen de difracción en *Tracker*: *Tracker* es un *software* libre que permite el análisis de imágenes y videos en dos dimensiones a través de tablas y gráficos. Aprovechando esta herramienta tecnológica se observó una imagen sobre

la difracción con su respectiva gráfica mostrada por el programa (figura 3), respondiendo preguntas y haciendo predicciones sobre las fuentes que originaban las luces, el fenómeno óptico que correspondía con la imagen y la relación existente entre la imagen y la gráfica.

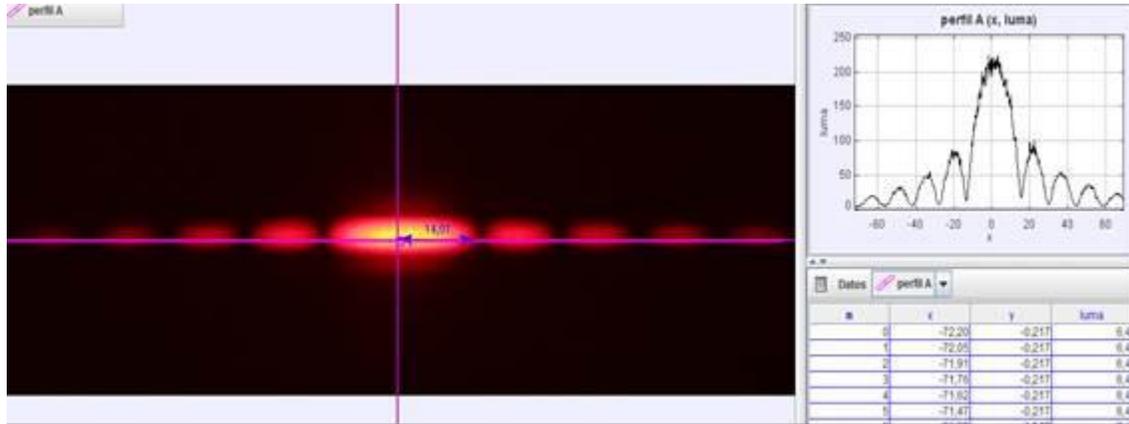


Figura 3. Patrón de difracción en Tracker

3. Predicciones en experiencia con láser y rendijas: A través de gráficas los estudiantes predijeron lo que sucedería al pasar un rayo de luz de un láser sobre rendijas de diferente tamaño (5mm, 0.5mm) (figura 4).



Figura 4. Materiales para experiencia.

4. Ambientación y predicciones en LabView: Los estudiantes pronosticaron cómo iba a comportarse el modelo computacional en relación con la variación de parámetros y del

modelo matemático (figura 5). El modelo computacional fue elaborado en *LabView*, un *software* de National Instruments que permitía recrear el patrón de difracción variando las longitudes de onda con sus respectivos colores y el ancho de la rendija, permaneciendo implícitos y fijos en el modelo: la intensidad de la luz inicial, el ángulo de incidencia del rayo de luz y la distancia entre la rendija y la pantalla. También presentaba la gráfica del fenómeno en el plano cartesiano y el modelo matemático con la posibilidad de cambiarlo. Otros *software* no eran pertinentes para abordar fenómenos de óptica. Para la exploración que llevaron a cabo los estudiantes se usó la versión demo que es gratuita y que les permite interactuar con los modelos y simulaciones.

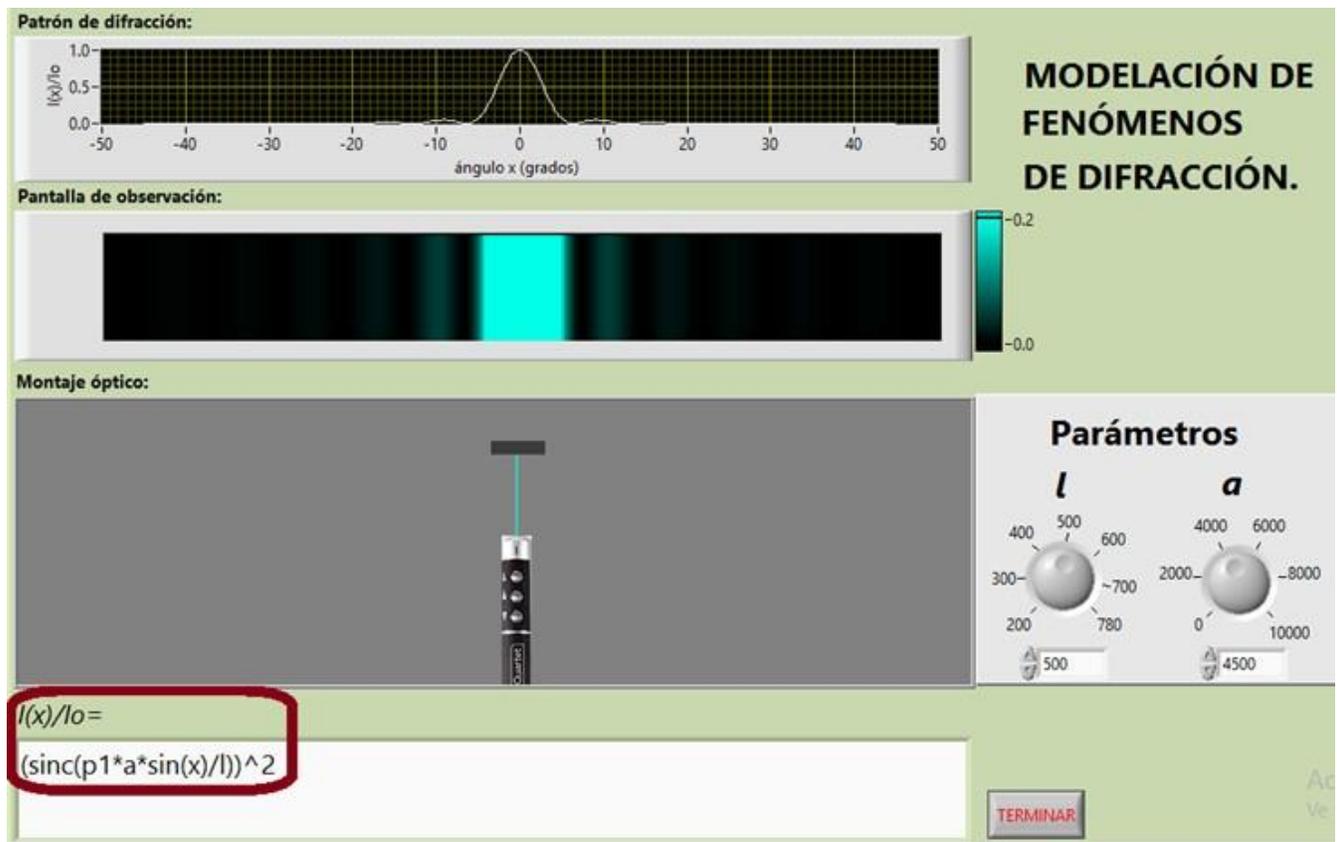


Figura 5. Modelo computacional del fenómeno de difracción en *LabView*.

### 5.4.2. Segunda fase

#### *Observaciones*

5. Manipulación de imagen de difracción en Tracker: Los estudiantes tuvieron la oportunidad de interactuar con el programa observando las relaciones entre imagen, gráfica y tabla, socializando lo que ellos iban observando y respondiendo a las preguntas realizadas por la docente.

6. Observaciones de la experiencia del láser por las rendijas: A cada grupo se le asignó un láser con dos rendijas: una de 5mm y otra de 0.5mm. La actividad consistía en pasar el rayo de luz por ambas rendijas y observar cómo se proyectaba la luz en la pared, registrando las observaciones a través de gráficas e interactuando entre ellos de acuerdo con lo que observaban y dirigidos por la investigadora.

7. Exploraciones y observaciones del modelo computacional: En esta actividad tenían una guía que los orientaba a ir realizando variaciones en los parámetros del ancho de la rendija y en la longitud de onda, observando y discutiendo los cambios en el patrón de difracción de la pantalla y en su respectiva gráfica, dependiendo de la relación entre estas dos variables. En esta tercera actividad, de acuerdo con la perspectiva de modelación científica y computacional, planteada en los referentes teóricos, se realizó un análisis en torno al modelo matemático presente en el modelo computacional, realizando algunas modificaciones a su estructura o cambiándolo totalmente y observando qué sucedía con el patrón de difracción.

### 5.4.3. Tercera fase

#### *Explicaciones*

En esta fase los estudiantes evaluaron las diferencias entre sus concepciones previas y/o predicciones y las observaciones que realizaron en la fase dos, a través de cuatro actividades.

8. Explicaciones sobre las diferencias entre las predicciones y observaciones en la experiencia: Los estudiantes explicaron las diferencias que habían encontrado entre las predicciones y observaciones representadas a través de dibujos en la experiencia del láser sustentándolas de acuerdo a la comprensión del fenómeno.

9. Elaboración de Diagrama AVM para la conceptualización y comprensión del fenómeno de difracción: En este diagrama se detalló cada componente del dominio conceptual y metodológico, a través de la modelación computacional para dar respuesta a las preguntas clave que daban cuenta de la comprensión del fenómeno de difracción.

10. Explicaciones sobre las diferencias entre las predicciones y observaciones en el modelo computacional: Aquí las explicaciones estuvieron basadas en la comparación entre las predicciones sobre el comportamiento del modelo computacional, respecto a la variación de parámetros, el cambio del modelo matemático, con las observaciones y con la apropiación de conceptos a través del diagrama AVM.

11. Taller final sobre las diferencias entre modelo y realidad: Los estudiantes respondieron algunas preguntas sobre la diferencia entre modelo y realidad después de reflexionar en las otras actividades sobre estas diferencias para terminar dando cuenta de la comprensión que adquirieron sobre esta relación.

## **5.5. Instrumentos y procedimientos para el análisis de la información**

En esta sección se realiza una descripción de los instrumentos y los procedimientos utilizados para el análisis de información, como la transcripción, el análisis de contenido, la categorización, la codificación y el proceso de triangulación que da validez a la investigación cualitativa.

De acuerdo con Gibbs (2012) “la idea de análisis supone alguna clase de transformación. Usted comienza con una colección [...] de datos cualitativos y los procesa mediante procedimientos analíticos, dando lugar a un análisis claro, comprensible, penetrante, fiable e incluso original” (pp. 19-20). El análisis de la información recolectada es fundamental en la investigación cualitativa, porque a través de este proceso es posible comprender la realidad del objeto de estudio y a su vez darle significado a la investigación.

Para realizar el análisis se parte de los datos recolectados a través de los instrumentos especificados en apartados anteriores, que permitan tener información escrita, oral y visual; la cual debe disponerse de tal modo que pueda ser analizada. Esta organización inicia con la transcripción de entrevistas, audios y videos, favoreciendo no sólo el registro escrito, sino el significado de datos dentro del contexto en que fueron producidos.

Pues si los métodos cualitativos en general, procuran esclarecer los significados de la vida en sociedad, entonces no pueden conformarse con examinar el mero contenido o superficie de lo dicho. Es imprescindible analizar también: ¿cómo fue dicho?, ¿a quién?, ¿en qué contexto?, ¿por qué? y, en definitiva, qué es lo que esas palabras significan o podrían significar (Farías y Montero, 2005, p.58).

En consecuencia, el proceso de transcripción se realizó atendiendo a las palabras, gestos, actitudes y acciones en su contexto; buscando los significados construidos por los estudiantes, que contribuyan a los objetivos de la investigación.

Posterior a la transcripción, se realizó el análisis de contenido. Este fue un proceso que permitió reflexionar sobre la información recolectada con el fin de comprenderla y llegar a una interpretación del fenómeno estudiado; como lo menciona Bautista (2011), refiriéndose al análisis de contenido como el proceso que permite obtener un nuevo conocimiento acerca de lo que se está investigando a partir de la interpretación de la información. En dicho análisis se describieron las características de los hechos que se consideran relevantes para dar respuesta a la pregunta de investigación.

Durante el análisis de contenido se llevó a cabo la categorización, en la cual se organizó la información estableciendo relaciones entre situaciones que presentaban regularidades y estaban ligadas a las categorías de análisis y a su vez a los objetivos de la investigación, como lo afirma Bautista (2011),

...los datos registrados en los diversos instrumentos deben ser convertidos en categorías que permitan realizar comparaciones y contrastes, a fin de poder organizar conceptualmente los apuntes y dar a la información una forma accesible que permita la comprensión de las realidades emergentes que se han detectado (p. 189).

Estas regularidades mencionadas anteriormente, se identifican gracias a la codificación entendida como el proceso de asignar un código a cada categoría para buscar todos los registros que aporten al análisis de estas.

Por último, se realizó el proceso de triangulación, entendiendo éste como la “acción de reunión y cruce dialéctico de toda la información pertinente al objeto de estudio surgida en la investigación por medio de los instrumentos correspondientes” (Cisterna, 2005, p. 68). Para la presente investigación, se seleccionó la información categorizada de acuerdo a su pertinencia y relevancia en coherencia con los objetivos. Posteriormente, se realizó la

triangulación entre las diferentes fuentes de información y con el marco teórico; dado que es a través de este proceso que se logra dar validez interna a la investigación.

### 5.6. Proceso de construcción de las categorías para el análisis

En la tabla que se presenta a continuación se describen las categorías apriorísticas para el análisis que se plantearon de acuerdo con los referentes teóricos y que surgen de los objetivos específicos de esta investigación; asimismo, se describen las técnicas, instrumentos y actividades que aportan información relevante para cada una de las categorías. A cada actividad se le asignó un número de acuerdo con el orden en que se realizaron en la implementación de la propuesta de enseñanza.

Tabla 4. *Matriz metodológica de la investigación.*

<b>Matriz metodológica</b>				
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Categorías</b>	<b>Subcategorías</b>	<b>Instrumentos de recolección de información</b>	<b>Actividades a realizar</b>
Identificar el papel de la modelación computacional en la apropiación de conceptos relativos al fenómeno de difracción por parte de los estudiantes.	<b>Aprender Ciencia</b>	Concepciones previas  Apropiación de conceptos y lenguaje	Observaciones Notas de campo Producción de los estudiantes	Experiencia con láser y rendijas. Predicciones y observaciones (3 y 6) Predicciones, observaciones y exploración del modelo computacional (4 y 7) Explicaciones (8 y 10) Diagrama AVM (9)
Describir las potencialidades de la modelación computacional para la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia.	<b>Aprender Sobre Ciencia</b>		Observaciones Notas de campo Producción de estudiantes	Entrevista (1)  Modelación Computacional Exploratoria (4, 7,8,9 y 10)  Taller final (11)
Identificar la contribución de la propuesta de enseñanza al desarrollo de procesos epistémicos que faciliten un aprendizaje reflexivo y crítico.	<b>Aprender a hacer Ciencia</b>		Observaciones Notas de campo Producción de los estudiantes	Experiencia con láser y rendijas. Predicciones y observaciones (3 y 6) Predicciones, observaciones y exploración del modelo computacional (4 y 7) Explicaciones (8 y 10) Diagrama AVM (9)

### **5.6.1. Aprender Ciencia**

Esta categoría se establece a la luz del primer Reto de Educación Científica de Hodson (2003, 2014) y del Principio del Conocimiento como Lenguaje de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (2005, 2010); y hace énfasis en que la comprensión de un área disciplinar implica la comprensión de su lenguaje. “Este principio es considerado como un principio disciplinar en el sentido de que el lenguaje está necesariamente implicado en cualquier intento humano de percibir la realidad” (López, 2012, p. 432).

En esta categoría se buscan evidencias de la apropiación del lenguaje como palabras, símbolos o signos y significados en torno al fenómeno de difracción a través de la modelación computacional y demás actividades propuestas para este fin. Para valorar la evolución en la apropiación del lenguaje se presentan dos subcategorías, las concepciones previas y la apropiación de conceptos.

#### *Concepciones Previas*

En palabras de Moreira (2010) “para ser crítico de algún conocimiento, de algún concepto, de algún enunciado, en primer lugar, el sujeto tiene que aprenderlo significativamente y, para eso, su conocimiento previo es, aisladamente, la variable más importante” (p. 8). Para tener en cuenta la evolución y comprensión del lenguaje del fenómeno de difracción se partió de lo que los estudiantes ya conocían acerca de dicho fenómeno, para contrastar sus concepciones previas con el nuevo conocimiento e identificar si realmente hubo una diferencia significativa.

#### *Apropiación de conceptos*

Acerca de la relación de esta categoría con el principio del conocimiento como lenguaje, la apropiación de conceptos se presenta cuando el estudiante comprende el fenómeno y lo explica una vez ha confrontado sus predicciones y observaciones a través del

establecimiento de relaciones entre las variables presentes en el modelo teórico o matemático y el modelo computacional; analiza las implicaciones en los cambios de las variables y se concientiza de las idealizaciones en el modelo computacional y la conceptualización del fenómeno.

De acuerdo con lo anterior, se establecieron las características generales para las evidencias que muestran una comprensión del fenómeno de difracción: Los símbolos (variables) comprendidos y abordados en un lenguaje coherente, las relaciones entre variables establecidas y expresadas a través del lenguaje y las explicaciones del fenómeno de difracción. Las expresiones pertenecientes a cada característica se clasifican en pertinentes, aceptables o deficientes de acuerdo a los propósitos para cada una.

Tabla 5. *Cualidades del lenguaje que evidencian apropiación de conceptos.*

<b>Evidencias</b>	<b>Pertinentes</b>	<b>Aceptables</b>	<b>Deficientes</b>
Símbolos (variables) comprendidos y abordados en un lenguaje coherente	Reconoce las variables que están presentes en el modelo matemático y computacional, habla de ellas con propiedad e identifica el papel que juegan en la formación del fenómeno	Reconoce las variables que están presentes en el modelo matemático y computacional, habla de ellas con propiedad, pero no identifica claramente el papel que juegan en la formación del fenómeno	No reconoce las variables que están presentes en el modelo matemático y computacional y no identifica el papel que juegan en la formación del fenómeno
Relaciones entre variables establecidas y explicadas a través del lenguaje	Identifica las relaciones entre las variables presentes en el modelo teórico y su correspondencia con el modelo computacional explicando coherentemente dichas relaciones	Apenas logra identificar las relaciones entre las variables presentes en el modelo teórico y su correspondencia con el modelo computacional explicando con alguna dificultad dichas relaciones	No identifica las relaciones entre las variables presentes en el modelo teórico y su correspondencia con el modelo computacional
Explicación del fenómeno de difracción	Se apropia de las palabras asociadas al fenómeno de difracción para brindar una explicación coherente del mismo y de las similitudes y diferencias entre el fenómeno real y el modelo computacional	Reconoce algunas palabras asociadas al fenómeno de difracción que le permiten brindar alguna explicación del mismo y de las similitudes y diferencias entre el fenómeno real y el modelo computacional	No reconoce las palabras asociadas al fenómeno de difracción, ni las similitudes y diferencias entre el fenómeno real y el modelo computacional

### **5.6.2. Aprender sobre ciencia**

En esta categoría se buscaron los aportes de los estudiantes que daban cuenta de un aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia, partiendo de las respuestas presentadas en la entrevista inicial, donde ellos expusieron sus concepciones previas al respecto.

Los aspectos de la naturaleza de la ciencia que se tuvieron en cuenta de acuerdo con los propósitos de la investigación fueron los modelos y teorías como construcciones humanas y su relación con la realidad. Este aspecto da cuenta del principio de la conciencia semántica asociado directamente con el aprendizaje sobre ciencia.

Una de las actividades realizadas con este fin fue la entrevista semiestructurada donde se hicieron preguntas relacionadas con los aspectos humanos de la elaboración de teorías; el papel que juegan los científicos como personas susceptibles de cometer errores y que están directamente involucradas con el proceso de construcción del conocimiento y con la posibilidad de cambio en los modelos o teorías cuando se propongan otros que brinden una explicación más completa y pertinente sobre un fenómeno.

Para identificar la comprensión que tenían los estudiantes sobre la relación entre los modelos y la realidad se utilizaron gráficas antes y después de la modelación computacional exploratoria, en las cuales se presentaban dibujos sobre el fenómeno como se visualiza en la realidad y otros con los modelos que lo representan matemática y gráficamente. Lo que se buscó en esta categoría fueron evidencias expresadas por los estudiantes a través de sus palabras que mostraran una comprensión de la diferencia entre un modelo como representación de la realidad y la realidad misma.

### **5.6.3. Aprender a hacer ciencia**

Esta categoría se relaciona con el principio de la interacción social y el cuestionamiento y con todos los procesos epistémicos que esto conlleva. Si bien los estudiantes no realizan

actividades científicas, ni construyen conocimiento científico, sí pueden recrear algunos procesos propios de la construcción del conocimiento. Las discusiones permanentes en torno al conocimiento, la modelación computacional en sí misma que conlleva a analizar los modelos matemáticos junto sus modelos computacionales, el uso de estrategias de enseñanza que invitan a la reflexión y la utilización de heurísticos como el diagrama AVM son actividades que facilitan un aprendizaje significativo.

Para propiciar un ambiente de aprendizaje crítico diferente a la enseñanza mecánica de la transmisión, Moreira (2010) señala que “lo fundamental es que docente y estudiantes tengan una postura dialógica, abierta, curiosa, indagadora y no pasiva, mientras hablan u oyen” (p. 10); y asocia esta disposición que debe tener el docente y estudiantes con un término propuesto por Freire (2003), como la curiosidad epistemológica, entendida como la curiosidad de los niños y del sentido común, que a medida que se va desarrollando se vuelve más metódica y rigurosa.

En esta categoría el enfoque está en esos procesos epistémicos que tuvieron lugar durante la implementación de la propuesta de enseñanza y que se originaron gracias a la modelación computacional y a la misma propuesta. Moreira señala que “una enseñanza centrada en la interacción entre profesor y alumno enfatizando el intercambio de preguntas tiende a ser crítica y suscitar el aprendizaje significativo crítico” (Moreira, 2010, p. 9). Para este autor es muy importante que el estudiante aprenda a formular preguntas en lugar de transmitir respuestas dadas por el profesor y posteriormente memorizadas por ellos. Con este fin, los estudiantes durante todo el tiempo estuvieron divididos en tres grupos (dos parejas y un trío), para facilitar una discusión permanente que abriera la posibilidad a cuestionamientos, debates y discusiones en torno al fenómeno abordado.

En primer lugar se tuvieron en cuenta las preguntas que surgieron de manera espontánea en los trabajos grupales y en las diferentes actividades y se categorizaron de acuerdo a lo relevantes y pertinentes que estas fueron respecto al fenómeno abordado. Se dividieron en tres niveles (bajo, medio, alto), según la caracterización hecha por López (2012) y adaptada al contexto de la presente investigación.

Nivel Bajo: Se hace referencia a preguntas muy limitadas; preguntas que indagan por respuestas numéricas, respuestas del tipo sí o no, o preguntas que buscan como respuesta una ecuación o una palabra completamente inducida por la pregunta; así, como preguntas que indagan por aspectos muy generales que pueden ser subyacentes al fenómeno estudiado, pero que no posibilitan su comprensión.

Nivel Medio: Aquellas preguntas cuyas respuestas requieren el uso de algún o algunos conceptos del fenómeno de difracción, sin que se establezca necesariamente una relación entre éstos. Asimismo, pueden considerarse en este nivel, preguntas que pueden generar cierto interés pero que poco aportan a la comprensión del fenómeno en cuestión.

Nivel Alto: Aquellas preguntas que incitan a la conceptualización, preguntas que requieren una comprensión de los conceptos involucrados en el análisis de un fenómeno y que posibilitan el establecimiento de relaciones claras y coherentes entre los conceptos que explican dicho fenómeno.

En segundo lugar se analizaron las discusiones que pudieron surgir en los grupos de trabajo y que llevaron a una interacción entre los estudiantes y entre ellos y el profesor en relación con el fenómeno abordado, favoreciendo, como lo expresa Moreira (2010), un intercambio de significados, aportando a la comprensión de conceptos y relaciones e invitando a una reflexión sobre algún aspecto de la difracción.

Por último, se reflexionó sobre el proceso epistémico que conlleva el análisis del modelo teórico del fenómeno abordado a la luz de su relación directa con el modelo computacional, permitiéndole al estudiante cuestionarse sobre la necesidad de los modelos teóricos para brindar explicaciones coherentes sobre los fenómenos naturales y ofrecer la posibilidad de modelarlos computacionalmente.

## **6. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los principales resultados de la investigación y su respectivo análisis con base en las categorías y subcategorías mencionadas en la tabla 4. El caso está conformado por siete estudiantes que se encontraban divididos en 3 grupos para propiciar el trabajo y las discusiones. Para el análisis de cada categoría se tuvieron en cuenta las diferentes respuestas, socializaciones, discusiones y entrevistas, así como las diferentes actividades implementadas en la propuesta didáctica.

A los participantes se les asignó un código para identificarlos en la presentación de los resultados (E1 a E7). En coherencia con el marco teórico, se valoró el nivel de aprendizaje en ciencia con la apropiación de conceptos relativos al fenómeno de difracción a través de la modelación computacional, el aprendizaje sobre ciencia con la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia y la contribución de la propuesta de enseñanza al desarrollo de procesos epistémicos que facilitaron un aprendizaje reflexivo y crítico.

### **6.1. Aprender Ciencia**

Partiendo de la descripción que se realizó de esta categoría en el capítulo anterior, el principal aspecto a tener en cuenta es la apropiación por parte de los estudiantes del lenguaje de la física, más específicamente de aquellos conceptos que se relacionan con el fenómeno de difracción producida por una rendija de Fraunhofer. Para valorar dicha apropiación se analizaron dos subcategorías, los conocimientos previos que tenían los estudiantes sobre el fenómeno y la evolución de dichos conceptos expresados a través del lenguaje científico.

A la luz del marco teórico que fundamenta esta investigación, aprender ciencia hace referencia a la adquisición y el desarrollo del conocimiento conceptual y teórico de la ciencia (Hodson, 2003). Este enfoque está ligado al planteamiento de Moreira (2005), quién

enfatisa en que cuando se conoce el lenguaje de una disciplina se puede hablar de su comprensión. “Una *disciplina* es una manera de ver el mundo, un modo de conocer, y todo lo que se conoce en esa “disciplina” es inseparable de los *símbolos* (típicamente palabras) en los que se codifica el conocimiento producido por ella” (Moreira 2005, p.102).

*Las concepciones previas como punto de partida para la apropiación de conceptos y evolución de conocimientos.*

De acuerdo con la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, el conocimiento previo es una de las variables, más importantes para que exista un aprendizaje significativo; porque es a partir de ahí que se puede dar una evolución de significados, estableciendo una relación con lo que ya se sabe y permitiendo la toma de una postura crítica frente a los nuevos conocimientos.

Las concepciones previas surgieron a partir de la actividad introductoria y diagnóstica sobre una imagen de difracción y la relación con su gráfica (ver figura 6) y de las predicciones acerca de la experiencia con el láser, así como de las relacionadas con el funcionamiento del modelo computacional. Los fragmentos que se muestran a continuación fueron tomados de las predicciones realizadas por los estudiantes de forma escrita y las grabaciones.

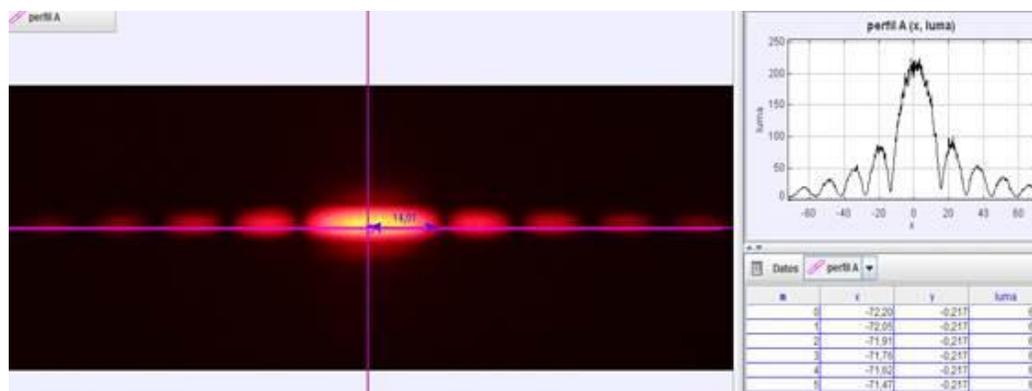


Figura 6. Imagen y gráfica del fenómeno de difracción en Tracker

Tabla 6. Fragmentos de concepciones previas del fenómeno de difracción en actividad en

Tracker

<i>Concepciones previas</i>	<i>Fragmentos</i>
<i>Una fuente de luz forma el patrón de difracción (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7)</i>	<i>¿De dónde crees que salen las luces que se ven en la imagen? “De una fuente de luz que atraviesa un agujero (laser)” (E1, E2, escrito) “La luz sale de un láser”. (E2, E3, E4, escrito) “La luz sale de la fuente de luz y en este caso de un láser” (E5, E6, escrito)</i>
<i>Desviación de la luz (E1, E2)</i>	<i>“Que es una forma de desviación de la luz” (E1, E2, escrito)</i>
<i>Difracción en un fenómeno real</i>	<i>“del cielo baja como una luz entre nubes y se empieza a difractar”. (E1, audio) “cuando hay luz atravesando una nube, se ven rayos de luz (sol) en diferentes puntos” (E1, E2, escrito) “cuando una luz se expande y hace que se vea más luz” (E6 escrito) “No he visto fenómeno de difracción” (E3, escrito) “yo no he escuchado nada de difracción” (E1, Audio) “la luz que baja por un espejo, eso es una difracción de la luz. ¿no?” ...a luz en un espejo es difracción, el arcoíris es refracción...si usted dice que no es un rayo, ni un arcoíris, ni un espejo, es desviación, en un eclipse, ¿No ve que disminuye la luz?” (E3, audio) “No me acuerdo lo que he escuchado sobre la difracción” (E5, audio)</i>
<i>Relación Imagen (patrón de difracción)- Gráfica y reconocimiento variables principales en difracción E1,E2,E3,E4</i>	<i>“Representa la relación entre la longitud y la intensidad de la onda de la luz” (E1, E2, escrito) “Mientras mayor sea la longitud menor la intensidad” (E2, audio) “Representa la longitud de onda la intensidad y en algunos casos la velocidad y el tiempo, esta grafica muestra cómo se dispersa la luz (cambia)” (E3, E4, E5, escrito)</i>

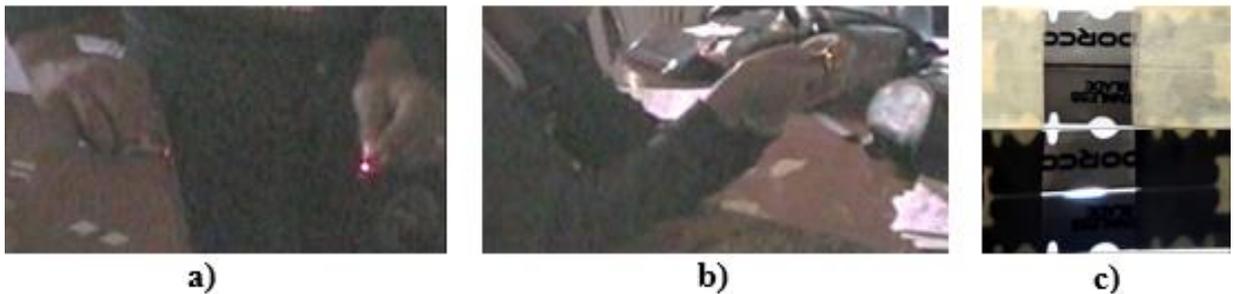
En la imagen en Tracker se presentaba un patrón de difracción formado por 11 franjas luminosas. Al indagar si los estudiantes pensaban que los 11 destellos de luz se derivaban de una sola fuente o de varias, el 100% de ellos manifestó que el patrón mostrado se derivaba de un solo haz de luz, pero E1 y E2 manifestaban que se formaba por una desviación de la luz, sin tener mucha claridad sobre cómo se producía el fenómeno.

Ninguno de los estudiantes había visto el fenómeno de difracción y solamente E1, E2 y E3 intentaban explicarlo refiriéndose a otros fenómenos ópticos como la reflexión en los espejos, la refracción o la descomposición de la luz solar en el espectro visible del arco iris;

mientras E4, E5, E6 y E7 afirmaron nunca haber visto la difracción. Este resultado es coherente con las investigaciones de Andrade y Cabral (2006) y Maurines (2010), quienes concluyeron que para los estudiantes de secundaria es difícil la comprensión de la difracción porque no es un fenómeno macroscópico; por lo tanto, es difícil de visualizar.

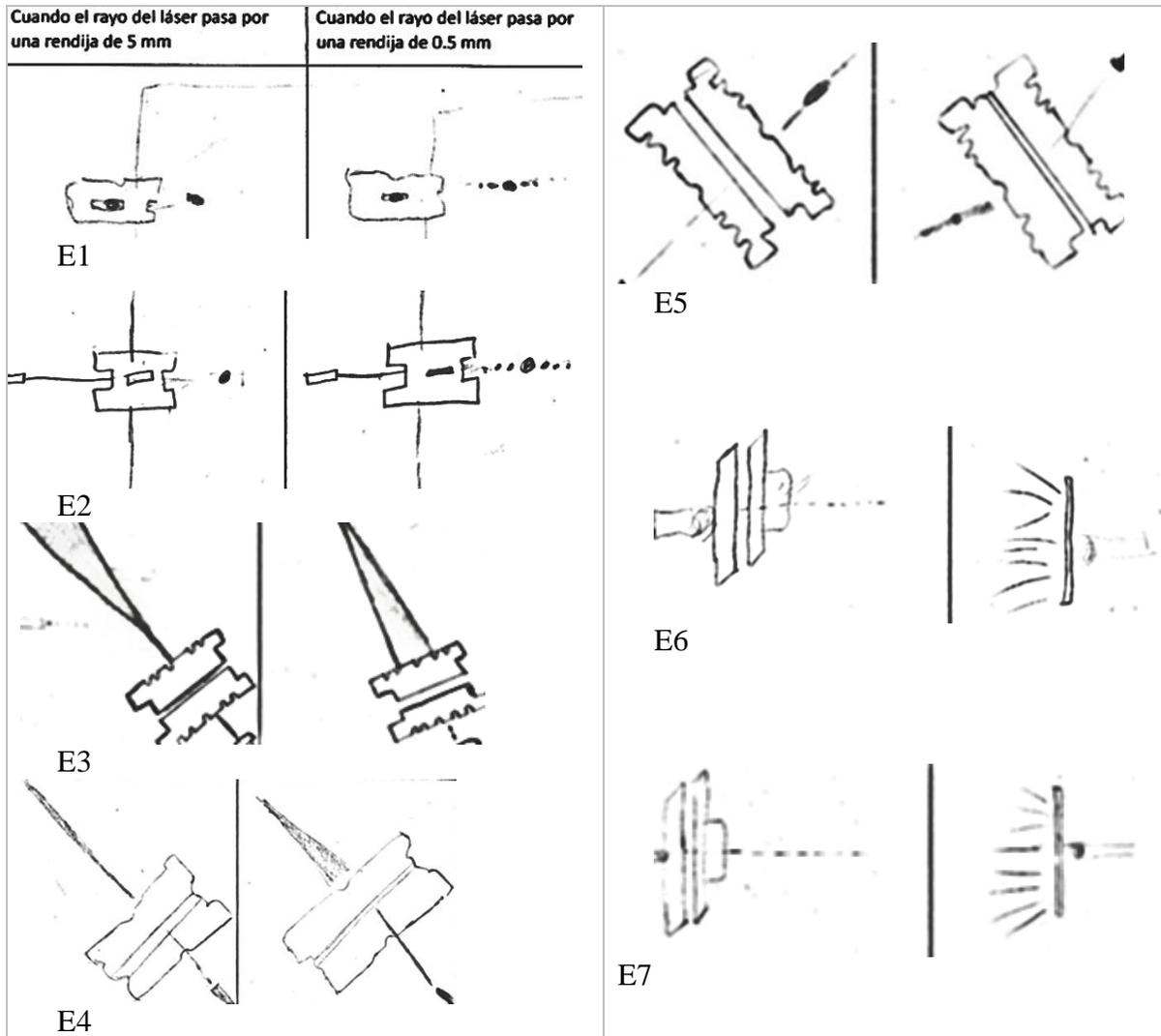
Con respecto a la gráfica que acompañaba la imagen del patrón de difracción, todos los estudiantes expresaron que las variables involucradas eran la intensidad de la luz y la longitud, pero no especificaron si se referían a longitud de onda o a la distancia al centro, no tenían claridad en ello. Tampoco conocían una posible función que modelara dicha relación representada.

A continuación, se presentan las fotografías donde los estudiantes están realizando la experiencia de pasar un rayo de luz láser a través de dos rendijas de 5mm y 0.5mm de longitud; y más adelante se realizan las predicciones a partir de gráficas, sobre cómo se verá el rayo de luz en la pared. Estas representaciones también hacen parte de las concepciones previas sobre el fenómeno de difracción.



*Figura 7.* a) y b) Estudiantes E4 y E6 apuntando con el láser a la rendija. c) Rendija de 0.5mm aproximadamente formada por los bordes de una cuchilla de afeitar.

Tabla 7. Predicciones y concepciones previas sobre el comportamiento del rayo de luz al pasar por dos rendijas de diferentes tamaños.



En las gráficas donde los estudiantes predicen qué sucede con el rayo de luz cuando atraviesa una rendija de 5mm, todos graficaron un rayo de luz por detrás de la rendija de 5mm, teniendo claridad en que la luz no se desvía, pero lo representaron de diferentes formas: con un punto en la pared (E1, E2), con una línea punteada (E5, E6, E7), con una línea continua (E4) y con un rayo que se abre como una linterna (E3). En lo que coinciden

todos los estudiantes es en la creencia que el rayo de luz se observa en todo el espacio, cuando en realidad se visualiza solo en la pared.

Para el caso de la rendija de 0.5mm sólo los estudiantes E1 y E2 predijeron la formación de un patrón de difracción, pero con un error en la dirección del mismo, puesto que la luz se curva hacia los bordes de las cuchillas quedando el patrón de forma perpendicular (en el plano) a la dirección de la rendija, mientras que en las gráficas se observa que el patrón (en el plano) es paralelo a la dirección de la rendija. Los estudiantes E6 y E7 graficaron varias líneas saliendo de la rendija, que se supone representaban varios rayos de luz, pero no se observa cómo se ven en la pared si todas las luces llegan con la misma intensidad o se forma el patrón de difracción. Los estudiantes E3 y E4 muestran un rayo de luz continuo que sale de la rendija con igual tamaño de esta y que va disminuyendo hasta concentrarse en un punto. Por último, E5 predice una línea que se proyecta con un punto grueso en la mitad, pero sin ningún patrón definido. Estas predicciones muestran que sólo el 28% de los estudiantes tenía claro que, al pasar la luz por la rendija de 0,5mm se formaría un patrón de difracción, mientras que el 72% restante no sabía qué sucedía con el rayo de luz cuando pasaba por dicha rendija. La claridad que tenían algunos de los estudiantes sobre este aspecto probablemente se debe al análisis que se había realizado previamente sobre la imagen de difracción en el programa tracker, puesto que hasta este momento ellos no habían hecho la actividad experimental, ni visto el modelo computacional.

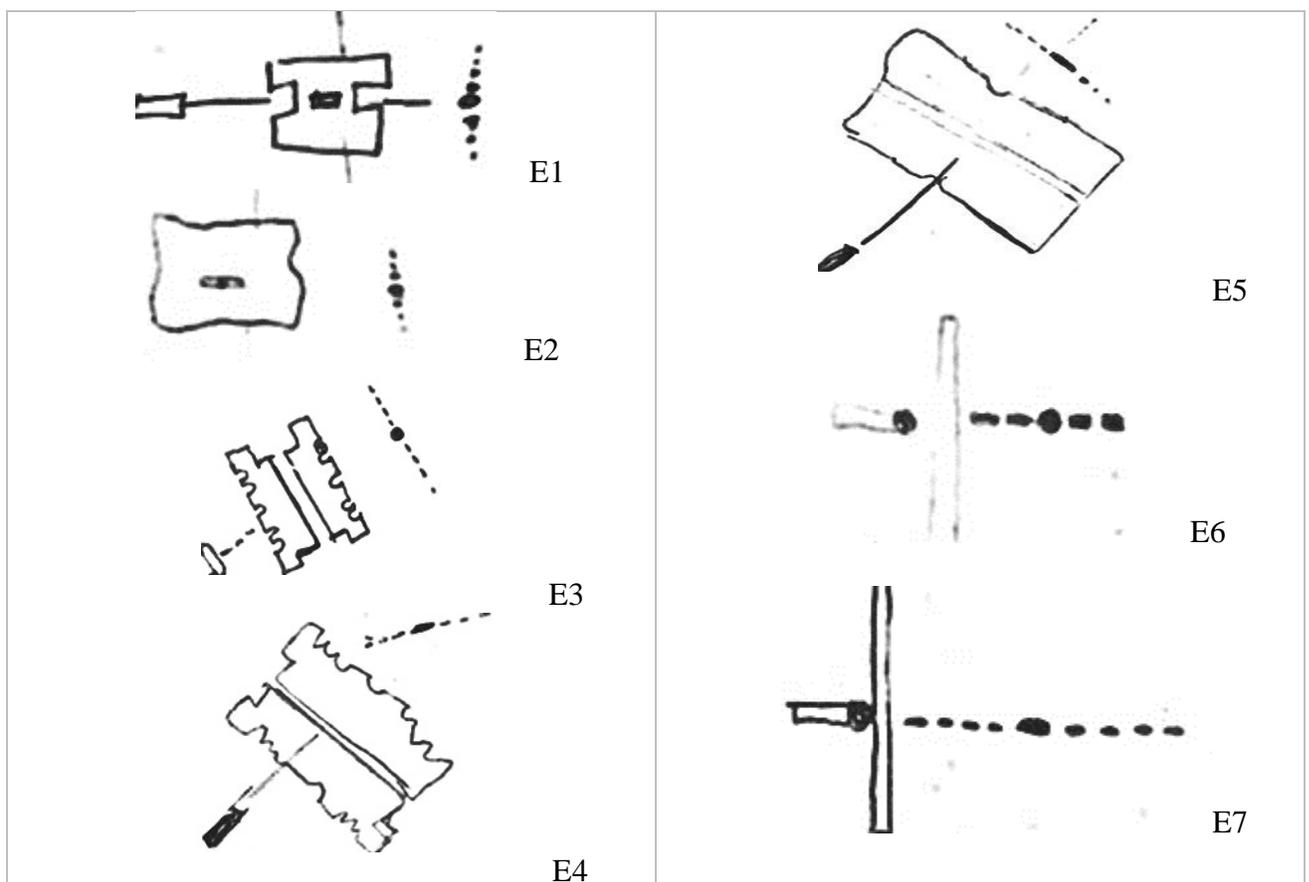
#### *Apropiación de conceptos y construcción de significados*

Para Moreira (2010) “la llave de la comprensión de un *conocimiento*, o de un *contenido* es conocer su lenguaje” (p. 12). En esta subcategoría se analizan las palabras y frases utilizadas por los estudiantes que evidencien la apropiación de los conceptos y relaciones propias del fenómeno de difracción desde las diferentes actividades y principalmente a

partir de la modelación computacional, partiendo desde las concepciones previas que ellos tenían sobre el fenómeno. La apropiación de conceptos se presenta durante el desarrollo de las actividades; y para valorar el mismo se tienen en cuenta los diferentes instrumentos de recolección de información.

En la primera actividad donde se obtienen indicios de una construcción de significados sobre el fenómeno de difracción es en la actividad experimental, en la cual se presentan algunos cambios en las representaciones del fenómeno.

Tabla 8. *Representaciones del fenómeno de difracción después de observarlo de forma experimental.*



Para todos los estudiantes en esta actividad y después de las observaciones, es clara la formación del patrón de difracción en la pared después que el rayo láser atravesara la

rendija de 0.5mm, puesto que en las representaciones se puede apreciar que la intensidad de las zonas de luz va disminuyendo a medida que se alejan del centro y se perciben también las franjas de luz y de oscuridad.

“Si la rendija es horizontal, pensamos que la difracción daba horizontal, pero al experimentar el resultado fue vertical” (E1, E2 Escrito)

“No sabíamos que la luz se curvaba” (E1, E2-Escrito)

El patrón de difracción observado en un plano con la rendija, se forma de manera perpendicular a esta, debido a que la luz se desvía hacia los bordes de las cuchillas como lo representaron los estudiantes E1, E2, E6, E7; mientras que los estudiantes E3, E4 y E5 aun presentaban confusión en la dirección en que se formaba el patrón respecto al de la rendija, representándolas ambas en un sentido similar, casi paralelos. Hasta este momento de la implementación de la propuesta no se había profundizado en el proceso de modelación computacional exploratoria, poniéndose de manifiesto que la actividad experimental por sí sola no fue suficiente para que algunos estudiantes cambiaran sus concepciones sobre difracción y estableciéndose la necesidad de recurrir a otras actividades para el análisis del fenómeno.

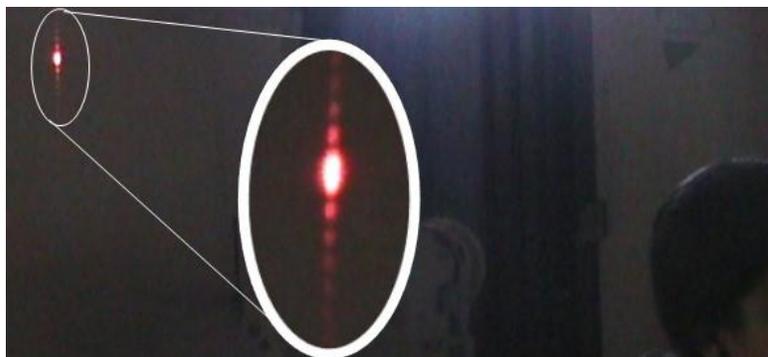
Algunas de las expresiones de los estudiantes frente a esta actividad experimental fueron:

“Entonces es un fenómeno que se comporta poco común” (E2- Audio)

“La difracción es un fenómeno de la luz poco común” (E1-Escrito)

Estas dos afirmaciones realizadas por los estudiantes E1 y E2 están en coherencia con uno de los hallazgos presentados en la revisión de literatura donde se evidenciaba que el fenómeno de difracción no se observaba fácilmente; y está de acuerdo a las concepciones previas expuestas en la subcategoría anterior donde ellos expresaban que no sabían sobre

este fenómeno o lo confundían con otros fenómenos ópticos como la reflexión o la refracción. Estas afirmaciones también corresponden con las notas tomadas por la investigadora donde se evidenciaba que al realizar la experiencia todos los estudiantes se sorprendieron al observar el patrón de difracción en la pared y todos expresaron que nunca lo habían visto antes.



*Figura 8: Patrón de difracción proyectado en la pared por E3.*

*“El tamaño de la rendija pensábamos que se notaría igual que no importaría su tamaño en nada” (E6, E7- Escrito)*

*“Que el rayo de luz cambiaba totalmente según el tamaño de la rendija, la realidad de la experiencia fue que el rayo de la luz se difractó” (E3, E4, E5- Escrito)*

*“La intensidad de la luz difractada variaba de acuerdo al ancho de la rendija.*

*Comprendimos la relación entre el ancho de la rendija y el fenómeno” (E1, E2-Escrito)*

Para Postman y Weingartner (1969) “el lenguaje está implicado en cualquier intento por percibir la realidad” (p. 99). Lo planteado por estos autores está en coherencia con la experiencia anterior, puesto que en el momento en que los estudiantes empiezan a observar el fenómeno y a interactuar con el láser y las rendijas, también comienza una apropiación del lenguaje al nombrar la variable como “el ancho de la rendija” y empezar a establecer una relación entre esta y la formación del patrón de difracción.

Posteriormente, en las actividades de modelación computacional exploratoria dirigida, los estudiantes continuaron en su proceso de apropiación del lenguaje, enriqueciendo su vocabulario con nuevas palabras y expresiones relacionadas con la difracción, como se muestra en las tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Fragmentos sobre apropiación de símbolos o variables relacionadas con el fenómeno de difracción.

<p>Símbolos (variables) comprendidas y abordadas en un lenguaje coherente</p>	<p>“Si se varía solo <u>la longitud de onda</u>, cambiará el color y <u>el patrón de difracción</u>: si se varía el <u>ancho de la rendija</u> cambia la <u>intensidad de color</u> del mismo patrón difracción” (E1-Escrito)</p> <p>“Si varió la <u>longitud o el ancho</u>, cambia el <u>color y la intensidad de la difracción</u>” (E2-Escrito)</p> <p>“Con la misma <u>rendija</u> y al aumentar la <u>longitud de la onda</u>, la gráfica cambia y aparecen más <u>franjas de luz</u>” (E4- Escrito)</p> <p>“El <u>patrón de difracción</u> aparece cuando se cambia la <u>longitud de onda</u>” (E3, E5-Escrito)</p> <p>“Cada que cambiamos su <u>longitud, su color y forma</u> van cambiando. Al poner <u>el ancho demasiado grande</u> se ve la luz, pero no el fenómeno. Cada que se le cambia <u>el ancho a la gráfica</u> sus picos también cambian” (E5-Escrito)</p> <p>“<u>Longitud de onda</u>: se expande su ancho y cambia su forma y color <u>Ancho de la rendija</u>: no se observa la <u>difracción de la luz</u> si su medida es muy pequeña” (E6, E7-Escrito)</p> <p>“Podíamos cambiar la <u>longitud de onda y el ancho de la rendija</u> y así notábamos un cambio en la <u>gráfica y el patrón de difracción</u>” (E6, E7- Escrito)</p>
---	---

En la tabla 9 se da cuenta de la manera en que los estudiantes reconocen los símbolos o variables involucradas en el fenómeno y el papel que estos juegan en la formación de la difracción.

De acuerdo con las características del lenguaje expuestas en la tabla 5 de la fundamentación metodológica se logró identificar que los estudiantes reconocen las

variables que hacen parte de la formación del patrón de difracción por una rendija: la longitud de onda ( $\lambda$ ) y el ancho de la rendija ( $a$ ), de modo que en sus explicaciones ellos se apropiaron de las dos variables por sus nombres de manera pertinente y describen los cambios que sufre el patrón de difracción y la gráfica cuando se realizan variaciones en ellas.

También aparecen palabras relacionadas con el fenómeno como: franjas de luz, patrón de difracción, color e intensidad de la luz dentro de un contexto adecuado para expresar los cambios que presenta el rayo al difractarse a través de la rendija.

En términos de Hodson (2014) un objetivo clave del aprendizaje en ciencias es que se lea y se escriba apropiadamente el lenguaje de la ciencia. En coherencia con lo expuesto anteriormente, cuando los estudiantes escriben apropiadamente haciendo uso del lenguaje que rodea el fenómeno de difracción, puede considerarse que se están apropiando de ese conocimiento.

Las relaciones entre las variables presentes en el modelo computacional del fenómeno de difracción, identificadas y descritas por los estudiantes se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. *Relaciones entre las variables del fenómeno de difracción identificadas y descritas por los estudiantes.*

<p>Relaciones entre variables (Modelo matemático, gráficas) establecidas y explicadas a través del lenguaje</p>	<p><u>“Si el ancho de la rendija es menor que la longitud de onda, las franjas del patrón de difracción son más difusas y la gráfica seno cardinal más amplia. Si los valores de la longitud de onda y el ancho de la rendija son iguales, o la longitud de onda es mayor que ancho de la rendija, no habrá difracción” (E1-Escrito)</u></p> <p><u>“Cuando la longitud de la onda (<math>\lambda</math>) y el ancho de la rendija (<math>a</math>) tienen igual valor o cuando el ancho es menor o muchísimo mayor que la longitud, no se podrá observar difracción. Sin embargo, el fenómeno será claro siempre y cuando el ancho sea un poco mayor que la longitud de la onda” (E2-Audio)</u></p>
	<p><u>“Cuando el tamaño de la rendija y la longitud de onda tienen valores iguales el patrón de difracción tiende a perderse, ya que se pierden las franjas. Cuando el tamaño de la rendija es mayor a la longitud de onda,</u></p>

---

*las franjas brillantes se ven con más claridad*  
*Cuando el tamaño de la rendija es mucho mayor que la longitud de onda, el rayo del láser pasaría derecho, pues no tiene quien lo difracte.*  
*Cuando el tamaño de la rendija es menor que la longitud de onda el patrón de difracción desaparece y se verá solo una franja brillante.”*  
*(E3, E4, E5- Escrito)*

*“Podíamos cambiar la longitud de onda y el ancho de la rendija y así notábamos un cambio en la gráfica y el patrón de difracción”* (E6, E7- Escrito)

---

En las expresiones anteriores los estudiantes E1, E2, E3, E4 y E5, que corresponden al 71 % del grupo logran identificar las relaciones entre el valor de la longitud de onda y la medida del ancho de la rendija. En todos los enunciados se establece que cuando el valor numérico de ambas variables es el mismo no se podrá observar el patrón de difracción en el modelo. E1, E3, E4 y E5 expresan que cuando el ancho de la rendija es menor que la longitud de onda sólo se percibe una franja brillante en medio de la pantalla, pero no se identifica el patrón de difracción, mientras que E2 afirma que no hay difracción, pero sin clarificar qué se observa en el modelo. E1 no aclara en qué momento de la relación entre las variables se da el fenómeno, sólo especifica cuando no se da. Contrario a E2, E3, E4 y E5, quienes expresan que para poder observarse el patrón de difracción en la pantalla es necesario que el ancho de la rendija sea ligeramente mayor que la longitud de onda, pero señalando que no puede ser demasiado mayor porque “*el rayo del láser pasaría derecho, pues no tiene quien lo difracte*” (E3, E4). El margen de diferencia entre las dos variables debe estar aproximadamente desde 5000nm a 20000nm.

Los estudiantes E6 y E7 correspondientes al 29% del grupo, no lograron establecer relaciones claras entre las variables para la formación de fenómeno de difracción, sus

expresiones fueron ambiguas limitándose a decir que el cambio en alguna de las variables modificaba la gráfica del seno cardinal o el patrón de difracción.

*El diagrama AVM: un heurístico que facilita la conceptualización*

El diagrama AVM es abordado y trabajado por López, Viet y Araujo (2014) “como estrategia heurística para organizar el conocimiento” (p. 60). Bajo esta perspectiva fue retomado en esta investigación para facilitarle a los estudiantes la conceptualización del fenómeno de difracción por una rendija.

Los estudiantes desarrollaron el diagrama AVM contextualizado para la secundaria y para el fenómeno de difracción, a partir de un debate grupal donde la docente les realizaba unas preguntas orientadoras para que ellos realizaran el análisis del modelo computacional y completaran todos los aspectos del dominio conceptual y metodológico del fenómeno.

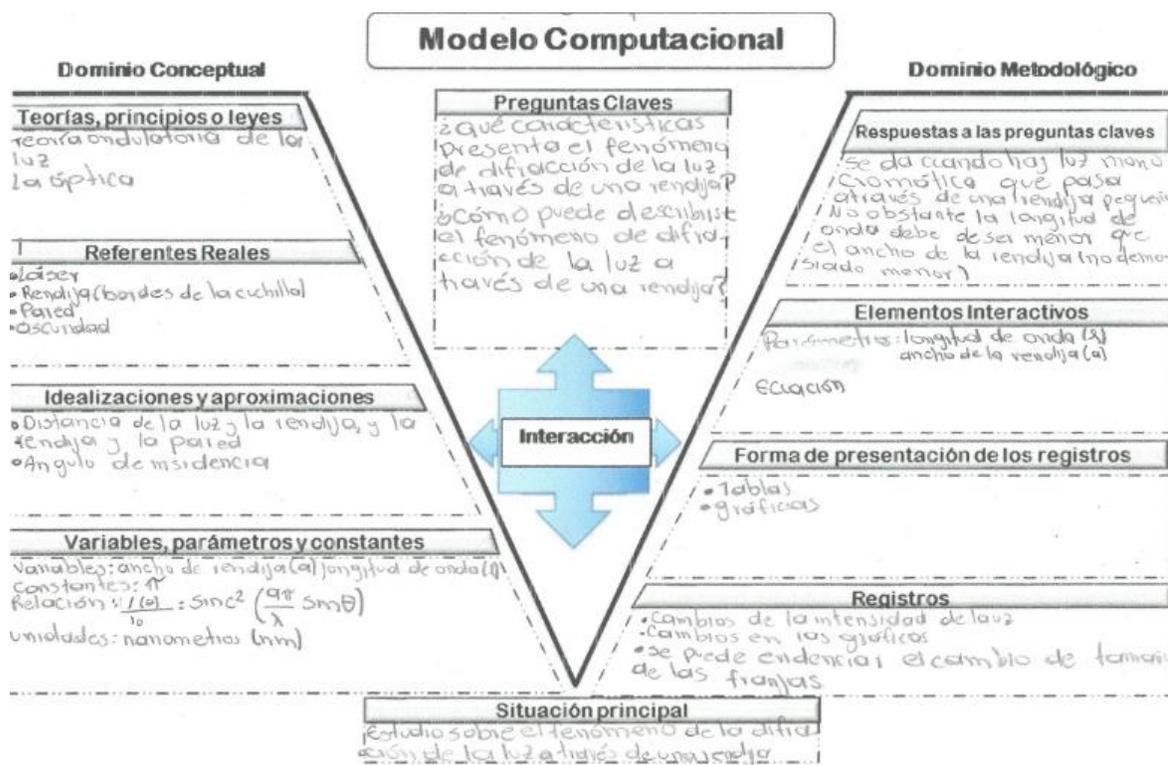


Figura 9: Diagrama AVM desarrollado por el estudiante E1.

En los diagramas desarrollados por los estudiantes, la situación principal correspondía con el estudio del fenómeno de difracción de la luz a través de una rendija. En el dominio conceptual se ubicó el fenómeno dentro de la teoría ondulatoria de la luz y la óptica; como referentes reales se tomaron los trabajados en la experiencia, como era el láser, del cual salía el rayo de luz, las rendijas formadas por las cuchillas y la pared como pantalla. Dentro de las idealizaciones se tuvieron en cuenta aspectos que no se contemplaban en el modelo computacional para la formación del fenómeno como la distancia de la rendija a la pared o el ángulo de incidencia de la luz, aspectos que en la experiencia debieron adecuarse para visualizar el fenómeno.

En relación con los parámetros, los estudiantes tenían ya claridad acerca de las variables a modificar dentro del fenómeno

*P: ¿Qué puedo variar en el modelo?*

*E3: el seno y el ángulo*

*E1: El ancho de la rendija*

*E2: El ancho, la longitud de onda*

*E3: el color*

*E1: la longitud de onda*

Las constantes a considerar eran el ángulo de incidencia del rayo y la intensidad inicial de la luz; y la relación establecida entre variables y constantes estaba dada por la función seno cardinal que aparecía en el modelo y la cual ya había sido abordada por los estudiantes.

En el dominio metodológico se ubicaron las formas en las cuales se podían registrar los cambios presentados en el fenómeno; de manera visual se evidenciaban a través del patrón de difracción y de la gráfica del seno cardinal, y los registros se podían presentar en la

gráfica de las intensidades de las franjas de luz o a través de una tabla donde se ubicaran los parámetros y las posibles intensidades. Los elementos interactivos en el modelo eran los dos parámetros que se podían variar y el modelo matemático que también podía modificarse. En este campo se terminaba definiendo las características que tenía el fenómeno de difracción de la luz y su descripción, las cuales se analizarán en la tabla 11.

Tabla 11. *Descripción del fenómeno de difracción en el diagrama AVM.*

Explicaciones del fenómeno de difracción	<u>“La difracción por una rendija se da cuando hay luz monocromática que pasa a través de una rendija pequeña, no obstante, la longitud de onda debe de ser menor que el ancho de la rendija (no demasiado menor)” E1, E2</u>
	<u>Un fenómeno de difracción se presenta cuando un rayo de luz pasa por una rendija mayor que la longitud de onda, pero no demasiado mayor E3</u>
	<u>El ancho de la rendija debe ser un poco más grande que el de la luz E4, E5</u>
	<u>El ancho de la rendija debe ser un poco más grande que la de la luz E6, E7</u>

En el momento de abordar el diagrama AVM todos los estudiantes estuvieron presentes; sin embargo, quienes más aportaron en el desarrollo del diagrama fueron E1, E2, E3, evidenciándose su interés y participación en la forma de describir el fenómeno de difracción y sus características. Si bien ninguno de los estudiantes en la descripción final del fenómeno mencionó que la luz se curvaba, E1, E2 y E3 sí se acercaron a los elementos y relaciones que deben estar presentes para que se dé la difracción por una rendija. E1 y E2 expresan que es necesaria una luz monocromática, mientras E3 habla de un rayo de luz y la rendija especificando el tamaño en relación con la longitud de onda. Tampoco toman en cuenta la pantalla o dónde se pueda ver el patrón de difracción, podría ser porque en el modelo es algo implícito.

Los estudiantes E4, E5, E6 y E7 se conforman con establecer la relación existente entre el ancho de la rendija y la longitud de onda, pero no trascienden a mencionar los elementos

necesarios para que se dé el fenómeno o especificar la desviación de la luz al pasar por la rendija.

Los estudiantes E6 y E7 mostraron apatía por el proceso de intervención desde el principio de la misma, aunque se intentó motivarlos durante el proceso con la actividad experimental donde podían ver el fenómeno de difracción, o con la modelación computacional que permanentemente les facilitó la interacción con el modelo. E7 tuvo dificultades de salud durante el proceso y E6 que era su compañero de trabajo no mostró mucha apertura para animarlo o ayudarlo; y ambos optaron por responder de manera simple, sin profundizar demasiado en los análisis, ni aportando significativamente en las discusiones. En todo momento cuando se les pedía brindar más explicaciones, usaban palabras como: “Para que más”, “así está bien”. Posiblemente esa actitud fue un impedimento para que logran acercarse crítica y significativamente al conocimiento del fenómeno.

Para concluir el análisis de esta categoría, se han identificado los siguientes aspectos relevantes del papel que juega la modelación computacional en la apropiación de los conceptos de difracción:

- Contribuye significativamente al reconocimiento de las variables que hacen parte de la formación del patrón de difracción por una rendija: la longitud de onda ( $\lambda$ ) y el ancho de la rendija ( $a$ ), apropiándose de las dos variables por sus nombres de manera pertinente y describiendo los cambios que sufre el patrón de difracción y la gráfica cuando se realizan variaciones en ellas.
- Facilita la adquisición de palabras relacionadas con el fenómeno de difracción como: franjas de luz, patrón de difracción, color e intensidad de la luz dentro de

un contexto adecuado para expresar los cambios que presenta el rayo al difractarse a través de la rendija.

- Permite identificar las relaciones entre las variables principales involucradas en el fenómeno de difracción, el valor de la longitud de onda y la medida del ancho de la rendija.
- Siempre y cuando los estudiantes se comprometan con el proceso de modelación computacional exploratoria, este les brinda los elementos suficientes para una conceptualización y explicación del fenómeno de difracción, estableciendo diferencias claras entre el fenómeno real y el modelo computacional.

## **6.2. Aprender sobre Ciencia**

“El significado está en las personas, no en las palabras. Sean cuales sean los significados que tengan las palabras, fueron atribuidas por personas” (Moreira, 2010, p.13).

Esta cita enmarca la importancia de la comprensión del principio de la conciencia semántica planteada el autor y en coherencia con el marco teórico de la presente investigación. La construcción del conocimiento se produce porque existen personas o grupos de personas que empiezan a nombrar, a enunciar y a explicar a través de lenguajes también contruidos, lo que sucede en el mundo natural; otorgándole significado a las palabras, los símbolos o las representaciones.

El aprender sobre ciencia puede contemplar muchos aspectos humanos de la construcción del conocimiento, pero el énfasis aquí se pone en la relación entre los modelos y la realidad. Los modelos creados por los científicos son formas de representar y explicar la realidad, pero no son la realidad en sí misma. En cualquier momento estos modelos pueden ser cuestionados o reemplazados por otros que aporten una explicación más pertinente.

Bunge (1972) desde su perspectiva de modelación científica armoniza con las posturas de los dos referentes teóricos en que se enmarca esta investigación, porque aporta una visión constructivista de la ciencia.

Toda idea relativa a objetos físicos de una clase, sea o no una idea adecuada, no es ni más ni menos que una idea. Es más, nunca una idea semejante es una descripción fotográfica de su referente propuesto sino una representación hipotética, incompleta y simbólica del mismo (Bunge, 1972, p. 187).

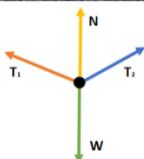
Desde la visión de Bunge (1972), los modelos son construidos como representaciones simplificadas e idealizadas con el propósito de apresar la realidad. A esta realidad le corresponden unos referentes (objetos, fenómenos, hechos) que permiten modelarla.

Para comprender las concepciones previas que los estudiantes tenían sobre los modelos y su relación con la realidad se realizó una entrevista inicial semiestructurada. Los aportes se encuentran en la tabla 12

Tabla 12. *Concepciones previas sobre modelos y sus relaciones con la realidad.*

<i>Preguntas</i>	<i>Respuestas</i>
<i>¿Qué es un modelo en ciencias?</i>	<p><u><b>E1:</b> <i>pues sería como cuando se va a llevar una investigación, si hay que llevar diversas normas, diversas reglas o en otro caso cuando se crea algo se le da como un nombre según su modelo y todo lo que se ha basado en el</i></u></p> <p><u><b>E2:</b> <i>Una representación.</i></u></p> <p><u><b>E3:</b> <i>No sé</i></u></p> <p><u><b>E4:</b> <i>No sé</i></u></p> <p><u><b>E5:</b> <i>En ciencias un modelo es... crear algo semejante a... pues a... a una máquina o... o no sé, un modelo en ciencias sería cómo los experimentos ya.</i></u></p> <p><u><b>E6:</b> <i>No sé</i></u></p> <p><u><b>E7:</b> <i>pues ejercicios o algo así</i></u></p>
<i>Observa estas dos imágenes. Dime, ¿qué relación hay para ti entre esas</i>	<p><u><b>E1:</b> <i>Si, la relación es que son exactamente...esta gráfica (Mostrando la de abajo) representa lo que hay acá (mostrando la de arriba), las dos tensiones que sostienen la hamaca, el peso de la mujer y la fuerza normal, aunque...la normal...silencio...</i></u></p>

dos imágenes?,  
¿qué similitudes o  
diferencias?



**E2:** mmm... pues la relación que yo veo es como la ubicación como tal de la persona, pues no sé, yo veo esto como si fuera norte, sur, occidente, oriente, no sé. Pero otra, los colores, verde, azul, amarillo, no, pero otra... No pues, iguales no son, de que tengan que ver en algo, sí, tal vez en varias cosas, como las que mencioné.

**E3:** “es lo mismo, porque vea acá en la primera imagen, muestra las tensiones que tienen las cuerdas sobre los árboles para tener la hamaca. También que hay un peso, ¿la “N” ¿es un qué?”

**E4:** Que de acá se sacan todos estos... ¿cómo se dice? pues los... como los puntos de...pues acá esta como... pues el dibujo, pues ahí, donde muestran todo (fotografía arriba), pero acá es como para explicar (fotografía abajo) ... pues todo, el peso... y sí...

**E5:** Entre las dos imágenes... que..., en este caso, este sería el peso, ¿no?, este sería el peso, haber...bueno relaciones acá, es que acá indican como las posiciones o las fuerzas que ejerce acá el muñeco en la hamaca, y ya.

**E6:** Pues en esta gráfica nos muestra como está, pues como está esa persona acostada, el punto sería esa persona, las “T” serían las dos cuerditas.

**E7:** Pues...mmm... ahí como se ven las dos imágenes pues no es lo mismo, pues porque, acá esta es... como una persona que está como descansando, eh... disfrutando de la naturaleza, y esto pues es, no sé, como una gráfica o algo así ... el tiempo, pues como tiempo, ¿no? Tensión, tensión, normal, peso.

En las concepciones previas sobre lo que es un modelo en ciencias, solamente E2 se acercó a una definición apropiada de la palabra, expresando que era una representación, sin ser más específico. Los demás estudiantes mostraron bastantes ambigüedades y desconocimiento en cuanto al uso de la palabra modelo en ciencias y su significado.

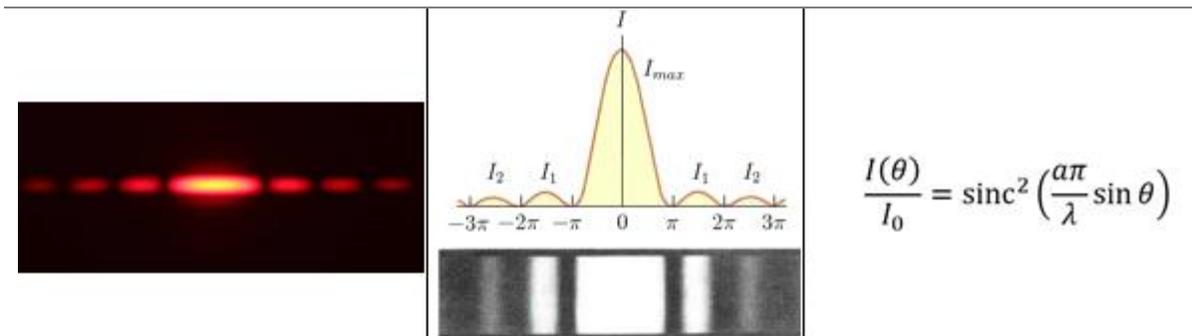
Para indagar cómo percibían ellos la relación de un modelo con la realidad, se les presentó dos imágenes. En la primera estaba un dibujo de un hombre en una hamaca que cuelga de dos árboles suspendida por dos cuerdas, y en la segunda aparecía un diagrama de cuerpo libre donde aparecen representadas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, basada en la teoría de dinámica de Newton. Se les preguntó acerca de la relación que ellos consideraban que guardaban las dos imágenes.

En la explicación sobre las dos imágenes solamente E1 expresó que el diagrama de cuerpo libre representaba lo que había en la imagen de la hamaca. E2 dio una explicación muy ambigua de lo que significaban las imágenes, muy contrario a la respuesta de la pregunta anterior donde se acercó a la definición de un modelo como una representación; posiblemente esta diferencia se debió a que no identificó el diagrama de cuerpo libre como una representación de las fuerzas presentes en la imagen de la hamaca, lo cual muestra que aún le falta claridad en reconocer los modelos como representaciones.

E3, E4, E5, E6 y E7 tenían alguna idea de que en la imagen del diagrama de cuerpo libre las flechas indicaban unas fuerzas, pero sin tener mucha claridad sobre estas representaciones o sobre la teoría que sustentaba la existencia de fuerzas; tampoco profundizaron en esa relación modelo- realidad, sólo algunos se limitaron a decir que ambas imágenes significaban lo mismo.

Para valorar la comprensión de la relación entre los modelos y la realidad, la propuesta de enseñanza a través de la modelación computacional exploratoria dirigida propició la interacción con el modelo matemático en relación con el modelo computacional; para que los estudiantes analizaran la dependencia del segundo en relación con el primero. También evidenciaron los cambios que sufrían el patrón de difracción y la gráfica cuando se alteraba el modelo matemático. Posteriormente, en la fase de explicaciones, los estudiantes tuvieron la oportunidad de volver a comparar tres imágenes relacionadas con la difracción para identificar si la modelación computacional contribuyó a la comprensión de esas diferencias entre modelo y realidad. Las relaciones establecidas se presentan en la tabla 13.

Tabla 13. Evolución de la concepción de modelo y su relación con la realidad.



“Los últimos son un modelo representativo de la difracción real, la primera imagen, es una fotografía del fenómeno real, la segunda es un modelo gráfico, y la tercera un modelo matemático. Las tres imágenes tienen relación, dan a conocer un mismo fenómeno, la difracción de la luz, sin embargo, las dos últimas representan de una forma diferente la fotografía” (E1- Escrito)

“Las últimas dos son un modelo representativo de la difracción y la primer es una fotografía del fenómeno real, la segunda es un modelo gráfico, mientras que la tercera es un modelo matemático, aunque ambas se refieren a lo mismo. Las tres imágenes tienen que ver con, la difracción de la luz sin embargo lo representan de diferente forma” (E2- Escrito)

“1. Fotografía del fenómeno de difracción en la realidad

2. Modelo de gráfica de la difracción

3. Modelo matemático de la difracción

similitudes: todas las tres son una representación del fenómeno de difracción” (E3 – Escrito)

“No significan lo mismo, pues la primera es en base de la realidad, la segunda es gráfica que representa la imagen de la difracción y la última es la ecuación, por tal razón no significan lo mismo. La relación es que las tres imágenes tienen que ver con modelo de difracción” (E4- Escrito)

“Que representa el mismo fenómeno. No significa lo mismo pues solo se podría observar al fenómeno de difracción en imágenes mientras que la gráfica y la ecuación solo se hizo para explicar el fenómeno” (E5-Escrito)

“Las 3 imágenes representan al fenómeno de difracción (similitud)

- La primera es una fotografía
- La segunda es un modelo
- La tercera es un modelo matemático

Que representa al mismo fenómeno. No significa lo mismo pues solo se podría observar al fenómeno de difracción en imágenes mientras que la gráfica y la ecuación solo se hizo para explicar el fenómeno” (E6, E7-Escrito)

Las imágenes presentadas eran cercanas a los estudiantes, la primera era el fenómeno como se observa en la realidad, y ellos ya habían tenido la oportunidad de ver el patrón de difracción en la experiencia y a través de la fotografía del trabajo diagnóstico; la segunda que corresponde a la gráfica del patrón se encontraba en el modelo computacional y continuamente ellos observaban los cambios que esta presentaba; y la tercera que es el modelo matemático, también se encuentra en el modelo computacional y ellos realizaron algunas variaciones de la misma para indagar por los cambios en el patrón de difracción.

En las relaciones establecidas por los estudiantes para las tres imágenes concernientes al fenómeno de difracción, se observó una evolución en la apropiación de esas diferencias entre modelo y la realidad, así como la apropiación de la palabra modelo y del lenguaje asociado a esta. Ellos expresaron que la segunda (gráfica) y la tercera (ecuación) son representaciones del modelo de difracción, llamándolos modelo gráfico y modelo matemático respectivamente, mientras que identificaban la primera imagen como la realidad a través de una fotografía, identificando que, aunque las tres hacían referencia al fenómeno de difracción no eran iguales porque la primera se correspondía con la realidad, mientras las otras dos eran representaciones de la misma.

Se resalta la afirmación de E5 quien expresa *“que representa al mismo fenómeno. No significa lo mismo pues solo se podría observar al fenómeno de difracción en imágenes mientras que la gráfica y la ecuación solo se hizo para explicar el fenómeno”*. Llama la atención que especifique que el fenómeno de difracción no se podrá observar realmente en las imágenes dos y tres, porque al ser representaciones, su objetivo es brindar una forma de comprender el fenómeno; mientras que la primera al ser una fotografía, muestra directamente la difracción como se ve en la realidad.

En la modelación exploratoria todos los estudiantes tuvieron la oportunidad de modificar el modelo matemático y verificar que desaparecía el patrón de difracción, confirmando que ninguna otra ecuación cumplía con las condiciones para formar el modelo computacional del fenómeno. Solamente E1 y E2 lo expresaron por escrito en sus explicaciones como se enuncia a continuación:

“Si se cambia la ecuación no se obtendrá ninguna información, esto quiere decir que solo se puede utilizar la ecuación del seno cardinal (senc) para la difracción” (E1- Escrito)

“Si se cambia la ecuación no habría resultado alguno en la pantalla de observación ni en el patrón de difracción” (E2- Escrito)

E1 y E2 señalan que el fenómeno de difracción por una rendija en el modelo computacional sólo podrá observarse si el modelo matemático que lo sustenta es la función de seno cardinal presente allí, porque cuando ellos intentaron hacer las variaciones por otro tipo de ecuaciones, el patrón de difracción desaparecía permitiéndoles comprender la relación directa y dependiente que existe entre ambos modelos.

Como conclusión en el análisis de la categoría de aprender sobre ciencia, se describen las potencialidades que brinda la modelación computacional para la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia:

- Propicia una evolución en el reconocimiento de las diferencias entre un modelo y la realidad, así como la comprensión y el uso de la palabra modelo y su significado.
- Permite diferenciar entre un modelo gráfico, un modelo matemático y un modelo computacional.
- Facilita el reconocimiento del modelo matemático o teórico como base que sustenta el modelo computacional que para el fenómeno específico de difracción

es la función de seno cardinal, además de propiciar la reflexión sobre los modelos como construcciones realizadas por científicos

### **6.3. Aprender a hacer Ciencia**

El hacer ciencia implica procesos epistémicos propios de la construcción del conocimiento que se pueden recrear en aula a través de propuestas que faciliten la interacción social, el cuestionamiento y las reflexiones críticas frente al conocimiento. Para Moreira (2010), el cuestionamiento y la interacción social son indispensables en el proceso de enseñanza- aprendizaje y ocurre cuando los estudiantes intercambian significados entre ellos y/o con el profesor.

En primer lugar se consideraron las preguntas elaboradas espontáneamente por los estudiantes en relación con los conceptos del fenómeno de difracción y que se dieron en medio de la interacción y sin ninguna intencionalidad impuesta por la profesora para que lo hicieran.

#### Nivel Bajo

*E1: “¿si cambia la rendija aumenta la longitud de onda?”*

*E3: ¿Entonces el láser, el borde de las cuchillas y la pared serían los referentes reales?”*

*E3: Profe, ¿Cierto que se puede representar también en dibujos? No necesariamente con tablas y gráficas.*

*E3: Profe ¿cierto que la longitud de onda tiene que ser menor que el tamaño de la rendija para que se vea el fenómeno de difracción?”*

*E3: ¿Usted se había preguntado cómo pasaba la luz por una rendija?”*

*E5: ¿Rendijas y franjas es lo mismo?”*

*E6: ¿Cómo se dice su ancho o su largo?”*

#### Nivel Medio

*E2: profe, ¿cómo así que una función cardinal?*

*E6: ¿Cuál es la longitud de onda?*

### Nivel Alto

*E3: ¿pero cómo?, ¿En qué se basa uno para saber que (el ángulo de incidencia del láser) es de 90?*

En las preguntas elaboradas espontáneamente por los estudiantes durante el proceso de implementación de la propuesta, se visualiza que E4 y E7 no realizaron ninguna pregunta, asumiendo un rol pasivo en su proceso de aprendizaje, bien sea porque no se interesaron en el intercambio de significados o porque no profundizaron en el análisis del fenómeno y se limitaron a responder preguntas.

Las preguntas de un nivel bajo fueron elaboradas por E1, E3, E5 y E6. Estas son preguntas cerradas que buscan una respuesta del tipo sí o no y que no contribuyen mucho a la comprensión del fenómeno abordado. Se resalta en este nivel que el estudiante E3 realizara cuatro preguntas, destacando su interés por comprender y el papel activo en el aprendizaje que él asume.

En el nivel medio se encuentran dos preguntas elaboradas por E2 y E6 acerca de dos conceptos relacionados con la difracción, el seno cardinal y la longitud de onda. Aunque las respuestas podrían ser más amplias que las del nivel anterior, no implican que estos estudiantes comprendan la relación que estos dos conceptos tienen con el fenómeno.

En el nivel alto, sólo se encuentra una pregunta realizada por E3, la cual invita a una conceptualización acerca del ángulo de incidencia necesario para que se presente el fenómeno de difracción por una rendija. Si bien esta variable está implícita en el modelo computacional y no aparece como un parámetro con posibilidad de variación, en el análisis del diagrama AVM, al hablar de las idealizaciones en los modelos computacionales, al

estudiante le surgió este interrogante. En las preguntas del nivel bajo se había resaltado el papel activo que E3 había asumido en el aprendizaje del fenómeno y con base en las notas de campo también se confirma su interés por la comprensión de la difracción en toda la implementación de la propuesta.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta en el aprender a hacer ciencia es la interacción social estudiantes- estudiantes y/o estudiante- profesor en torno al conocimiento. Con la intencionalidad de propiciar un espacio que fortaleciera dichas interacciones, se organizó la propuesta en grupos de trabajo, donde hubo constante debate e interacción en el proceso de modelación computacional.

Algunos momentos de interacción que favorecieron la criticidad se registran en la tabla

14

Tabla 14 *Interacciones en diferentes momentos alrededor del conocimiento.*

Aportes Discusiones	<i>Momento 2. Actividad 10. Explicaciones sobre el modelo computacional</i>
	<i>E6: Podíamos cambiar la longitud y el ancho de la rendija y notábamos un cambio en la gráfica de la difracción</i>
	<i>E6: ¿De qué era la longitud?</i>
	<i>E4: De onda</i>
	<i>E3: Realmente sí hay un cambio del rayo de luz que entra, no es el mismo que sale</i>
	<i>E2: Al variar la longitud de onda se observaban unos resultados</i>
	<i>E1: Cambiaba el patrón de difracción</i>
	<i>E2: La gráfica</i>
	<hr/> <i>Momento 2. Actividad 10. Explicaciones sobre el modelo computacional</i>
	<i>E3: (Hablando con sus compañeras), al disminuir o aumentar el tamaño</i>
	<i>E3: Al aumentar el tamaño de la rendija,</i>
	<i>E4: respecto a la longitud de onda</i>
	<i>E4: Cuando el tamaño de la rendija y la longitud de onda tienen valores iguales el patrón de difracción se pierde</i>
	<i>P: ¿Por qué se pierde?</i>
	<i>E5: Porque no hay franjas</i>
	<i>E3, E4 y E5 terminan discutiendo sobre la relación entre tamaño de la rendija y longitud de onda.</i>

---

*Momento 3. Actividad 10. Explicaciones sobre el modelo computacional*

*E1: Mientras la longitud de onda se acerque al ancho de la rendija, las franjas se verán más difusas*

*E2 le explica a E1 la relación entre el ancho de la rendija y la longitud de onda: “Cuando el ancho de la rendija y la longitud de onda son de igual valor, cuando el ancho de la rendija es menor que la longitud de onda o cuando el ancho de la rendija es muchísimo mayor que la longitud de onda no se podrá observar el patrón de difracción.*

---

*Momento 4. Actividad 11- Taller final sobre diferencias modelo y realidad*

*E4: Una representación, un modelo*

*P: ¿Qué tipo de modelo es este? (tercera imagen)*

*E6: Es una ecuación, un modelo matemático*

*E3: Esto (tercera imagen) es un modelo matemático y esta (segunda imagen) es una representación*

*E6: Están representando lo mismo*

*E3: Todas tres (imágenes hablan sobre difracción)*

*E6: ¿Y las diferencias qué?*

*E3: Mostrando la tercera imagen, Esto es un modelo matemático y las otras no*

*E6: ¿Qué es esto? Mostrando las imágenes*

*E1: Es un modelo que representa la realidad*

*E6: ¿Cuáles serían las similitudes?*

*E1: Que representan un mismo fenómeno*

*E6: ¿Significan lo mismo?*

*E1: No, no significan lo mismo*

*E6: No significan lo mismo porque esto se puede observar en la realidad (fotografía), pero esto nunca (segunda y tercera imagen)*

---

*Momento 5. Actividad 11- Taller final sobre diferencias modelo y realidad*

*E2: Esta es la realidad, pero es una fotografía*

*E1: Entonces estos dos son modelos este no.*

*P: ¿Y qué tipo de modelos son?*

*E1: Son representaciones de este (señalando la fotografía)*

*P: ¿Qué tipo de modelo es este? - Tercera imagen*

*E1: Es un modelo matemático*

*E2: ¿Esa parte iría en las relaciones que tienen ambas imágenes?*

*E1: No, eso es una diferencia*

*E2: Entonces las tres imágenes guardan una relación a la difracción*

*E1: Entonces este (tercera imagen) es un modelo matemático y este (segunda imagen) Modelo de gráfica*

En las cinco conversaciones que se presentan en la tabla 14 se muestran interacciones que se dan entre los compañeros en función del conocimiento. Los momentos 1, 2 y 3 es una interacción en torno a la relación que guarda el ancho de la rendija y la longitud de onda tratando de comprender cuáles son las dinámicas que se presentan entre ellas y en los momentos 4 y 5 las discusiones se presentan en función de establecer las relaciones entre las tres imágenes asociadas al fenómeno de difracción. Estas interacciones aportan a esta categoría en cuanto se muestran unos intercambios de significados entre los estudiantes y en algunos momentos con la profesora, discutiendo entre ellos diferentes relaciones presentes en el modelo computacional y en relación con este.

Moreira parafrasea a Freire (2003) diciendo que “lo fundamental es que docente y estudiantes tengan una postura dialógica, abierta, curiosa, indagadora y no pasiva, mientras hablan u oyen” (p. 10). De acuerdo con la postura el autor, en la medida que se da ese diálogo se asumen posturas críticas y con significado que contribuyen a la apropiación del conocimiento del estudiante. Los estudiantes lograron establecer algunas interacciones en relación con el fenómeno de difracción, que les permitió apropiarse del conocimiento y de las ideas que discutían con base en el modelo computacional y en las relaciones que querían establecer.

Por último, la modelación computacional a través de la relación del modelo teórico - matemático como la base para la construcción del modelo computacional, brindó a los estudiantes la oportunidad de reflexionar sobre un asunto epistemológico de los modelos; partiendo de la comprensión sobre las variables, sus relaciones, el modelo matemático y la afectación al patrón de difracción formado si se altera alguno de sus componentes. A continuación se presentan algunos fragmentos donde los estudiantes están realizando el cambio en el modelo matemático y algunas apreciaciones de lo que sucedía.

*Fragmento 1. Actividad 7 de la fase de observaciones.*

*E1: A ver ponga ahí una bien fácil, velocidad es igual tiempo por altura*

*E3: SenX, 35 por cinco a la dos*

*E4: sen23x5*

*E2: Desaparece todo*

*E1: Ponga la ecuación del seno, cateto opuesto sobre hipotenusa*

*E1 En todos desaparece*

*Fragmento 2. Actividad 9. Diagrama AVM*

*E6: ¿y qué relación hay?*

*E2: una relación válida*

*E1: la del seno cardinal*

*E2: profe, y ¿por qué hay dos intensidades, pues esa de abajo?*

*P: la intensidad de del patrón de difracción respecto a la intensidad inicial del láser.*

*“Si se cambia la ecuación no se obtendrá ninguna información esto quiere decir que sólo se puede utilizar la ecuación del seno cardinal (senc)” (E1-Escrito)*

*“El modelo computacional me ayudó a comprender el fenómeno estudiado observando los diferentes comportamientos del patrón de difracción y la forma de la gráfica del seno cardinal al cambiar los valores de los parámetros (l –a)” (E1-Escrito)*

*“Si se cambia la ecuación no habría resultado alguno en la pantalla de observación ni en el patrón de difracción” (E2- Escrito)*

*“Si se pone SEN=X el patrón desaparece” (E3- E4, E5-Escrito)*

*“Si yo cambio la ecuación desaparece por completo la visibilidad de la luz” (E6, E7-Escrito)*

En los fragmentos presentados y en los escritos, los estudiantes buscan comprender el modelo matemático y su relación con el modelo computacional. E1 y E2 fueron los estudiantes que usaron expresiones más coherentes en torno a esta relación, teniendo claridad en que sólo con la función de seno cardinal presentada para el fenómeno de difracción se podría observar el patrón y la gráfica. Los estudiantes E3, E4, E5, E6 y E7 realizaron la actividad, percibieron que desaparecía el patrón de difracción, pero no mostraron evidencias sobre la comprensión de la relación entre ambos modelos. Esta situación puede deberse a que los estudiantes tienen algunas deficiencias para la comprensión de la función de seno cardinal; y aunque se les hizo una introducción previa a la implementación de la propuesta, ellos aún presentaban algunas confusiones.

Para finalizar esta categoría se presentan las contribuciones de la propuesta de enseñanza al desarrollo de procesos epistémicos que facilitan un aprendizaje reflexivo y crítico:

- Facilita el cuestionamiento frente al conocimiento y la interacción entre estudiantes, con posturas reflexivas y críticas sobre el fenómeno que se analiza.
- Brinda elementos para analizar los fundamentos del fenómeno de difracción desde el modelo teórico y/o matemático y su relación con el modelo computacional.

## **7. CONSIDERACIONES FINALES**

Se presentan aquí las principales conclusiones de la investigación, así como las recomendaciones y perspectivas futuras de investigación.

### **7.1. Conclusiones**

Las principales conclusiones de este proceso investigativo hacen énfasis en la pregunta de investigación que se pretendía responder, así como en los objetivos propuestos, dirigidos a analizar los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción por una rendija.

En primer lugar, en cuanto al aprender ciencia, entendido como el proceso de apropiación del lenguaje como la llave para la comprensión de un conocimiento; la modelación computacional aportó considerablemente al facilitar el reconocimiento de las variables presentes en el fenómeno de difracción por una rendija, las relaciones entre ellas para favorecer la formación del patrón de difracción y la apropiación de las palabras relacionadas con el fenómeno que les permitían brindar explicaciones acerca del mismo. El proceso de apropiación del lenguaje se presentó con un crecimiento paulatino a medida que se desarrollaba la propuesta de intervención, partiendo de las concepciones previas acerca del fenómeno que no se relacionaban en nada con la difracción, y más bien apuntaban a otros fenómenos ópticos; hasta lograr usar un lenguaje coherente y articulado para brindar explicaciones sobre los aspectos que son importantes en el fenómeno abordado y en el modelo computacional del mismo.

Cabe resaltar que los recursos metodológicos utilizados para acompañar la implementación de la modelación computacional, jugaron un papel fundamental al permitir identificar las actividades cognitivas de los estudiantes al enfrentarse a esta actividad. En este sentido, se encontró que el método POE, favoreció en gran medida el diálogo entre las

predicciones y observaciones de los estudiantes para posteriormente brindar explicaciones sobre los hallazgos.

Sobre el diagrama AVM, puede decirse que favoreció la apropiación no solamente del lenguaje en el desarrollo del dominio conceptual y metodológico, sino que facilitó la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia como la conciencia semántica de los modelos como construcciones humanas diferentes de la realidad, además de favorecer procesos epistémicos en los estudiantes.

En lo que se refiere a aprender sobre ciencia, relacionado con la conciencia semántica; la modelación computacional presentó dos aportes importantes: el primero está relacionado con el modelo matemático presente en el modelo computacional, sobre el cual se realizaron variaciones con las cuales los estudiantes identificaron que el patrón de difracción por una rendija que aparecía en el modelo computacional, sólo se podría visualizar si la relación matemática era el seno cardinal que allí estaba, favoreciendo la comprensión de los modelos como representaciones de la realidad, creados por científicos y diferentes a la realidad misma y además facilitando la identificación de la relación de dependencia entre el modelo matemático y el modelo computacional.

Un aspecto que facilitó la comprensión de esta última relación fue la posibilidad de contrastar el modelo computacional con la experiencia, esto les permitió a los estudiantes establecer diferencias claras entre los modelos computacionales como construcciones humanas creadas de acuerdo a las necesidades y que contienen idealizaciones y la realidad misma, donde no pueden variar parámetros o condiciones, sino que están limitados por lo real. Las diferencias entre modelo y realidad no estaban en sus concepciones previas; dichas diferencias surgen a través de la implementación de la propuesta de enseñanza.

Por último, se encuentran las contribuciones de la modelación computacional al aprender a hacer ciencia, como el acercamiento a los procesos epistémicos propios de la construcción del conocimiento científico. En este aspecto la modelación computacional contribuyó a la elaboración de preguntas pertinentes por parte de un estudiante, quien asumió un papel activo en el intercambio de significados con el profesor, como lo señala Moreira (2005,2010), cuestionando aquellos asuntos que no percibía y apropiándose de los conceptos necesarios para comprender el fenómeno de difracción por una rendija. Para los demás estudiantes, aunque realizaron preguntas de nivel bajo y medio (exceptuando E4 y E7), el papel que asumieron en el cuestionamiento fue más pasivo, sin profundizar en el nivel de comprensión que ellos mismos tenían del fenómeno.

Otro aspecto en el cual aportó la modelación computacional, fue en la interacción social de los estudiantes, puesto que el trabajo en grupos favoreció notablemente las discusiones alrededor del modelo de la difracción. Se presentaron constantes interacciones entre los estudiantes y de ellos con el profesor, tratando de comprender las relaciones presentes entre las variables del fenómeno, reflexionando sobre la importancia del modelo matemático en el modelo computacional o estableciendo las diferencias entre modelos como representaciones y la realidad.

Por último, la modelación computacional aportó a la reflexión sobre el papel que juega el modelo matemático en el modelo computacional, un asunto epistemológico que favorece en los estudiantes la comprensión de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia y que son importantes en la construcción del conocimiento; los modelos como construcciones humanas que tratan de explicar la realidad y a partir de los cuales se construyen los modelos computacionales que recrean los fenómenos.

Una consideración final para destacar, es la importancia de implementar la modelación computacional con fundamentos pedagógicos y/o didácticos que favorezcan aprendizajes significativos y que trasciendan el uso instrumental de las TIC.

## **7.2. Recomendaciones y perspectivas futuras de investigación**

A partir del desarrollo de la investigación y de los resultados obtenidos, se exponen algunas recomendaciones en pro del mejoramiento de esta propuesta pedagógico-didáctica, pensando en futuras implementaciones de la misma. Se recomienda el acceso a computadores con buena capacidad para instalar el *software* necesario de manera que se pueda aprovechar el tiempo en el desarrollo de las actividades.

Se recomienda tener el tiempo suficiente para contextualizar a los estudiantes con modelos computacionales, puesto que, si ellos nunca han trabajado con modelación computacional o mínimo con simulaciones, podría ser un obstáculo para el desarrollo del cronograma. Así mismo propiciar el espacio previo a la implementación para abordar conceptos básicos necesarios con el fin de favorecer un análisis más profundo del fenómeno. Estas dos recomendaciones responden a dos dificultades presentadas en el proceso de intervención. Primero, los estudiantes nunca habían trabajado en actividades de modelación computacional y tampoco con simulaciones; lo que retrasaba el proceso de implementación de la propuesta, explicando aspectos básicos de los elementos interactivos. Segundo, tenían dificultades con conceptos básicos de óptica, como el reconocimiento de la luz como una longitud de onda y su relación con los colores, los fenómenos ópticos más comunes y la identificación de los nanómetros como unidad de medida.

Algunos interrogantes quedan abiertos para ser abordados en futuras investigaciones, tales como: ¿Qué aportes brindaría la modelación computacional con un contraste de modelos de un mismo fenómeno al aprendizaje significativo crítico y a la concepción que

los estudiantes tengan de estos?, ¿Cómo contribuiría al aprendizaje significativo la fusión de la historia de la construcción de un modelo, la actividad experimental y la modelación computacional exploratoria del mismo?

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akpınar, E. (2013). The Use of Interactive Computer Animations Based on POE as a Presentation Tool in Primary Science Teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 527-537. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9482-4>
- Albuquerque, K. B., Santos, P. J. S. dos, & Ferreira, G. K. (2015). Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(2), 461-482.
- Anderson, J. L., & Barnett, M. (2013). Learning Physics with Digital Game Simulations in Middle School Science. *Journal of Science Education and Technology*, 22(6), 914-926. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9438-8>
- Andrade, M. A., & Costa, da C. S. S. (2006). O uso de simulações computacionais para o ensino de óptica no ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 1(2), 18-29.
- Araujo, I. S., Veit, E. A., & Moreira, M. A. (2008). Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. *Computers & Education*, 50(4), 1128-1140. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.004>
- Araujo, I. S., Veit, E. A., & Moreira, M. A. (2012). Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de física: um referencial de trabalho. *Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre. Vol. 17, n. 1 (mar. 2012), p. 341-366*. Recuperado a partir de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142349>
- Arias Gil, V. (2016). Las TIC en la educación en ciencias en Colombia: una mirada a la investigación en la línea en términos de su contribución a los propósitos actuales de la educación científica. (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia
- Arribas, E., Beléndez, A., Nájera, A., Márquez, A., Villalba, J. M., Gallego, S., ... others. (2012). Some activities on educational technology innovation in Physics, optics and telecommuni-cations. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, 6*, 296.
- Ashmann, S., Anderson, C. W., & Boeckman, H. (2016). Helping secondary school students develop a conceptual understanding of refraction. *Physics Education*, 51(4), 45009. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/4/045009>
- Avalos, S. H. (2008). Experiencias para observar el fenómeno de fluorescencia con luz ultravioleta. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3), 377-381.

- Avalos, S. H. (2009). Como construir un espectroscopio casero con un CD. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación*, 6(3), 491.
- Ávila, M., Saracho, M. A., & Nieva, M. V. (2015). El uso de simulaciones en Física I y la triangulación de datos como recurso de investigación. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 107-115.
- Baird, W. H. (2014). Helping the Moon take a selfie. *Physics Education*, 49(5), 486.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/5/486>
- Barrio, J. (2011). La complejidad de las mezclas sustractivas y su predicción a partir del análisis espectral. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(0).  
 Recuperado a partir de <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/260>
- Bautista, C. (2011). *Proceso de la investigación cualitativa: Epistemología, metodología y aplicaciones*. Bogotá: Manual Moderno.
- Bernardes, T. O., Barbosa, R. R., Iachel, G., Batagin Neto, A., Pinheiro, M. A. L., & Scalvi, R. M. F. (2006). Optics teaching through telescope construction. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(3), 391-396. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000300016>
- Borkulo, S. P. van, Joolingen, W. R. van, Savelsbergh, E. R., & Jong, T. de. (2011). What Can Be Learned from Computer Modeling? Comparing Expository and Modeling Approaches to Teaching Dynamic Systems Behavior. *Journal of Science Education and Technology*, 21(2), 267-275. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9314-3>
- Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2008). A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. *Física na escola. São Paulo. Vol. 9, n. 1 (maio 2008), p. 10-14*.  
 Recuperado a partir de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/116439>
- Bravo, B. M., Pesa, M. A., & Pozo, J. I. (2009). The learning of sciences: a gradual change in the way of learning. The case of vision. *Investigações em Ensino de Ciências*. Recuperado a partir de <https://repositorio.uam.es/handle/10486/666210>
- Bravo, B. M., Pesa, M. A., & Rocha, A. L. (2011). Implicancias de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. El aprendizaje de fenómenos ópticos. Primera parte. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(3), 489–507.
- Bravo, B. M., Pesa, M., & Pozo, J. I. (2012). La enseñanza y el aprendizaje de la ciencias. un estudio sobre «qué, cuándo y cuánto» aprenden los alumnos acerca de la visión. *Enseñanza*

*de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 30(3), 109-132.

<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n3.424>

- Bravo, B., Pesa, M. A., & Pozo, J. I. (2011). Aprendiendo a explicar el fenómeno de la visión: efectos de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(2), 38.
- Bravo, B., Pesa, M., & Pozo, J. I. (2011). Cuando el aprendizaje de las ciencias implica un cambio de modo de conocer. El caso del color. *Revista de Enseñanza de la Física*, 21(1), 11-27.
- Bryan, J. A., & Slough, S. W. (2009). Converging lens simulation design and image predictions. *Physics Education*, 44(3), 264.
- Buffler, A., Pillay, S., Lubben, F., & Fearick, R. (2008). A model-based view of physics for computational activities in the introductory physics course. *American Journal of Physics*, 76(4), 431-437. <https://doi.org/10.1119/1.2835045>
- Bülbül, M. Ş., & Wee, L. K. (2016). Using the knowledge of penumbra with a trick simulation. *arXiv:1604.00508 [physics]*. Recuperado a partir de <http://arxiv.org/abs/1604.00508>
- Bunge, M. (1974). Metaphysics and science. *General Systems*, 19, 15-18.
- Buty, C., & Mortimer, E. F. (2008). Dialogic/Authoritative Discourse and Modelling in a High School Teaching Sequence on Optics. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1635-1660. <https://doi.org/10.1080/09500690701466280>
- Capuano, V. (2011). El uso de las TIC en la enseñanza de las ciencias naturales. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 2(2), 79-88.
- Cardoso, S. O. de O., & Dickman, A. G. (2012). Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(0), 891-934.
- Cavalcante, M. de A., & Rodrigues, E. da S. (2012). Use of the «Lloyd Mirror» as a technique to teach optics at the high-school level. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 1-4. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000400010>
- Chang, K.-E., Chen, Y.-L., Lin, H.-Y., & Sung, Y.-T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, 51(4), 1486-1498. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.01.007>

- Christian, W., & Esquembre, F. (2007). Modeling Physics with Easy Java Simulations. *The Physics Teacher*, 45(8), 475-480. <https://doi.org/10.1119/1.2798358>
- Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en la investigación cualitativa. *Revista Theoria* 14 (1), 61 – 71.
- Criado, A. M., Del Cid, R., & García-Carmona, A. (2007). La cámara oscura en la clase de ciencias: fundamento y utilidades didácticas. Recuperado a partir de <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/16130>
- Cyrulies, E., & Schamne, M. (2014). Construcción de un microscopio simple con la lente de un teléfono celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(2), 263-268.
- da Silva, M. D., de Freitas, M. S. T., & Miquelin, A. F. (2015). ALGUMAS POSSIBILIDADES DE INTERAÇÃO ENTRE ARTE URBANA, JOSEPH WRIGHT E O ENSINO DE ÓPTICA. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 8. Recuperado a partir de <http://sinect.com.br/anais2014/anais2014/artigos/ciencia-arte-e-tekne-uma-abordagem-interdisciplinar/01409255187.pdf>
- de Nazaré, T. S., & de Souza, A. (2012). A utilização de um programa de computador para simulações de experimentos de óptica como forma de promover o aprendizado das ciências exatas. *A Física na Escola*, 13(1). Recuperado a partir de [http://www2.unifap.br/rsmatos/files/2013/10/programa\\_ensi\\_f%C3%ADsicas.pdf](http://www2.unifap.br/rsmatos/files/2013/10/programa_ensi_f%C3%ADsicas.pdf)
- del Mazo, A. V. (2011). Microondas por chispa. Experimentos ópticos con microondas producidas con un equipo casero. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(0). Recuperado a partir de <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/254>
- Dorneles, P. F. T., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2006). Computational modelling and simulation activities to help the meaningful learning of electricity basic concepts: part I - simple electric circuits. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(4), 487-496. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000400011>
- Dorneles, P. F. T., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2008). Computational modelling and simulation activities to help a meaningful learning of electricity basic concepts. Part II: RLC circuits. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(3), 3308.1-3308.16. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008005000008>

- dos Santos Lima, I., Dutra, G., & Souza, E. (2012). Material didático de baixo custo para laboratórios de ensino: construção de uma fonte para banco óptico. *A Física na Escola*, 13(1). Recuperado a partir de <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol13/Num1/a04.pdf>
- Etkina, E., Planinšič, G., & Vollmer, M. (2013). A simple optics experiment to engage students in scientific inquiry. *American Journal of Physics*, 81(11), 815-822. <https://doi.org/10.1119/1.4822176>
- Fadaei, A. S. (2010). Using computer software to teach optics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(3), 10.
- Fang, N., & Guo, Y. (2016). Interactive computer simulation and animation for improving student learning of particle kinetics: Interactive CSA for students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(5), 443-455. <https://doi.org/10.1111/jcal.12145>
- Farías, L. y Montero, M. (2005). De la transcripción y otros aspectos artesanales de la investigación cualitativa. *International Journal of Qualitative Methods*, 4(1), 53-68.
- Fernandes, M. R., & Ferracioli, L. (2006). Estudo do fenômeno de colisões através da modelagem computacional quantitativa. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(1), 99-130.
- Fernández, P., & Jardón, A. (2012). Simulaciones en la enseñanza de la física. La ilusión de la interactividad y las rutinas del profesor. *Revista de Enseñanza de la Física*, 24(2), 27-48.
- Ferracioli, L., Gomes, T. da S., Silva, R. M. A. da, Mulinari, M. H., Oliveira, R. R. de, Camilleti, G. G., ... Verbeno, C. H. (2012). Ambientes de modelagem computacional no aprendizado exploratório de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(0), 679-707.
- Figueira, J. S. (2005). Easy Java simulations: computer modelling for Physics teaching. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(4), 613-618. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000400017>
- Filho, J. A. C., & Pacca, J. L. A. (2011). Relatos de aulas de ótica no Ensino Médio: o quê eles nos revelam sobre a atuação do professor? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(2), 297-324.
- Flynt, H., & Ruiz, M. J. (2015). Making a room-sized camera obscura. *Physics Education*, 50(1), 19. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/1/19>

- Gagliardi, M., Giordano, E., & Recchi, M. (2006). Un sitio web para la aproximación fenomenológica de la enseñanza de la luz y la visión. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 139-146.
- Galindo, A. M., Murcia, D. P., & Morales, J. K. (2008). MÉTODO DEDUCTIVO PARA EL INICIO DE LA TEMÁTICA: FENÓMENOS Y NATURALEZA DE LA LUZ A PARTIR DEL FENÓMENO DE DIFRACCIÓN. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias. (Bogotá, Colombia)*, 3(1), 114-121.
- García, J. A., Huertas, R., Gómez, L., Perales, F. J., & Romero, J. (2010). Lo que el ojo no ve: análisis de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3). Recuperado a partir de <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/72>
- García, L. O., Torregrosa, J. M., & Menargues, A. (2012). Evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 30(3). <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n3.515>
- García, S. G. M. (2010). La concepción en el estudiante de la luz como una onda electromagnética. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 14.
- Gargallo, A., Gómez-Varela, A. I., González-Nuñez, H., Delgado, T., Almaguer, C., Cambronero, F., ... Flores-Arias, M. T. (2015). Spreading Optics in the primary school. *Journal of Physics: Conference Series*, 605, 12040. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/605/1/012040>
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos en investigación cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata.
- Gomes, T., & Ferracioli, L. (2006). Investigation of model building in the study of a physics issue using a qualitative computer model environment. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(4), 453-461. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442006000400008>
- Greaves, E. D., Rodríguez, A. M., & Ruiz-Camacho, J. (2009). A one-way speed of light experiment. *American Journal of Physics*, 77(10), 894-896. <https://doi.org/10.1119/1.3160665>
- Greca, I. M., & dos Santos, F. M. (2005). Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(1), 31-46.

- Heckler, V., Saraiva, M. de F. O., Filho, O., & Souza, K. de. (2007). Exploration of simulators, images and animations as auxiliary tool for teaching/learning of optics. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(2), 267-273. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442007000200011>
- Heckler, V., Saraiva, M. de F. O., Filho, O., & Souza, K. de. (2007). Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(2), 267-273. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442007000200011>
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2012). Ciclos de Modelagem: uma alternativa para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(0), 965-1007.
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670. <https://doi.org/10.1080/09500690305021>
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553.
- Hoeling, B. M. (2012). Interactive online optics modules for the college physics course. *American Journal of Physics*, 80(4), 334-338. <https://doi.org/10.1119/1.3677652>
- Hopper, C., & Sieradzan, A. (2008). Yellow He–Ne going red: A one-minute optics demonstration. *American Journal of Physics*, 76(6), 596-598. <https://doi.org/10.1119/1.2825397>
- Ivanov, D., & Nikolov, S. (2011). Demonstrations of wave optics (interference and diffraction of light) for large audiences using a laser and a multimedia projector. *Physics Education*, 46(6), 705. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/6/008>
- Izadi, D., & Hajiesmaeilbaigi, F. (2010). Quick and Easy Measurements of the Inherent Optical Property of Water by Laser. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 9.
- Jaakkola, T., & Veermans, K. (2015). Effects of abstract and concrete simulation elements on science learning: Abstract & concrete simulation elements. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(4), 300-313. <https://doi.org/10.1111/jcal.12089>
- Junior, R., A. L., Cunha, M. F., & Laranjeiras, C. C. (2012). Historical experiments simulations in physics education: a computational approach of the historical and empirical dimensions

- of science in classroom. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 1-10.  
<https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000400023>
- Kaewkhong, K., Mazzolini, A., Emarat, N., & Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface. *Physics Education*, 45(1), 97. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/1/012>
- Kamata, M., & Matsunaga, A. (2007). Optical experiments using mini-torches with red, green and blue light emitting diodes. *Physics Education*, 42(6), 572. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/42/6/002>
- Khan, S. (2010). New Pedagogies on Teaching Science with Computer Simulations. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 215-232. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9247-2>
- Krapas, S. (2011). Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 564-600.
- Lau, W. W. F., & Yuen, A. H. K. (2011). Modelling programming performance: Beyond the influence of learner characteristics. *Computers & Education*, 57(1), 1202-1213.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.01.002>
- Laurillard, D., Charlton, P., Craft, B., Dimakopoulos, D., Ljubojevic, D., Magoulas, G., ... Whittlestone, K. (2013). A constructionist learning environment for teachers to model learning designs: Modelling learning designs. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(1), 15-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00458.x>
- Li, S. C., Law, N., & Lui, K. F. A. (2006). Cognitive perturbation through dynamic modelling: a pedagogical approach to conceptual change in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(6), 405-422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00187.x>
- López Ríos, S. (2012). La modelación computacional con diagrama AVM y su contribución para el aprendizaje significativo de conceptos físicos y el desarrollo de una visión crítica sobre la ciencia y la modelación científica. (Tesis doctoral). Universidad de Burgos y Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Brasil.
- López, M. V., & Mariño, S. I. (2011). Propuesta de innovación a la hora de evaluar en la asignatura Modelos y Simulación. *TE & ET*, no. 6. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10915/14204>
- López, S. (2014). Aprendizaje significativo Crítico. *Cuadernos de pedagogía*, 448, 58-59

- López, S. Y., Veit, E. A., & Araujo, I. S. (2016). Una revisión de literatura sobre el uso de modelación y simulación computacional para la enseñanza de la física en la educación básica y media. Recuperado a partir de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/143805>
- López, S., Veit, E. A., & Araujo, I. S. (2014). La modelación computacional con diagrama AVM en la formación de profesores de física: un aporte al desarrollo de una visión crítica sobre la ciencia y la modelación científica. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 9(2). Recuperado a partir de <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/reiec/article/view/7496>
- López, S., Veit, E. A., & Araujo, I. S. (2016). Una revisión de literatura sobre el uso de modelación y simulación computacional para la enseñanza de la física en la educación básica y media. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(2). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0031>
- Lopez, V., & Hernandez, M. I. (2015). Scratch as a computational modelling tool for teaching physics. *Physics Education*, 50(3), 310.
- Lotero, L. A. A. (2014). Si Galileo Galilei hubiera tenido una cámara digital: enseñando ciencias a una generación digital. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(1), 243-261. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.998>
- Martins, R. de A., & Silva, A. P. B. da. (2013). Exceptions to optical geometrical principles: Heron and the reflection on mirrors. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(1), 1-9. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100028>
- Martins, R. de A., & Silva, C. C. (2015). Newton's researches on light: A historical overview. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 4202-1-4202-32. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731817>
- Maurines, L. (2010). Geometrical Reasoning in Wave Situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1895-1926. <https://doi.org/10.1080/09500690903271389>
- Meier, D. K., Reinhard, K. J., Carter, D. O., & Brooks, D. W. (2008). Simulations with Elaborated Worked Example Modeling: Beneficial Effects on Schema Acquisition. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3), 262-273. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9096-4>

- Melo, A. C. S. de, Peduzzi, L., & others. (2007). Contributions from bachelorian epistemology in the study of the history of Optics. *Ciência & Educação (Bauru)*, 13(1), 99–126.
- MEN (2004). Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales.
- Mendes, J. F., Costa, I. F., & Sousa, D. (2012). Integration between experiments and theory in topics of mechanics by modellus software. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(2), 1-9. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000200011>
- Mendoza, J. C. R., & Díaz, M. H. R. (2015). Vinculo de la teoría con la práctica para la comprensión de la Óptica Geométrica en el Nivel Superior en las escuelas de Ingeniería de la UANL a partir del Modelo por Competencias. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(2), 498-516.
- Millat, I., Martínez, F. J., Huertas, R., Meseguer, A., & Rodríguez, I. (2014). Modelling students' flow experiences in an online learning environment. *Computers & Education*, 71, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.012>
- Montealbán, J. T., & Chavarría, M. R. (2010). Multimedia para el estudio de la naturaleza dual de la luz en el bachillerato. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, 4*, 976.
- Moreira, A. F., & Borges, O. (2007). Ambiente de aprendizagem de Física mediado por animações. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 7(1). Recuperado a partir de [http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/rab/\\_ambienteaprendizagemde.artigoCompleto.pdf](http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/rab/_ambienteaprendizagemde.artigoCompleto.pdf)
- Moreira, M. A. (2005). Aprendizaje significativo crítico. *Indivisa: Boletín de estudios e investigación*, núm. 6, pp. 83-102.
- Moreira, M. A. (2014). Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática : aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. Recuperado a partir de <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/132559>
- Moura, B. A. (2014). Isaac Newton and the double refraction of light. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(4), 01-15. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400021>
- Mumba, F., Mbewe, S., & Chabalengula, V. M. (2015). Elementary School Teachers' Familiarity, Conceptual Knowledge, and Interest in Light. *International Journal of Science Education*, 37(2), 185-209. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.971906>

- Mzoughi, T., Herring, S. D., Foley, J. T., Morris, M. J., & Gilbert, P. J. (2007). WebTOP: A 3D interactive system for teaching and learning optics. *Computers & Education*, 49(1), 110-129. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.06.008>
- Nascimento, C. E., & Nascimento, F. (2010). Estereogramas e Op Art: ilusão de óptica em sala de aula. *A Física na Escola*, 11(1). Recuperado a partir de <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a04.pdf>
- Nieves, J. L., García, J. A., Hernández-Andrés, R., & Huertas, R. (2010). ¿Fotografiamos el color tal y como lo percibimos? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1). Recuperado a partir de <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/30>
- Ortega, G., Medellín, H. E., & Martínez, J. R. (2010). Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando simuladores de física. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, 4*, 953.
- Osuna, L. G., Martínez, J. T., Carrascosa, J. A., & Verdú, R. C. (2007). Planificando la enseñanza problematizada : el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 277-294.
- Parisoto, M. F., & Hilger, T. R. (2016). Investigaçãõ da aprendizagem de conceitos de óptica utilizando ilusões para turmas de pré-vestibular. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 9(1). Recuperado a partir de <https://200.134.17.36/rbect/article/view/2109>
- Pérez García, H., García Molina, R., & Abril, I. (2011). Difracción de luz a través de una pluma de ave. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1). Recuperado a partir de <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/226>
- Pérez Lozada, E., & Nelson, F. (2009). Diseño de prototipos experimentales orientados al aprendizaje de la óptica. Recuperado a partir de <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/9911>
- Pérez, J. C. N. (2008). LO QUE PODEMOS APRENDER DE LOS ESPEJOS. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias. (Bogotá, Colombia)*, 3(1), 109-113.
- Pinochet, J. (2014). La curvatura de los rayos de luz en las cercanías de cuerpos masivos: una exposición para alumnos de cursos introductorios de Física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(4), 25.
- Pinto, A. F. P., & da Cruz, B. (2009). Júri simulado: um uso da história e filosofia da ciência no ensino da óptica. *A Física na Escola*, 10(1). Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/profile/Boniek\\_Venceslau\\_da\\_Cruz\\_Silva/publication/20060](https://www.researchgate.net/profile/Boniek_Venceslau_da_Cruz_Silva/publication/20060)

2439\_JRI\_SIMULADO\_UM\_USO\_DA\_HISTRIA\_E\_DA\_FILOSOFIA\_DA\_CINCIA\_N  
O\_ENSINO\_DA\_PTICA/links/08565fd4404400239bc774a8.pdf

Pionório, N., Rodrigues, J. J., & Bertuola, A. C. (2008). Corrections of the chromatic aberration in the context of the geometrical optics. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(3), 3315.1-3315.10. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000300015>

Psycharis, S. (2013). Examining the effect of the computational models on learning performance, scientific reasoning, epistemic beliefs and argumentation: An implication for the STEM agenda. *Computers & Education*, 68, 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.05.015>

Psycharis, S. (2013). Examining the effect of the computational models on learning performance, scientific reasoning, epistemic beliefs and argumentation: An implication for the STEM agenda. *Computers & Education*, 68, 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.05.015>

Rahnama, F. (2015). Shedding light on the concept of light pressure. *Latin-American Journal of Physics Education*, 9(3), 2.

Ribeiro, J. L. P. (2014). Geometrical construction and experimental demonstration of the «cyclops image» formation in an association of two flat mirrors. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(4), 01-07. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400016>

Ribeiro, J. L. P., & Carneiro, M. H. da S. (2016). A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(2), 355-398.

Ribeiro, J. L. P., & da Silva Verdeaux, M. de F. (2013). Uma investigação da influência da reconceitualização das atividades experimentais demonstrativas no ensino da óptica no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 18(2), 239.

Ribeiro, J. L. P., & Verdeaux, M. de F. da S. (2012). Experimental activities in optics teaching: a revision. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 1-10. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000400021>

Rodrigues, M., & Carvalho, P. S. (2014). Teaching optical phenomena with *Tracker*. *Physics Education*, 49(6), 671. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/6/671>

- Rodríguez, D. P. G., & Mojica, E. N. (2006). PROPUESTA ALTERNATIVA PARA LA ENSEÑANZA DE LA OPTICA. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*. (Bogotá, Colombia), 1(1), 65-70.
- Rodríguez, Y., Santana, A., & Mendoza, L. M. (2013). Physics education through computational tools: the case of geometrical and physical optics. *Physics Education*, 48(5), 621. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/48/5/621>
- Santana, A., Rodríguez, Y., & Gómez, E. A. (2012). Construction of ray diagrams in geometrical optics: a media-focused approach. *Physics Education*, 47(6), 715. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/6/715>
- Scarinci, A. L., & Marineli, F. (2014a). O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1-14. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100009>
- Scarinci, A. L., & Marineli, F. (2014b). The wave model of light as a tool to explain the causes of color. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1-14. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100009>
- Şengören, S. K. (2010). How do Turkish high school graduates use the wave theory of light to explain optics phenomena? *Physics Education*, 45(3), 253. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/3/005>
- Sengören, S. K., & Çoban, G. Ü. (2011). Some remarks on using the principal rays for teaching the elementary optics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(1), 19.
- Seoane, M. E., Arriasecq, I., & Greca, I. (2015). Simulaciones computacionales: un análisis fenomenográfico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 289-296.
- Sierra, L. V., & Palacios, Y. A. S. (2008). EL COLOR COMO UN FENOMENO FISICO NATURAL. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*. (Bogotá, Colombia), 3(1), 56-61.
- Silva, & Martins, A. F. P. (2010). A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 5(2), 71-91.
- Silva, B. V. da C. (2011). O modelo vibracional da luz de Huygens e o ensino de Física: Equívocos, desafios e possibilidades. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(2), 25.

- Silva, C. C., & Moura, B. A. (2008). The nature of science through historical episodes: the case of the popularization of Newtonian optics. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1602.1-1602.10. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000100016>
- Silva, O. H. M. da, Zaparolli, F. V. D., & Arruda, S. de M. (2012). Demonstrações em óptica geométrica: uma proposta de montagem para ambientes de educação não formal. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(3), 1188-1199.
- Sokoloff, D. R. (2012). Active learning of introductory optics: Strategies for the US and the developing World. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 1*(16), 6.
- Sorensen, C. M., McBride, D. L., & Rebello, N. S. (2011). Studio optics: Adapting interactive engagement pedagogy to upper-division physics. *American Journal of Physics*, 79(3), 320-325. <https://doi.org/10.1119/1.3535580>
- Souza, L. A., Silva, L. da, Huguenin, J. a. O., Balthazar, W. F., Souza, L. A., Silva, L. da, ... Balthazar, W. F. (2015). Discussing the wave nature of light and the geometrical optics model through a low cost experimental activity. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 4311-1-4311-6. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173742013>
- Srinivasan, S., Pérez, L. C., Palmer, R. D., Brooks, D. W., Wilson, K., & Fowler, D. (2006). Reality versus Simulation. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 137-141. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9007-5>
- Stake, R. E. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos* (5ª ed.). España: Ediciones Morata.
- Studart, N., & Studart, N. (2015). A concise historical and conceptual approach to light an some of its applications: Presentation of invited articles in the special issue to commemorate the International Year of Light. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 4201-1-4201-3. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173740000>
- Szigety, E., Tintori Ferreira, M. A., Viau, J., & Moro, L. (2010). Estroboscopia mecánica: una experiencia visual. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(2). Recuperado a partir de <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/15>
- Szigety, E., Viau, J. E., Tintori Ferreira, M. A., & Moro, L. E. (2009). Medición del índice de refracción del agua usando materiales sencillos. Recuperado a partir de <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/10308>

- Taylor S.J. & Bogdan R. (1987) *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós
- Tekos, G., & Solomonidou, C. (2009). Constructivist Learning and Teaching of Optics Concepts Using ICT Tools in Greek Primary School: A Pilot Study. *Journal of Science Education and Technology*, 18(5), 415-428. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9158-2>
- Truyol, M. E., Gangoso, Z. E., & Sanjosé, V. (2012). Modelling in Physics: A matter of experience? *Truyol, Maria Elena Gangoso, Zulma Estela Sanjosé López, Vicente 2012 Modelling in Physics: A Matter of Experience? Latin-American Journal of Physics Education 6 Suppl. I 260 265*. Recuperado a partir de <http://roderic.uv.es/handle/10550/49928>
- Viennot, L., & Hosson, C. de. (2015). From a Subtractive to Multiplicative Approach: A concept-driven interactive pathway on the selective absorption of light. *International Journal of Science Education*, 37(1), 1-30. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.950186>

## 9. ANEXOS

Anexo A. Consentimiento informado para estudiantes y padres de familia atendiendo a las consideraciones éticas

	<p><b>Universidad de Antioquia</b> <b>Facultad de Educación</b> <b>Maestría en Educación en</b> <b>Ciencias Naturales</b> <b>I.E.R. Piedras Blancas</b></p>	<p><b>CONSENTIMIENTO</b> <b>INFORMADO</b></p>
---	---	---

### **Estimado padre/madre o acudiente**

Soy estudiante de la Maestría en Educación en Ciencias de la Universidad de Antioquia y estoy llevando a cabo un estudio sobre la enseñanza de la difracción a través de la modelación computacional, una apuesta por aprender ciencia, sobre ciencia y a hacer ciencia como mi proyecto de investigación. El objetivo es analizar los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción, por parte de los estudiantes de undécimo grado.

La participación dentro del proyecto se llevará a cabo en varias sesiones de las clases de física dentro de la institución educativa, haciendo uso de los programas de *Tracker* y *LabView*. El estudio no conlleva ningún riesgo.

Entiendo como imperativo y deber, hacer uso adecuado y discrecional de la información recolectada en el marco de esta investigación, con el único fin de lograr los objetivos del estudio en cuestión y en la perspectiva de contribuir con aportes para el mejoramiento de la enseñanza de la Física en el contexto de la I.E.R Piedras Blancas

El uso discrecional y adecuado de la información recogida y de su análisis, implica que la misma sólo será utilizada para los propósitos enunciados en el marco de este trabajo investigativo, que se evitará la alusión a nombres propios y se valorará con respeto y

responsabilidad los aportes de cada uno de los participantes. Los análisis y resultados serán dados a conocer en primera instancia a los participantes. Desde esta perspectiva, las personas que firman este documento autorizan a la investigadora para que las fuentes de información como escritos, entrevistas, observaciones, fotos, grabaciones en audio y video, etc.; se constituyan en bases de datos para dicha investigación.

---

### **AUTORIZACION**

He leído el procedimiento descrito arriba y voluntariamente doy mi consentimiento para que mi hijo/a \_\_\_\_\_ participe en el proyecto de investigación sobre la enseñanza de la difracción a través de la modelación computacional, una apuesta por aprender ciencia, sobre ciencia y a hacer ciencia.

---

**PADRE/MADRE/ACUDIEN**

Guarne, 24 de julio de 2017

**Rector**

**HUMBERTO ALARCÓN**

**I.E.R Piedras Blancas**

**Asunto: Carta para solicitar permiso de intervención de proyecto de investigación**

Cordial saludo,

Mi nombre es Claudia Marcela Marín, estudiante de Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquía y mi proyecto de investigación es “La Enseñanza de la Difracción a través de la Modelación Computacional. Una apuesta por Aprender Ciencia, Sobre Ciencia y a Hacer Ciencia”.

Esta investigación tiene como principal objetivo analizar los aportes de la modelación computacional en el aprendizaje significativo crítico del fenómeno de difracción, por parte de los estudiantes de undécimo grado. También busca reflexionar en el papel de la modelación computacional como un proceso que aporta a la comprensión de fenómenos cuando es implementada desde un enfoque pedagógico y/o didáctico.

Solicito permiso para realizar la intervención de este proyecto de investigación en la I.E.R Piedras Blancas, la cual se realizaría con los estudiantes del grado undécimo en la asignatura de Física. Éste proceso de intervención tendría una duración de 10 horas de clase aproximadamente, en las cuales se haría uso de la sala de sistemas, donde se instalarían dos programas para el desarrollo de las actividades pertinentes. El primer programa es *Tracker*, un analizador de video gratuito, que permite hacer graficas de fenómenos físicos en imágenes o videos para contribuir al proceso de enseñanza-aprendizaje. El segundo es el demo de *LabView* utilizado para estudiantes y también gratuito, el cual permite correr

modelaciones y simulaciones creadas en el programa de diseño de *LabView*. Ambos programas quedarían a disposición de la institución para su posterior uso después de la intervención o su desinstalación, si así se quiere.

Entiendo como imperativo y deber, hacer uso adecuado y discrecional de la información recolectada en el marco de esta investigación, con el único fin de lograr los objetivos del estudio en cuestión y en la perspectiva de contribuir con aportes para el mejoramiento de la enseñanza de la Física en el contexto de la Escuela Normal Superior Antioqueña, así como contribuir con cuestiones teóricas y metodológicas a la línea de investigación en Tecnologías de la Información y la Comunicación para la Enseñanza de las Ciencias del programa de Maestría en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad de Antioquia.

El uso discrecional y adecuado de la información recogida y de su análisis, implica que la misma sólo será utilizada para los propósitos enunciados en el marco de este trabajo investigativo, que se evitará la alusión a nombres propios y se valorará con respeto y responsabilidad los aportes de cada uno de los participantes. Los análisis y resultados serán dados a conocer en primera instancia a los participantes. Desde esta perspectiva, las personas que firman este documento autorizan a la investigadora para que las fuentes de información como escritos, entrevistas, observaciones, fotos, grabaciones en audio y video, etc.; se constituyan en bases de datos para dicha investigación.

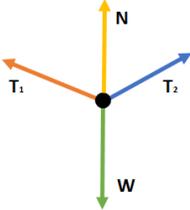
Gracias por su atención y colaboración.

Atentamente,

CLAUDIA MARCELA MARÍN

Estudiante de Maestría en Educación en Ciencias Naturales

Anexo C. Protocolo de entrevista

	<p align="center"><b>Universidad de Antioquia</b>  <b>Facultad de Educación</b>  <b>Maestría en Educación en</b>  <b>Ciencias Naturales</b>  <b>I.E.R Piedras Blancas</b></p>	<p align="center"><b>ENTREVISTAS</b>  <b>SOBRE</b>  <b>CONCEPCIONES DE LA</b>  <b>NATURALEZA DE LA</b>  <b>CIENCIA</b></p>
<p><b>Nombre del Entrevistado:</b> _____</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo:</b> Identificar las concepciones que los estudiantes tienen acerca de la naturaleza de la ciencia y la diferencia entre modelo y realidad</li> </ul>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cómo te imaginas a un científico?, piensa en la apariencia física, conocimientos, relaciones con los demás, lugar de trabajo.</li> <li>2. ¿Quiénes construyen las teorías científicas? ¿Y si una teoría tiene errores? ¿La ciencia tiene errores?</li> <li>3. Para ti ¿qué es un modelo? Y ¿Qué es un modelo físico?, ¿para qué sirve un modelo científico?, ¿Qué es un modelo en ciencias? ¿Quién construye un modelo científico?</li> </ol>		
<p>Observa las siguientes imágenes y responde</p>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>4. ¿Qué diferencias y similitudes encuentras en las dos imágenes anteriores?</li> <li>5. ¿Qué relación tienen ambas imágenes? ¿Significan lo mismo?</li> </ol>		

Anexo D. Propuesta de intervención

	<p align="center"><b>Universidad de Antioquia</b>  <b>Facultad de Educación</b>  <b>Maestría en Educación en Ciencias</b></p>	<p align="center"><b>Actividad N° 1</b>  <b>AMBIENTACIÓN</b></p>
---	---	--

		<b>Naturales</b> <b>I.E.R Piedras Blancas</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivos:</b> Generar un acercamiento por parte de los estudiantes al proyecto de investigación, a través del consentimiento informado.</li> <li>• Identificar las herramientas básicas del uso del <i>Tracker</i> con un ejercicio práctico.</li> </ul>	
 		<b>Universidad de Antioquia</b> <b>Facultad de Educación</b> <b>Maestría en Educación en Ciencias Naturales</b> <b>I.E.R Piedras Blancas</b>	<b>Actividad N° 2</b> <b>CONCEPCIONES PREVIAS</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo:</b> Identificar las concepciones previas acerca de la difracción.</li> </ul>	
<p>Esta actividad se realizará con previo conocimiento del manejo básico de <i>Tracker</i>.</p> <p>Después de asignarle a la imagen o video el plano de referencia y haber realizado la calibración y gráficas como en la imagen anterior, responder</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿De dónde crees que salen las luces que se ven en la imagen?</li> <li>2. ¿Cuántas fuentes de luz(láser) crees que hay?</li> <li>3. ¿Por qué crees que la luz del centro tiene mayor intensidad?</li> <li>4. ¿Por qué hay zonas oscuras?</li> <li>5. Para ti ¿qué representa la gráfica que hay a la derecha?</li> <li>6. ¿Qué has escuchado sobre difracción?</li> <li>7. ¿Alguna vez has visto un fenómeno de difracción? ¿Dónde?</li> <li>8. ¿Qué preguntas te surgen a partir de la imagen?</li> </ol>			
 		<b>Universidad de Antioquia</b> <b>Facultad de Educación</b> <b>Maestría en Educación en Ciencias Naturales</b> <b>I.E.R Piedras Blancas</b>	<b>Actividad N° 3</b> <b>PREDICCIONES Y OBSERVACIONES</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo:</b> Conocer las predicciones de los estudiantes sobre lo que sucederá cuando el rayo de una láser pasa por varias rendijas y por un CD.</li> <li>• Identificar las representaciones que realizan los estudiantes sobre las observaciones de experiencias reales del fenómeno de difracción y la</li> </ul>	

familiarización con el entorno del modelo computacional de dicho fenómeno.

**Experiencia 1 :** Apuntar con un láser a varias rendijas de diferentes tamaños y a un CD por parejas.

Representar antes de realizar la experiencia, lo que creen que sucederá en cada caso

Cuando el rayo del láser pasa por una rendija de 5 mm	Cuando el rayo del láser pasa por una rendija de 0.5 mm	Cuando el rayo del láser pasa por el CD

Realizar la experiencia y observar que sucede con el rayo de luz después que pasa por las rendijas y el CD. Representar lo observado.

Cuando el rayo del láser pasa por una rendija de 5 mm	Cuando el rayo del láser pasa por una rendija de 0.5 mm	Cuando el rayo del láser pasa por el CD

**Experiencia 2:** Familiarizarse con el entorno de modelación a través de la exploración tanto de los parámetros, como de la ecuación.

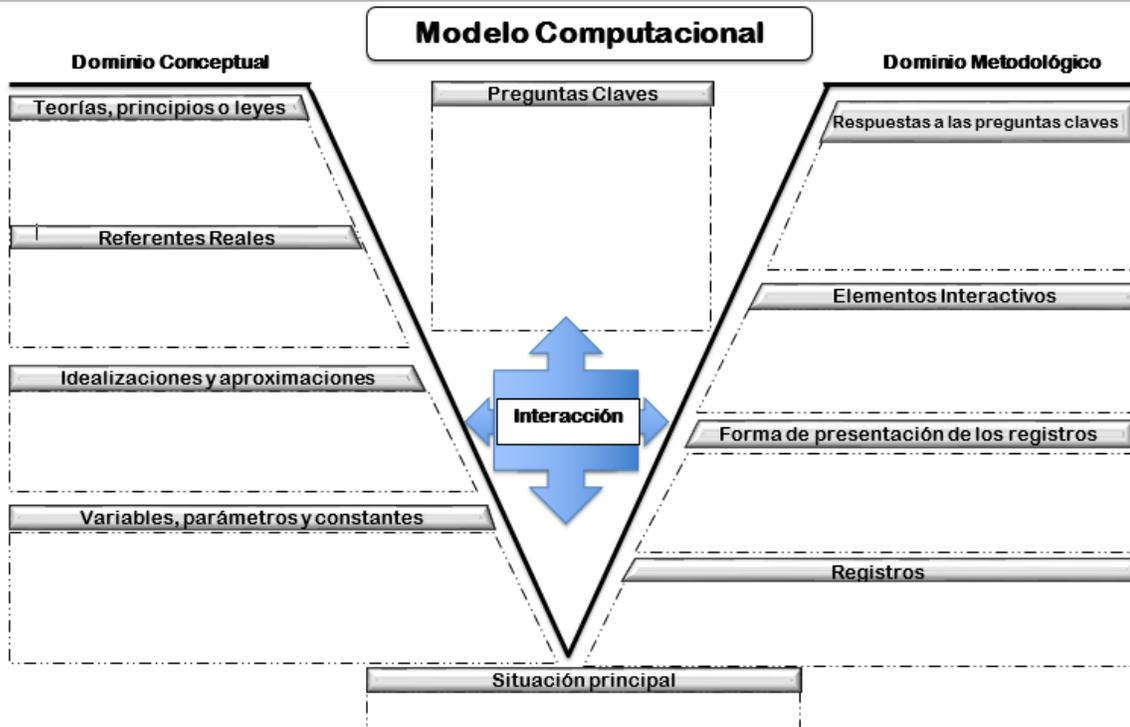




Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Maestría en Educación en Ciencias  
Naturales  
I.E.R Piedras Blancas

Actividad N° 4  
ANÁLISIS DEL  
MODELO  
COMPUTACIONAL

- **Objetivo:** Conocer el dominio conceptual y metodológico del fenómeno de difracción por parte de los estudiantes a través de las respuestas en la plantilla basada en la V de Gowin y en la formulación de preguntas.

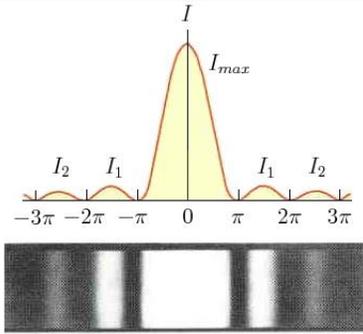
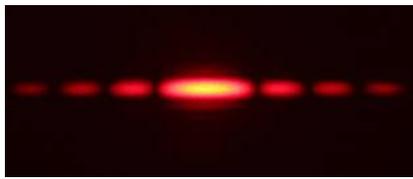


Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Maestría en Educación en Ciencias  
Naturales  
I.E.R Piedras Blancas

Actividad N° 5  
EXPLICACIONES

- **Objetivo:** Conocer las explicaciones de los estudiantes sobre el fenómeno de difracción después de confrontar sus predicciones y sus observaciones y han realizado un análisis sobre el modelo computacional de dicho fenómeno.
1. ¿Qué diferencias identificaste entre tus predicciones y observaciones?
  2. ¿Qué similitudes encontraste entre tus predicciones y observaciones?
  3. ¿Qué conclusiones puedes dar acerca de las diferencias y similitudes encontradas en los dos puntos anteriores?
  4. ¿De qué forma crees que el modelo computacional te ayudó a comprender el fenómeno estudiado?

5. ¿Cuáles son las causas que originan dicho fenómeno?



$$\frac{I(\theta)}{I_0} = \text{sinc}^2\left(\frac{a\pi}{\lambda} \sin \theta\right)$$

6. ¿Qué diferencias y similitudes encuentras en las tres imágenes anteriores?  
7. ¿Qué relación tienen ambas imágenes? ¿Significan lo mismo?

Anexo E. Registro Fotográfico de la modelación computacional

