

**MICROMUNDO PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE SISTEMA, ESTADO Y
SUPERPOSICIÓN DESDE LA MECÁNICA CLÁSICA Y CUÁNTICA EN
ESTUDIANTES DE GRADO OCTAVO**

KATHERINE ALFONSO ROJAS

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN:

APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: ENFOQUES DIDÁCTICOS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2022

**MICROMUNDO PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE SISTEMA, ESTADO Y
SUPERPOSICIÓN DESDE LA MECÁNICA CLÁSICA Y CUÁNTICA EN
ESTUDIANTES DE GRADO OCTAVO**

KATHERINE ALFONSO ROJAS

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN FÍSICA**

ASESOR: JUAN ALEJANDRO PÉREZ RANGEL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2022

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mis padres, quienes brindaron todo su apoyo y esfuerzo en cada instante de este proceso. A mis hermanas por todas las orientaciones que me dieron para culminar el presente trabajo y a mi hermano que me ha dado ánimo en cada momento difícil por el que he pasado.

A Kevin, por acompañarme de manera incondicional desde el inicio, apoyándome en los momentos de adversidad, brindándome apoyo emocional para culminar esta meta.

A la profesora Sandra Téllez por la motivación, escucha y los consejos.

Finalmente, a mi asesor el docente Juan Alejandro Rangel por su guía, escucha, enseñanza y por creer en este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I: LA NECESIDAD EDUCATIVA	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	9
1.2 OBJETIVOS:	12
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	13
1.4 ANTECEDENTES	15
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 EL CONCEPTO DE ESCALA: ¿QUÉ ES GRANDE Y PEQUEÑO?	19
2.2 PERSPECTIVA DE LA MECÁNICA CLÁSICA	20
2.2.1 EL CONCEPTO DE SISTEMA CLÁSICO	20
2.2.2 EL CONCEPTO DE ESTADO CLÁSICO.....	22
2.2.3 EL CONCEPTO DE SUPERPOSICIÓN CLÁSICA	25
2.2.4 SISTEMA, ESTADO Y SUPERPOSICIÓN: EL CASO DE LA RODADURA.....	26
2.3 PERSPECTIVA CUÁNTICA.....	28
2.3.1 EL CONCEPTO DE SISTEMA CUÁNTICO	28
2.3.2 EL CONCEPTO DE ESTADO CUÁNTICO	30
2.3.3 EL CONCEPTO DE SUPERPOSICIÓN CUÁNTICA.....	32
2.3.4 SISTEMA, ESTADO Y SUPERPOSICIÓN: EL CASO DE LA POLARIZACIÓN DE FOTONES	34
2.4 MATERIALES EDUCATIVOS COMPUTARIZADOS Y LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS	38
2.4.1 MATERIALES EDUCATIVOS COMPUTARIZADOS	38
2.4.2 LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS.....	40
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1 ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.3 MATERIAL DIDÁCTICO: MICROMUNDO “ <i>CONOCE MÁS EL MUNDO FÍSICO QUE TE RODEA</i> ”	46
3.4 VALIDACIÓN POR EXPERTOS	50
3.4.1 PROCEDIMIENTO.....	50

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS	51
4.2 CRITERIO: ÁREA INSTRUCCIONAL.....	53
4.3 CRITERIO: PLATAFORMA COMPUTACIONAL.....	54
4.4 MICROMUNDO EN GENERAL.....	55
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	58
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS.....	68

INTRODUCCIÓN

El escenario de las prácticas pedagógicas brinda la oportunidad de tener un acercamiento a la población escolar, lo que permite al maestro en formación sumergirse en el contexto educativo y lograr, por medio de la observación, una identificación de necesidades que considera como retos a abordar en aras de aportar a la educación, la enseñanza, y su propia formación.

Una de estas necesidades se identificó en la Institución Educativa Integrado de Soacha, en donde se encontró que la enseñanza de la física está limitada en educación media, debido a que se considera que es una materia compleja para ser abordada en grados anteriores, esto conlleva a que el currículo de física sea reducido a teorías clásica en décimo y once, y a su vez, temáticas de la física moderna como es el caso de la mecánica cuántica son excluidas debido a que se consideran abstractas.

Abordar la enseñanza de la mecánica clásica y cuántica en educación básica aporta en el sentido en el que permite ampliar el currículo de física, incluyendo temáticas que generalmente se omiten, asimismo, este proceso contribuye a que el estudiante construya una visión más amplia del mundo físico que lo rodea, debido a que se aproxima a temáticas que van más allá de la perspectiva macroscópica, pues incluye el aspecto microscópico, y por ejemplo, desde el concepto de sistema, estado y superposición se puede dar paso a abarcar ambas teorías de manera paralela con el fin de que el estudiante pueda aproximarse a los paradigmas que conlleva cada una. Sin embargo, una dificultad que se encuentra a la hora de enseñar estas temáticas (debido a que se consideran abstractas) está relacionada directamente con la necesidad de un nivel alto en matemáticas y el escaso componente experimental de las instituciones; no obstante, existen alternativas desde el uso de computadores para generar representaciones, como, por ejemplo, los micromundos, los cuales son ambientes de aprendizaje digital.

A pesar de que la tecnología está en auge, estas alternativas se han abordado poco en la educación básica y media, en este caso, enfocándose principalmente en la física clásica como el estudio de la mecánica newtoniana, electricidad, magnetismo, ondas y calor, mientras que estudios e investigaciones sobre la enseñanza de la física cuántica por medio de recursos de cómputo se han realizado en población universitaria.

Por esta razón, el presente documento es el registro de un proceso de investigación centrado en la construcción de un material didáctico para la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición por medio de un micromundo dirigido a estudiantes de grado octavo, mediante el enfoque metodológico mixto y la propuesta dada Quintero, Luque, González y Portillo (2005) para la realización de un software educativo.

Por ende, el contenido de este trabajo consiste en 5 capítulos, el primero es “*La necesidad educativa*”, donde se describe de manera detallada la problemática, el contexto, objetivos y la importancia o valor que tiene la presente investigación, asimismo, se presentan estudios que guardan una relación con este.

En el segundo capítulo denominado “*Marco teórico*” se presenta el desarrollo de la revisión de literatura con el fin de analizar los conceptos de sistema, estado y superposición desde la perspectiva clásica y cuántica, definiendo inicialmente la noción de tamaño, posterior a esto se abordan los Materiales Educativos Computarizados y las secuencias didácticas.

En el tercer capítulo (*Metodología de la investigación*) se presenta la ruta en la que se ha desarrollado la investigación, es decir, el enfoque y diseño, así como también los instrumentos de recolección de datos y formas de analizarlos. En este capítulo además se encuentra la metodología en la que se basó la construcción del micromundo y su desarrollo.

En el cuarto capítulo, se presenta el análisis cualitativo y cuantitativo de los datos recogidos por medio del instrumento descrito en el capítulo 3, encontrando los elementos que se consideran necesarios para construir el micromundo dirigido a la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica. Finalmente, se halla el capítulo 5 denominado “*Conclusiones*”, en el cual se describen los resultados obtenidos de todo el proceso investigativo, las reflexiones, limitaciones y proyecciones del presente estudio.

CAPÍTULO I: LA NECESIDAD EDUCATIVA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La práctica pedagógica I, desarrollada en la Intuición Educativa Integrado de Soacha (IEIS), permitió identificar debilidades curriculares en el desarrollo de las temáticas de física en educación básica secundaria. Específicamente, los contenidos de física se desarrollan solo desde grado décimo, mientras que en educación básica secundaria se abordan de forma implícita dentro de las otras ciencias naturales (biología y química).

Al respecto, un docente de la IEIS argumenta que, lo mencionado anteriormente sucede debido a que existe el paradigma de que enseñar física en educación básica requiere de niveles de abstracción y conocimientos matemáticos complejos (como el cálculo y la trigonometría) que no están al alcance de dicho nivel educativo. Aunque existen alternativas de representación de dichos niveles de abstracción como las animaciones, simulaciones y aplicaciones digitales disponibles para la enseñanza, donde los estudiantes aprenden ciencia y hacen uso de las tecnologías, las cuales también pueden suplir la necesidad de la falta de recursos (por ejemplo, experimentales) por parte de las instituciones (López, 2016), dichas alternativas no son utilizadas, a pesar de que la IEIS cuente con medios como equipos de cómputo. Esta dinámica en torno a la enseñanza de la física restringe el currículo y desaprovecha el aula de física como escenario para generar curiosidad o el pensamiento científico a partir del estudio de fenómenos físicos con la ayuda de herramientas tecnológicas, como, por ejemplo, los Materiales Educativos Computarizados (MEC), específicamente los micromundos, los cuales son ambientes de aprendizaje digital con los que el estudiante puede interactuar para aprender.

El currículo limitado no solo impide abarcar de manera amplia las teorías clásicas de la física, también elimina sistemáticamente los contenidos de física moderna, hecho que se refuerza

con el imaginario de que es aún más compleja (Johnston et al., 1998 citado en Sincarcas y Solbes, 2013). Por ejemplo, el comportamiento y naturaleza de la luz (mencionado en los estándares básicos de competencias en ciencias naturales para los grados 8° y 9°) no tiene espacio en el currículo de la IEIS; dejando solo eventuales análisis en temáticas como: la luz desde la óptica geométrica o descripciones superficiales de ideas como la cuantización de la energía en el estudio de modelos atómicos en grado octavo¹. En consecuencia, estudios como “aplicaciones de los modelos de la luz e implicaciones de la tecnología en la sociedad” (Colombia, 2006) se omiten.

Además de las temáticas específicas omitidas, el contexto anterior implica una falencia adicional en el proceso aprendizaje: la representación del mundo físico que construyen los estudiantes en clase es incompleta. Por ejemplo, en el contexto de la mecánica cuántica (QM), se omite el estudio de sistemas a escala microscópica (estructura atómica, interacción luz-átomos, entre otros); a cambio se estudian sistemas macroscópicos clásicos (como los cuerpos en movimiento, los procesos termodinámicos, fenómenos electromagnéticos, entre otros). Asimismo, el concepto de estado de un sistema se describe a partir de características clásicas como posición, velocidad, presión, volumen, corriente eléctrica, etc. y no se consideran comportamientos como superposición de estados o la naturaleza probabilística de los comportamientos cuánticos.

En primera aproximación, se construyen imágenes estrictamente clásicas de ideas fundamentales en la física como sistema y estado, sin su complemento cuántico, sin embargo, la

¹ Durante la observación en la práctica I se evidenció que solo se realiza un recorrido desde Dalton hasta Bohr, mencionando superficialmente la cuantización, de una forma rápida sin alguna profundización, en consecuencia, no se menciona el modelo atómico actual.

enseñanza de estos conceptos fundamentales de QM permitiría un acercamiento general a esta teoría (Walteros, 2016).

En cuanto a las metodologías de enseñanza de la física en la IEIS observadas durante la práctica I, estas se basan en estudios netamente teóricos de la física clásica (presentación de leyes, ecuaciones, solución de ejercicios), con un componente experimental de apoyo. De acuerdo con lo anterior, una de las causas por las cuales la enseñanza de la MC no trasciende a conceptos de física moderna, específicamente de la QM, es debido a que los experimentos relacionados son de alto costo y complejidad. La anterior situación, también es percibida por el maestro de grado octavo.

Para abordar dichas falencias, y consecuentemente, aportar a ampliar el cubrimiento del currículo de física en la institución, el uso de las herramientas tecnológicas surge como posible apoyo a las asignaturas teórico-prácticas, asimismo, complementan el estudio de fenómenos cuyo desarrollo experimental es complejo y de difícil acceso, como en el caso de la QM. No obstante, aunque la institución cuenta con equipos y laboratorios de cómputo, esta alternativa no se ha explorado.

En síntesis, si se tiene en cuenta el contexto anterior, es posible identificar la necesidad (y oportunidad) de ampliar el currículo de física en la IEIS, en el nivel de básica secundaria. Dicha necesidad reúne varios retos: a) modificar el paradigma incorrecto que dice que los estudiantes no pueden entender conceptos de física moderna, específicamente de QM, por no contar con conocimiento matemáticos avanzados; b) ofrecerle al maestro de ciencias recursos de apoyo para su fortalecimiento disciplinar y didáctico; c) aprovechar los recursos tecnológicos disponibles como alternativa al componente experimental d) promover para los estudiantes una visión más completa del mundo físico que contemple comportamientos clásicos y cuánticos.

Afrontar estos retos es el propósito del presente trabajo, para ello se propone construir un material didáctico para la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y principio de superposición, *característica diferenciadora en el comportamiento de los sistemas clásicos y cuánticos*, haciendo un paralelo entre la concepción clásica y cuántica de dichos conceptos. Inicialmente, el material didáctico está dirigido a estudiantes de grado octavo (13 a 15 años), debido a que es allí es donde se abordan temáticas como “modelos atómicos”, con la cual se puede generar una conexión con las ideas del mundo microscópico². No obstante, dado que no se han desarrollado propuestas similares en la institución, en futuros trabajos será posible ampliar la aplicación a básica secundaria en general. El material didáctico también pretende aprovechar los recursos tecnológicos, como los computadores, pues la estrategia consiste en desarrollar un MEC denominado micromundo, con un énfasis especial en la interactividad entre el estudiante y el material.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el presente trabajo, en primera aproximación, pretende responder el siguiente interrogante: *¿Cómo desarrollar un material didáctico para la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM dirigido a estudiantes de grado octavo por medio de un micromundo?*

1.2 OBJETIVOS:

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Desarrollar un material didáctico para la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica dirigido a estudiantes de grado octavo por medio de un micromundo.

² Más adelante se hará una reflexión más profunda de lo que implica la idea de “microscópico” en términos de los efectos que puede tener la medición en estos sistemas

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Construir un paralelo conceptual a partir de una revisión de la literatura de los conceptos de sistema, estado y superposición, desde la mecánica clásica y cuántica
- ✓ Realizar un micromundo en Visual Basic que presente los conceptos de sistema, estado y superposición por medio de una secuencia didáctica teniendo en cuenta la mecánica clásica y cuántica
- ✓ Analizar la validez del micromundo por medio de una escala Likert y una matriz de validación con expertos

1.3 JUSTIFICACIÓN

La enseñanza de las ciencias en Colombia tiene el desafío de formar ciudadanos capaces de razonar, producir, debatir, convivir, etc., en un contexto cambiante y complejo (Colombia, 2006) y la formación desde grados iniciales de educación busca desarrollar pensamiento científico y evidenciar la relación ciencia-tecnología y sociedad (CTS), intentando incluir elementos como avances de la ciencia y sus beneficios para la humanidad o el rol del científico en el desarrollo histórico, conceptual y epistemológico de las ciencias.

Lo anterior fundamenta los lineamientos que la educación colombiana define para los procesos de enseñanza de las ciencias en las instituciones educativas del país, en los niveles de básica primaria, básica secundaria y educación media. Por ejemplo, los ejes fundamentales, específicamente en básica secundaria, actualmente son: el entorno vivo (fundamentado en el estudio de la biología), el entorno físico, el entorno químico y la relación CTS.

La IEIS reconoce dichos lineamientos, no obstante, en el desarrollo curricular de las ciencias naturales existen debilidades. En la presente propuesta, es de especial interés que una de

las temáticas ausentes en el desarrollo del currículo es la física moderna; específicamente leyes o fenómenos de teorías como la QM son omitidos.

Esta propuesta, pretende abordar los conceptos de sistema, estado y superposición haciendo un paralelo entre las concepciones clásicas y cuánticas. Esto tendría un impacto positivo en tres aspectos: 1) actualiza y amplía el currículo de física, incluyendo temáticas típicamente omitidas; 2) constituye un material de apoyo para el fortalecimiento conceptual del maestro de ciencias que no tiene formación de base en física o que no tiene dominio disciplinar de la teoría; 3) le presenta al estudiante un paralelo entre la MC (en general más intuitiva) y la QM (que plantea nuevos paradigmas), es decir se apoya en aprendizajes previos o cotidianos para aproximarse a nuevos conceptos.

En cuanto a la limitación experimental para la enseñanza de la QM, la propuesta pretende aportar en tres aspectos: 1) ofrecer como alternativa el uso de herramientas tecnológicas (micromundos, que pueden integrar simulaciones, animaciones, entre otros) que permiten tener representaciones que apoyen el nivel de abstracción necesario en el estudio de los conceptos de sistema, estado y superposición en QM; 2) aprovechar recursos disponibles en la institución que no se han usado como alternativa al experimento y 3) permitir incursionar en nuevos paradigmas educativos que “enfocan los sistemas de enseñanza desde la ingeniería informática aplicada y el diseño de herramientas de aprendizaje” (Ramírez, 2008 citado en Torres, 2010, p. 139)

La propuesta también pretende aportar al desarrollo conceptual de los estudiantes, de manera transversal con el desarrollo de habilidades de pensamiento científico. Por ejemplo, al mostrar un paralelo entre la MC y QM de los conceptos de sistema, estado y superposición, pone en escena los grandes paradigmas de la física, lo que permite ampliar las diferentes formas de percibir el mundo, desde concepciones clásicas de los fenómenos físicos con ideas de

determinismo o nuevas ideas como la probabilidad de los eventos físicos a pequeña escala, descritos en la QM, constituyendo un cambio de paradigma para la ciencia moderna y consecuentemente para la enseñanza de la física.

Asimismo, la importancia de enseñar conceptos de la QM en secundaria se puede sintetizar en los siguientes aspectos (Kalkanis, Hadzidaki, Stavrou, 2003; Sinarcas, Solbes, 2013; Krijtenburg-Lewerissa et al., 2019 citados en Gonzalez, Muñoz, Solbes, 2020):

1. Conceptual: La QM permite dar una imagen más aproximada de cómo se interpreta el mundo, basándose en los fenómenos que ocurren a escala microscópica, por lo tanto, hace que el estudiante tiene un conocimiento más amplio de lo que lo rodea.
2. Relación ciencia-tecnología-sociedad: La QM tiene diversidad de aplicaciones en la sociedad (el láser, la electrónica, la superconductividad, nuevos materiales, microscopios avanzados, resonancia magnética), pero en la mayor parte de los casos no se es consciente de esta relación.

1.4 ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta la problemática presentada, se realizó una revisión de trabajos nacionales e internacionales relacionados a la enseñanza de la MC y QM, y el uso de las herramientas tecnológicas como propuestas pedagógicas, con el fin de nutrir y aportar el presente estudio. Entre las documentaciones se encuentra uno realizado por Malaver (2016) llamado "*La medición de una variable de estado desde el contexto clásico y desde el contexto cuántico*". Es un trabajo de grado de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) que propone la comparación de conceptos básicos (medición, observación, sistemas, estado, principio de superposición y principio de incertidumbre) de la MC y QM, partiendo desde la falta de elementos para la enseñanza de la QM y la importancia de las representaciones para un aprendizaje, y aunque es

netamente teórico, aportó en gran medida a este trabajo en las aproximaciones de estas distintas nociones.

Otro trabajo de grado encontrado de la UPN en la revisión fue el de Walteros (2016) denominado “*Actividades experimentales para la construcción de explicaciones alrededor de los fundamentos básicos de la mecánica cuántica*”, el cual está dirigido a docentes, estudiantes de secundaria y docentes en formación. Allí se aborda inicialmente la cuestión ¿Qué tan importante son los experimentos en los procesos de aprendizaje? (particularmente en la QM), posterior a esto hace un recorrido sobre la noción de estado y el principio de superposición; finalmente, propone montajes experimentales, como, por ejemplo, polarizador de fotones y luz atravesando un prisma, con el fin de ofrecer una mejor comprensión de estas nociones. Estos experimentos permitieron ser guías para la comprensión de los conceptos de sistema, estado y superposición en diferentes montajes.

En cuanto a la enseñanza de la mecánica cuántica en bachillerato, se encontró el artículo realizado por Sinarcas y Solbes (2013) en España, el cual se titula “*Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato*”, este artículo presenta un análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física cuántica en estudiantes de bachillerato identificando sus dificultades, a esto se le suma que presentan las diferentes carencias en la enseñanza de esta teoría. Una de las dificultades encontradas en este estudio es que a los estudiantes se les dificulta comparar de manera correcta la perspectiva de la mecánica clásica con la cuántica, por lo tanto, abre nuevas perspectivas para seguir investigando, como se realizó en el presente estudio.

En relación con la enseñanza por medio de MEC, se encontró el artículo nacional llamado “*Simulando y resolviendo, la teoría voy comprendiendo: una estrategia didáctica para*

la enseñanza-aprendizaje de la física”, realizado por Duarte, Vega y Morales (2022), quienes presentan el nivel de impacto de una estrategia didáctica diseñada a partir de simulaciones, con el fin de aportar en la enseñanza de tópicos como: mecánica clásica, electricidad, ondas, óptica y calor. Donde se encontró que el uso de simuladores aporta de manera significativa y positiva en la enseñanza, por lo tanto, aportó en la presente investigación debido a que dio un panorama sobre el uso de las simulaciones en educación media para abordar temáticas de física clásica, donde hace énfasis en la importancia de una buena estrategia didáctica para obtener buenos resultados.

También se encontró el artículo “*Diseño de un material didáctico computarizado para la enseñanza de Oscilaciones y Ondas, a partir del estilo de aprendizaje de los estudiantes*”, realizado por Ruiz y Duarte (2018), donde se presenta el diseño de un MEC para la enseñanza de ondas en educación media. Este trabajo fue una guía al presente estudio en cuanto al contenido y la metodología para desarrollar el micromundo.

En esta misma línea se encontró un artículo internacional realizado por Morales (2016), titulado “*material educativo computarizado para el apoyo del aprendizaje de física cuántica y ondas*”, en el cual se presenta el diseño de un MEC con el fin de apoyar el aprendizaje de la física cuántica y ondas en nivel universitario. Este estudio aportó en la presente investigación debido a que permitió reconocer la pertinencia de un MEC específicamente en la enseñanza de la física cuántica debido a su abstracción.

Por último, se encuentra un artículo de carácter internacional (Argentina) realizado por Marchoso, Von Pamel, Plano y Ronco (2005) llamado “*Combinación de estrategias didácticas e integración de tics en la enseñanza de fundamentos de física cuántica para ingenieros*”, donde se presenta el diseño de un programa en Visual Basic para introducir conceptos básicos de las

ideas cuánticas desde la evolución del modelo atómico, con una guía de trabajo y su respectivo análisis, siendo de gran aporte a la presente investigación, debido a que orientó la construcción del MEC, específicamente, del micromundo que se realizó.

En esta revisión de trabajos nacionales e internacionales se logró evidenciar qué aspectos relacionados a la enseñanza de la mecánica cuántica por medio de los MEC se han abordado, pero en población universitaria, mientras que en educación básica o media se han realizado con temáticas de física clásica. Sin embargo, se evidencia la necesidad de abordar tópicos tanto desde la perspectiva clásica como cuántica en bachillerato debido a la dificultad encontrada por Sinarcas y Solbes (2013), puesto que muestran que a los estudiantes de este nivel educativo no logran diferenciar ambas teorías de manera correcta. Teniendo en cuenta la pertinencia del uso de un MEC para abordar lo anterior, se procede a desarrollar el marco teórico para brindar un base en su construcción.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Con el fin de orientar el presente trabajo, se abordó, en primera instancia, el concepto de grande y pequeño con el ánimo de establecer un marco conceptual base para desarrollar los conceptos de sistema, estado y superposición, desde dos perspectivas diferentes, la primera desde la MC y la segunda desde la QM. También se presenta una tercera parte, la cual hace referencia a la enseñanza en general por medio de materiales educativos computarizados (MEC) y las secuencias didácticas.

2.1 EL CONCEPTO DE ESCALA: ¿QUÉ ES GRANDE Y PEQUEÑO?

Antes de proceder a la presentación de las perspectivas clásicas y cuánticas, se describirá el concepto de lo *pequeño* y *grande*, con el objetivo de tener un punto de referencia para la descripción de los objetos de estudio de dichas perspectivas.

Para desarrollar el concepto de escala, se evitó llegar a una idea relativa en procesos comparativos, debido a que, como lo menciona Dirac (1967) “no conduce a nada explicar lo grande en función de lo pequeño”, de acuerdo con esto, no se puede afirmar que un objeto 1 es pequeño porque su medida es de un orden de magnitud más pequeña que la de otro (objeto 2), debido a que también puede existir otro objeto 3 con un orden de magnitud aún más pequeña que la del objeto 1, lo cual haría grande al objeto 1 y pequeño al objeto 3, por lo tanto, no se tendría un límite que defina desde donde empieza lo pequeño o donde termina lo grande. Teniendo en cuenta lo anterior, surge la necesidad de determinar de manera absoluta dichos conceptos.

Una de las formas de hacerlo es por medio de la observación (entendida no como el termino de “ver”, el cual está asociado al sentido de la vista, sino como el acto de interactuar con instrumentos, por lo tanto, lo que se realiza es una medición) para detectar características o comportamientos de un sistema, dichas interacciones generan una alteración. Teniendo en cuenta

esto, Dirac (1967) menciona que “un objeto es grande cuando la alteración que acompaña a nuestra observación de él pueda ser despreciada, y pequeño cuando no pueda serlo” (p.17).

La definición de Dirac (1967) para lo grande y lo pequeño, será lo que en el presente trabajo diferencie los sistemas microscópicos (alterados por la medición) con los macroscópicos. En ese orden de ideas, se dirá que la mecánica cuántica estudia sistemas microscópicos y la mecánica clásica estudia sistemas macroscópicos³.

2.2 PERSPECTIVA DE LA MECÁNICA CLÁSICA

2.2.1 EL CONCEPTO DE SISTEMA CLÁSICO

El término *sistema* proviene del griego *synhistanai*, el cual significa “colocar junto”, teniendo en cuenta esto, el significado general de sistema viene siendo “un conjunto o una totalidad de objetos, reales o ideales, recíprocamente articulados e interdependientes, uno en relación a los otros.” (Enciclopedia Mirador Internacional, 1981, p. 10465 citado en Brandão, 2012, p. 45).

Ahora bien, enfocándonos en la mecánica clásica, un sistema se compone de uno o varios objetos macroscópicos en interacción (Ver figura 1). Los objetos podrían ser: Pelotas, discos, cuerpos, planetas, superficies, etc., y la interacción puede ser gravitacional, electrostática, magnética, etc. Un ejemplo de un sistema en MC es *Cuerpo-tierra* y la interacción entre estos dos objetos es gravitacional, de acuerdo con este sistema, se pueden analizar fenómenos como caída libre, tiro parabólico, movimiento circular acelerado, rodadura, etc.

³ En mecánica también es posible estudiar modelos microscópicos de la materia, como en el caso de un modelo de un medio granular como la arena, por métodos computacionales como la dinámica molecular. Sin embargo, en ese caso, se considera clásico porque se ignoran los efectos de observaciones o mediciones. Algo similar sucede para modelos de gases de esferas duras estudiados por ese tipo de métodos.

En el ejemplo, se puede definir una frontera con el fin de delimitar el estudio del sistema, pues fuera de ella está el entorno, y todo lo que se encuentre allí no se tiene en cuenta al momento de describir el sistema.

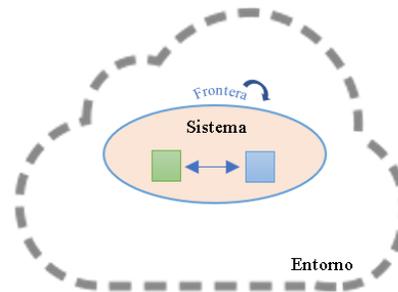


Figura 1. Sistema físico: objetos en interacción con una frontera la cual delimita el sistema con el entorno

En la figura 1, dentro del sistema se encuentran dos cuerpos, uno verde y otro azul, los cuales tienen una relación (representada por la flecha), la cual hace referencia a la interacción existente entre ellos.

Los sistemas en MC se estudian en general, describiendo cantidades cinemáticas y dinámicas como posición, velocidad, aceleración, entre otros; los sistemas clásicos se caracterizan también por tener velocidades pequeñas en comparación a la de la luz (Malaver, 2016), y otra característica que se debe tener en cuenta es que, con respecto a la definición de *grande*, estos tipos de sistemas no se alteran al ser medidos.

En algunos de los sistemas mecánico-clásicos, se pueden tener prácticas directas por medio de los sentidos o el sujeto que los estudia puede reproducir sus comportamientos en un ambiente controlado (condiciones iniciales definidas). Por ejemplo, para variar los resultados al momento de realizar un experimento del fenómeno *tiro parabólico*, se pueden modificar las condiciones iniciales del movimiento, esto es: altura, velocidad y ángulo inicial de lanzamiento;

por lo tanto, se puede predecir (con un margen de error experimental) el resultado de la experiencia, es decir, la velocidad y la posición final.

En conclusión, un sistema en MC tiene dos elementos: 1) objetos *macroscópicos* y 2) mecanismos de interacción con los cuales se relacionan dichos objetos. Dependiendo de la configuración del sistema, se representan diferentes fenómenos. como, por ejemplo, un sistema compuesto por: soporte- cuerda- masa- tierra, con una interacción gravitacional, pueden dar paso a analizar el fenómeno del péndulo simple, péndulo doble, péndulo elástico, etc.

Otros ejemplos de objetos, interacción y fenómeno se pueden observar en la tabla 1.

Objetos	Interacción	Fenómeno
Cuerpo, tierra.	Gravitacional	- Caída libre. - Tiro parabólico - Movimiento circular acelerado - Molécula diatómica o rodadura
Soporte, cuerda, masa, tierra.	Gravitacional	- Péndulo simple - Péndulo doble, etc. - Péndulo elástico
Objetos halados o en deslizamiento, agentes externos, cuerdas, tierra.	- Electrostática: fuerza de fricción, tensiones. - Gravitacional	- Sistemas con contrapeso, deslizamiento en rampas, entre otros

Tabla 1. Sistemas mecánico-clásicos

2.2.2 EL CONCEPTO DE ESTADO CLÁSICO

En MC, el estado indica las diferentes formas de estar de un sistema con respecto a una cualidad (Mendoza y Rozo, 2011), en este caso, de movimiento. El estado de un sistema se define a partir de sus cantidades dinámicas en un instante dado, tales como: posición y velocidad, las cuales tienen una relación funcional con el tiempo, con lo cual es posible conocer cómo evoluciona el sistema temporalmente (Mendoza, Olarte y Rozo, 2016) a partir de una ecuación

de estado. La dinámica o cambio estado se puede modelar mediante lo que se denomina una ecuación de movimiento.

La segunda Ley de Newton es un ejemplo de ecuación de movimiento que describe la dinámica de sistema mecánico clásico.

Por ejemplo, retomando el fenómeno *tiro parabólico* donde el sistema está conformado por un objeto, la tierra y la interacción es gravitacional, de allí se pueden obtener los elementos presentados en la figura 2:

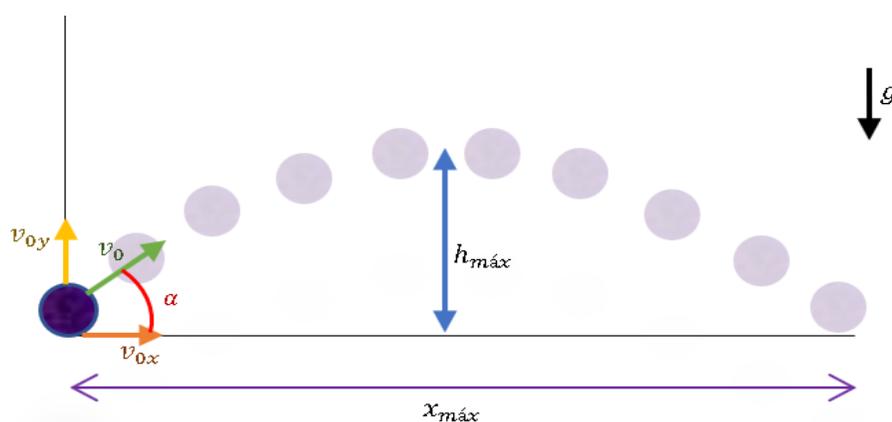


Figura 2. Fenómeno: tiro parabólico, el cual resulta de la composición de un movimiento rectilíneo uniforme (MRU horizontal) y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado de lanzamiento hacia arriba o hacia abajo (MRUA vertical).

Donde:

v_0	Velocidad inicial
v_{0x}	Velocidad inicial en x
v_{0y}	Velocidad inicial en y
$x_{máx}$	Distancia máxima (alcance)
$h_{máx}$	Altura máxima
g	Gravedad
α	Ángulo de lanzamiento

Tabla 2. Descripción de la figura 2

Al describir el sistema con la segunda ley de Newton, se tiene:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = \begin{cases} \text{EjeX: } 0 = m \frac{d^2x}{dt^2} (1) \\ \text{EjeY: } -mg = m \frac{d^2y}{dt^2} (2) \end{cases}$$

Al solucionar dicha ecuación (ver anexo A), es posible conocer el estado del sistema al transcurrir el tiempo, es decir, predecir su dinámica.

La solución puede darse como sigue:

Solucionando las ecuaciones (1) y (2) se tiene:

$$(3) \rightarrow x = v_{0x}t + x_0$$

$$(4) \rightarrow v_y = -gt + v_{0y}$$

$$(5) \rightarrow y = \frac{-gt^2}{2} + v_{0y}t + y_0$$

Las ecuaciones (3), (4), (5) predicen la dinámica del objeto en movimiento parabólico.

De manera general, es posible conocer un estado posterior del sistema si se conoce con certeza un estado inicial (Malaver, 2016). De acuerdo con esto, la física clásica es determinista.

En el presente trabajo se tendrá en cuenta la concepción de determinismo⁴ en el sentido que, para un estado e_1 dado en un tiempo t_1 , se puede determinar un estado e_2 en t_2 y es imposible hallar otro estado $e \neq e_2$ para ese mismo instante de tiempo, es decir, “no existe ningún estado a partir del cual el sistema admita dos o más evoluciones posibles” (Lombardi, 1999, p. 251).

⁴ El concepto de determinismo en sistemas clásicos requiere una visión más amplia que considere sistemas *clásicos* no lineales o, de manera más general, sistemas caóticos. Este estudio está por fuera del alcance de este trabajo que hace énfasis en sistemas clásicos deterministas, que permitan hacer un paralelo con sistemas cuánticos de interés.

2.2.3 EL CONCEPTO DE SUPERPOSICIÓN CLÁSICA

La dinámica de un sistema se puede describir como la suma de dinámicas independientes; lo anterior es la concepción de *superposición* desde la MC que se aborda en el presente trabajo.

De acuerdo con lo anterior, se puede tomar como referencia el principio de superposición de movimientos de Galileo establecido en Gutiérrez y Miranda (2012), el cual menciona que:

“Si el movimiento de un cuerpo es el resultado de otros dos movimientos simultáneos, la posición que ocupa al cabo de un tiempo t es la misma que ocuparía si ambos movimientos se hubiesen cumplido sucesiva e independientemente uno de otro y cada uno de ellos durante el mismo tiempo t ” (p. 66)

Es decir, el principio de superposición indica una “combinación de entidades que no pierden su individualidad, separables pero que combinadas generan una percepción distinta a la individualidad de cada componente” (Organista et al.,2007), donde entidades hace referencia a las dinámicas diferentes del sistema, por lo tanto, existen movimientos independientes que al incorporarlos presentan un movimiento totalmente distinto.

Un ejemplo de lo presentado anteriormente es la dinámica del *tiro parabólico* (figura 3), debido a que es posible definir el estado de movimiento estudiándolo por separado, por ejemplo, primero un movimiento rectilíneo uniforme (MRU horizontal) como se puede ver en la figura 3.A, y luego, un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado vertical (MRUA vertical) (figura 3.B), dando como resultado la superposición de un MRU+MRUA (Figura 3.C). Al observar el fenómeno, en otras palabras, medir, sigue actuando en dicha combinación de movimientos.

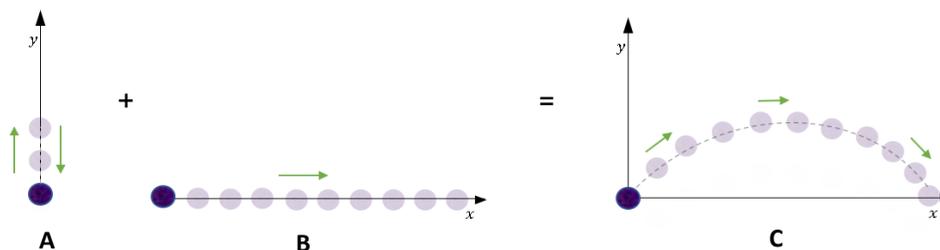


Figura 3. Representación de la superposición de dinámicas en el tiro parabólico. A. un movimiento uniformemente acelerado vertical, B. un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y C. la superposición de los dos movimientos presentados en A y B.

2.2.4 SISTEMA, ESTADO Y SUPERPOSICIÓN: EL CASO DE LA RODADURA

Una situación en la que se pueden representar los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica es la siguiente:

El movimiento de rotación hace referencia al giro que realizan las partículas que componen un cuerpo alrededor de un eje establecido; en el caso más simple, se puede estudiar rotación respecto a un eje que pasa por el centro de masa del cuerpo (figura 4), donde cada punto del cuerpo realiza una trayectoria circular centrada en dicho eje. Por otro lado, la traslación se puede estudiar como el cambio de posición en el espacio de un punto, en este caso se considera el centro de masa del objeto (CM).

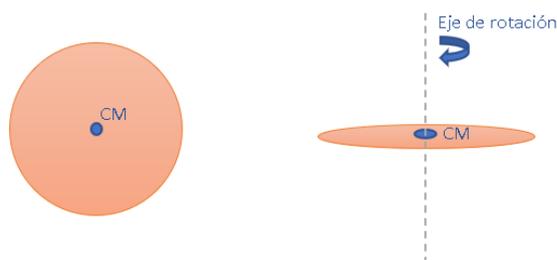


Figura 4. Ejemplo de un disco el cual el eje de rotación coincide con su centro de masa

En la situación de un disco de masa m , el cual tiene un radio R , que se traslada a velocidad constante en el eje x , tiene una velocidad angular constante y considerando un movimiento de rodadura (Figura 5), es decir, se ignoran deslizamientos, se tiene lo siguiente:

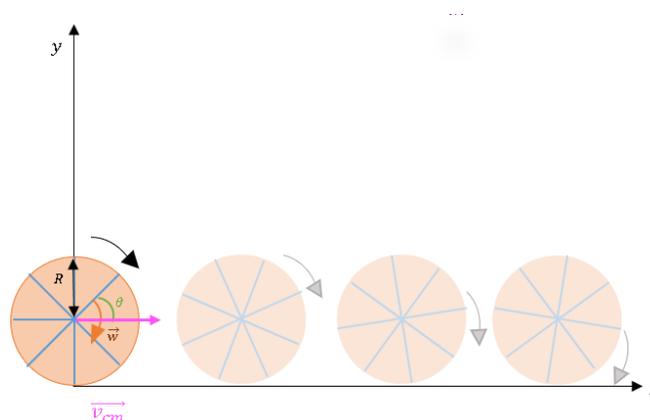


Figura 5. Rodadura: movimiento de rotación y traslación de un disco

Donde:

v_{cm}	Velocidad del centro de masa
w	Velocidad angular
R	Radio del disco
θ	Ángulo barrido

Tabla 3. Descripción de la figura 5

Teniendo en cuenta esta situación se puede identificar lo siguiente:

- ✓ Sistema: Disco, superficie con fricción por rodadura.
- ✓ Estado: El estado del disco en cuanto a su posición se puede conocer por medio de la segunda ley de Newton para la traslación del centro de masa y la rotación de las partículas que componen el objeto; las ecuaciones que describen esta dinámica son las siguientes (para ver la deducción diríjase al Anexo B):

$$x = v_{0x}t + x_0 \quad \gamma \quad \theta = w_t t + \theta_0$$

- ✓ Superposición: Es la combinación del movimiento de rotación en el eje del disco con el de traslación en el eje x dando resultado otro movimiento, el de rodadura, con una percepción diferente. Al medir la posición y velocidad en un instante, el movimiento sigue estando compuesto por ambas dinámicas.

La superposición se puede analizar desde las coordenadas (x_0, y_0) de un punto P del disco a lo largo del movimiento (ver figura 6):

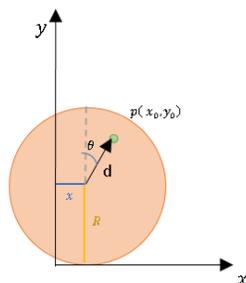


Figura 6. Análisis de la dinámica de un punto P ubicado en el disco

$$x_0 = vt + d\text{Sen}(wt) \quad y \quad y_0 = R + d\text{cos}(wt)$$

Como se puede observar, en las ecuaciones anteriores se tiene la superposición de las dinámicas para describir la posición de un punto P en cualquier momento, pues se evidencia la relación que tienen ambos movimientos (rotación y traslación) en dichas ecuaciones.

2.3 PERSPECTIVA CUÁNTICA

2.3.1 EL CONCEPTO DE SISTEMA CUÁNTICO

La mecánica cuántica tiene como objeto de estudio los sistemas *microscópicos*. De acuerdo con esto, los sistemas cuánticos tienen como dominio la escala atómica, por esta razón, pueden ser cualquier partícula elemental, moléculas⁵ o átomos (Malaver, 2016), ya sea en interacción con otra partícula o en general, con un potencial y otros objetos (detectores, rendijas, polarizadores, etc.). Así como en la perspectiva clásica, existe una frontera que delimita el sistema para facilitar su estudio.

⁵ El modelo de gas ideal también se compone de partículas o moléculas. Sin embargo, este es un modelo clásico que se puede estudiar con las leyes de Newton. En este caso la dificultad del estudio radica en el alto número de partículas, no en su tamaño, y sigue teniendo características de un sistema clásico.

Por ejemplo, la partícula *fotón* en interacción con un *polarizador* y una *pantalla* la cual hace la función de detectar los fotones polarizados en direcciones específicas, da como resultado el sistema *fotón-polarizador-pantalla* (Figura 7), con el cual se puede analizar el fenómeno de polarización de la luz.

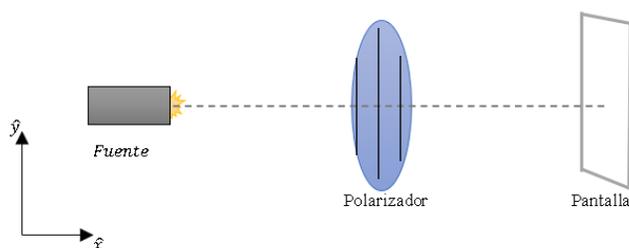


Figura 7. Esquema representativo de la polarización de fotones. Se encuentra una fuente de fotones, un polarizador (en este caso está orientado de manera vertical) y una pantalla.

. De la misma manera, se puede encontrar un *fotón* en interacción con un *divisor* y un *detector* en el sistema *fotón-divisor-detector* (Figura 8) para estudiar el comportamiento del fotón con estos objetos.

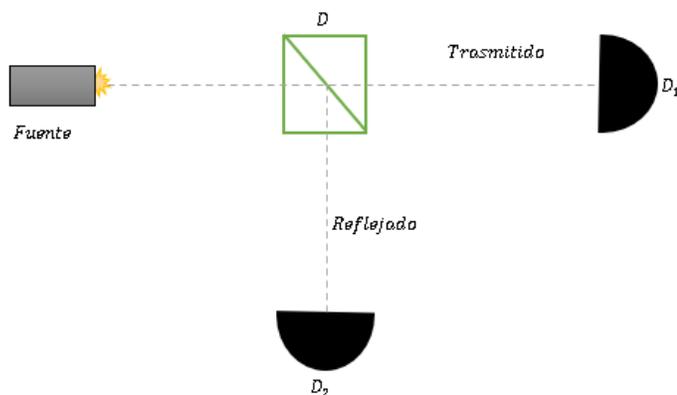


Figura 8. Esquema representativo del divisor de haces, la fuente es de fotones, D es el divisor, mientras que D_1 y D_2 son los detectores que registran la llegada de los fotones.

Estos ejemplos se resumen en la tabla 4, donde se especifica la partícula, los objetos con los que interacciona y el fenómeno que se puede estudiar.

Partícula	Objetos con los que se encuentra en interacción	Fenómeno
Fotón	Polarizador, pantalla	- Polarización de fotones
Fotón	Divisor, detector	- Divisor de haces

Tabla 4. Ejemplos de sistemas cuánticos

2.3.2 EL CONCEPTO DE ESTADO CUÁNTICO

Un estado cuántico es la descripción de un sistema cuántico en un determinado instante, la cual se realiza a partir de las diferentes formas en las que puede comportarse dicho sistema con respecto a una propiedad específica, como, por ejemplo, en el sistema *fotón-divisor-detector*, el estado del fotón ⁶ puede ser definido en términos de las posibilidades que tiene de comportarse de acuerdo con la propiedad de división, es decir, ser transmitido o reflejado por un divisor de haces (espejo semitransparente), otro ejemplo es el sistema *fotón-polarizador-detector*, pues su estado se puede establecer a partir del comportamiento del fotón en cuanto a las posibilidades de encontrarse en una dirección de polarización (propiedad).

A diferencia del estado clásico, el estado cuántico no puede ser determinado con absoluta precisión por medio de las variables dinámicas de posición y momento (Malaver, 2016), esto se debe al principio de incertidumbre de Heisenberg, el cual menciona que si se conoce de forma muy precisa la posición de una partícula no se podrá conocer de forma puntual su velocidad (y viceversa), por lo tanto, el estado en cuanto a la posición y momento si puede ser determinado, pero con una incertidumbre. Es necesario resaltar que este resultado no viene dado por un margen de error en la medición del observador y sus técnicas, sino es un aspecto intrínseco en la naturaleza del sistema, es decir, aun con instrumentos ideales no es posible determinar de manera simultánea la posición y la velocidad, de tal manera que entre más se ajusta una práctica para

⁶ En la práctica lo que se tiene es un haz de fotones, sin embargo, para propósitos explicativos se considera un solo fotón en este fenómeno.

establecer la velocidad, “más se sacrifica la habilidad de determinar x ” (Eisberg, Resnick, y Araiza, 1978, p.92).

Lo anterior lleva a afirmar que no es posible conocer un estado posterior a uno conocido en de forma determinista⁷, es decir, no es posible predecir el estado específico futuro de un sistema con las condiciones iniciales establecidas. Por ejemplo, el fenómeno *divisor de haces* (figura 8) que consiste en hacer pasar un haz de fotones por un divisor, donde el fotón puede pasar el divisor (transmitirse) o desviar su dirección (reflejarse).

El estado del fotón en cuanto a su comportamiento con respecto a la propiedad de división antes y después de pasar por el divisor se puede describir de la siguiente manera⁸:

- Caso 1: Cuando el detector D_1 se ilumina quiere decir que el fotón que salió de la fuente pasó por el divisor y su estado es *transmitido*. Lo anterior se puede afirmar debido a que en el detector D_2 no hubo ninguna iluminación, por esta razón, el estado del fotón se puede escribir de la siguiente manera:

$$\textit{Transmitido} = |T\rangle$$

- Caso 2: Cuando el detector D_2 se ilumina quiere decir que el fotón que salió de la fuente pasó por el divisor y su estado luego de esto es *reflejado*. Por esta razón, el estado del fotón se puede escribir de la siguiente manera:

$$\textit{Reflejado} = |R\rangle$$

⁷ No se puede predecir cuál de las posibilidades tomará el sistema, no obstante, las probabilidades si son exactas.

⁸ La notación matemática mediante la cual se simbolizan los estados en este apartado es la notación de Dirac. En dicha notación, por ejemplo, el símbolo $|\varphi\rangle$ se denomina Ket y $\langle\varphi|$ se denomina Bra. En esos términos, por ejemplo, la expresión (Bra-Ket) de $\langle\varphi|\theta\rangle$ significa la amplitud de probabilidad de que el estado θ colapse en el estado φ .

Esto quiere decir que el estado inicial del fotón antes de ser observado por el divisor es transmitido+reflejado⁹, luego de pasar por el divisor el fotón queda en estado transmitido o reflejado, por lo tanto, el sistema para un estado inicial admite más de una evolución posible, y no se puede predecir con certeza¹⁰ en cuál de los dos quedará teniendo en cuenta su estado inicial.

De acuerdo con lo anterior, no es posible utilizar las ecuaciones clásicas como la segunda ley de Newton para describir el sistema, debido a que este no se puede definir a través de sus propiedades (la posición y velocidad) con certeza, sino desde los comportamientos del sistema (ej: transmitido, reflejado, etc.). En este caso, “la teoría no nos permite, en general, calcular más que la probabilidad de obtener un resultado particular al hacer la observación” (Dirac, 1967, p. 18). Es decir, no se puede afirmar que el sistema luego de la observación se va a encontrar en un determinado estado, sino solo se tiene la probabilidad de que se encuentre en dicho estado, la cual se puede describir desde la notación Dirac. Cabe resaltar que la suma de las probabilidades de que el sistema se encuentre en todos los estados posibles es igual a 1.

2.3.3 EL CONCEPTO DE SUPERPOSICIÓN CUÁNTICA

Matemáticamente, la superposición en QM es la combinación lineal de los vectores que pertenecen a todos los estados en los que se puede encontrar un sistema, lo cual conlleva a que físicamente represente que el estado del sistema sea la simultaneidad de todos sus posibles comportamientos con respecto a una propiedad, sin que estos pierdan su identidad, es decir, los estados no pueden interferir entre ellos. Cabe resaltar que la superposición tiene lugar siempre y cuando el sistema no sea observado.

⁹ Esta relación entre los estados se profundiza en el apartado “2.3.3 el concepto de superposición”

¹⁰ No se puede predecir cuál de las posibilidades tomará el sistema, no obstante, las probabilidades si son exactas.

Por esta razón, la superposición en QM hace referencia a la relación que existe entre los estados que se pueden encontrar con respecto a una propiedad específica (Rozo,2018), como, por ejemplo, en el fenómeno *divisor de haces*, el sistema puede considerarse como el resultado de estar simultáneamente en el estado transmitido y reflejado antes de pasar por el divisor, el cual tiene el papel del observador. Teniendo en cuenta que es una combinación lineal, de manera general se puede expresar de la siguiente manera:

$$|f\rangle = C_1|T\rangle + C_2|R\rangle$$

Donde $|f\rangle$ es el estado del fotón antes de ser observado y C_1 y C_2 son constantes que al elevar al cuadrado su valor absoluto, da como resultado la probabilidad de que el sistema se encuentre en cada uno de los estados que se superponen (Spinel, 2009). Dichas constantes se pueden encontrar de la siguiente manera:

$$\text{Si } |T\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ y } |R\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ se tiene que } |f\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Teniendo en cuenta que el Ket, debe estar normalizado, pues la probabilidad de que el fotón se encuentre en ambos estados debe ser 1:

$$\langle f|f\rangle = \frac{\langle f|f\rangle}{\sqrt{\langle f|f\rangle}} \text{ con } \langle f|f\rangle = 2$$

Sustituyendo

$$\langle f|f\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|T\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|R\rangle \quad (6)$$

Al elevar el valor absoluto de los coeficientes de cada estado al cuadrado, dan como resultado la probabilidad de que el fotón se encuentre en cada estado respectivamente:

$$P(T) = P(R) = \frac{1}{2}$$

Esta probabilidad también se puede encontrar por medio de los números de eventos favorables (estado del que se quiere analizar la probabilidad), en este caso ya sea el $|T\rangle$ o $|R\rangle$ y los eventos posibles (todos los estados), en este caso $|T\rangle$ y $|R\rangle$:

$$P(T) = \frac{\# \text{ de eventos favorables}}{\# \text{ de eventos posibles}} = \frac{1}{2}$$

La ecuación (6) es la que representa la superposición de estados en el fenómeno de *divisor de haces*, y como se puede observar, es la combinación lineal de todos los posibles estados en los que puede estar el sistema. La diferencia con el contexto clásico es que, al medir el estado general (inicialmente en superposición), el sistema queda en un solo estado de todos los posibles, en otras palabras, colapsa la función de onda, y esto se debe a que la superposición está totalmente relacionada con la idea de que es el observador, quien perturba el sistema, dejándolo en un estado específico (Walteros, 2016).

2.3.4 SISTEMA, ESTADO Y SUPERPOSICIÓN: EL CASO DE LA POLARIZACIÓN DE FOTONES

La polarización en las ondas electromagnéticas hace referencia al fenómeno que “se da cuando el campo eléctrico en su evolución temporal oscila sólo en un plano determinado” (Estrada y del Pilar, 2015), es decir, existe una orientación que predomina en las oscilaciones de dicho campo, en el caso contrario, cuando un haz de luz no tiene dicha dirección preferencial se dice que no está polarizada.

Existen diferentes tipos de polarizaciones como las elípticas, circulares y lineales, estas últimas son de interés en el presente trabajo debido a que son el caso más simple para abordar una aproximación al fenómeno. Un ejemplo de una onda electromagnética polarizada de manera lineal se puede observar en la figura 9, en donde la polarización se define en la dirección vertical.

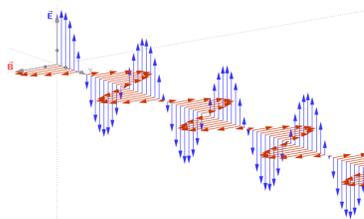


Figura 9. Onda electromagnética. Fuente: Martínez (s.f.)

Debido a que la luz polarizada se utiliza para expulsar fotoelectrones (electrones expulsados a causa de la interacción con fotones) se obtiene que la emisión de estos tiene una dirección determinada, por lo tanto, “las propiedades de polarización de la luz están íntimamente relacionadas con sus propiedades corpusculares y así se debe atribuir una polarización a los fotones” (Dirac, 1967, p.18). Así, en una interacción *fotón-polarizador*, solo atraviesan aquellos fotones que se encuentran polarizados en dirección paralela al eje de polarización, mientras que los que están polarizados en otras direcciones son absorbidos. En la Figura 10 se encuentran los casos más generales, en los cuales solo se presentan polarizaciones verticales y horizontales, sin embargo, cabe resaltar que también es posible polarizar la luz en cualquier ángulo determinado.

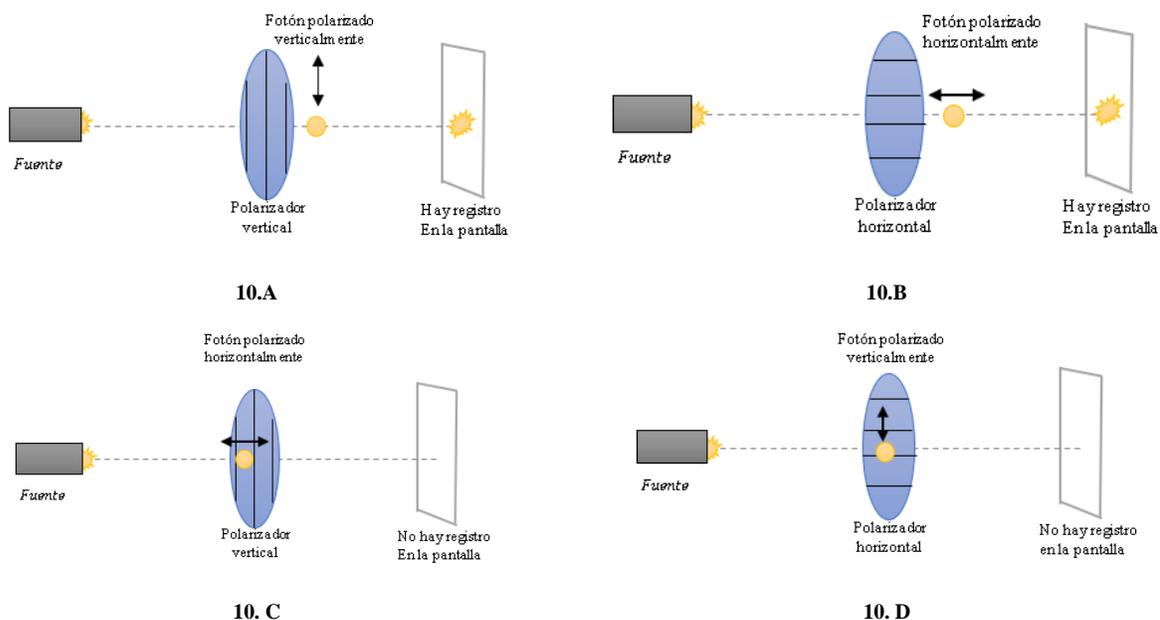


Figura 10. Esquemas representativos de algunos casos de polarización. En A) y B) se puede observar que, si el estado del fotón coincide con la orientación del polarizador, la pantalla su llegada Mientras que en C) y D) se evidencia que, al no tener las mismas orientaciones, el fotón llega al polarizador, es absorbido por este y no llega a la pantalla.

Teniendo en cuenta este fenómeno, se puede identificar lo siguiente:

- ✓ Sistema: Linterna, fotón, polarizador, pantalla
- ✓ Estado: El estado del fotón en cuanto a su comportamiento de polarización antes y después de pasar por el polarizador, se puede definir por medio de probabilidades con la notación Dirac. Para esto se abordarán los siguientes casos:

1. Cuando el polarizador está orientado de manera vertical: Si el fotón que llega a él, lo pasa sin problema hasta ubicarse en la pantalla iluminándola, se afirma que el fotón está en un estado de polarización vertical (Figura 10.A):

$$\text{Polarización vertical} = |y\rangle$$

2. Cuando el polarizador está orientado de manera horizontal: Si el fotón que llega a él, lo pasa sin problema hasta ubicarse en la pantalla iluminándola, se afirma que el fotón está en un estado de polarización horizontal (Figura 10.B):

$$\text{Polarización horizontal} = |x\rangle$$

- ✓ Superposición: En este fenómeno, antes de que el fotón llegue al polarizador, es decir, al observador, no es posible determinar en qué estado de polarización específico se encuentra, lo que sí se puede afirmar es la probabilidad que tiene el fotón de estar en ambos estados:

Inicialmente se tiene que el Ket $|f\rangle$, el cual representa el estado del fotón antes de pasar por el polarizador está en la superposición:

$$|f\rangle = |x\rangle + |y\rangle$$

Si $|x\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ y $|y\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, se tiene

$$|f\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Y teniendo en cuenta que el Ket, debe estar normalizado para determinar la probabilidad:

$$(13) \quad ||f\rangle| = \frac{|f\rangle}{\sqrt{\langle f|f\rangle}}$$

$$\langle f|f\rangle = [1 \quad 1] \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 2$$

Sustituyendo en (13)

$$||f\rangle| = \frac{1}{\sqrt{2}}|x\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|y\rangle$$

Al elevar el valor absoluto de los coeficientes de cada estado al cuadrado, dan como resultado la probabilidad de que el fotón se encuentre en cada estado respectivamente:

$$P(x) = P(y) = \frac{1}{2}$$

Antes de ser observado, el fotón se encuentra simultáneamente en ambos estados, pero al momento de pasar por el polarizador, este lo perturba de tal manera que el fotón queda solo en uno de los dos estados.

Los fenómenos analizados en el apartado 2.2 y 2.3 fueron seleccionados debido a que presentan un nivel de complejidad bajo para ser llevados al aula como aproximación a los conceptos de sistema, estado y superposición. Para el caso de la MC, son fenómenos que los estudiantes han observado de manera aproximada, ya sea jugando baloncesto (tiro parabólico) o jugando con discos (rodadura), y para la QM, los fenómenos se han escogido de tal manera que

se puedan describir de manera sencilla a través de la notación Dirac con el fin de evitar expresiones de matemáticas complejas, asimismo, son asociados al comportamiento corpuscular de la luz, lo cual permite ampliar la visión que tiene el estudiante frente a su naturaleza, donde también pueden tener una experiencia aproximada, por ejemplo, con gafas 3D (polarización de fotones) o elementos que funcionen como espejo semitransparente (divisor de haces).

2.4 MATERIALES EDUCATIVOS COMPUTARIZADOS Y LAS SECUENCIAS

DIDACTICAS

2.4.1 MATERIALES EDUCATIVOS COMPUTARIZADOS

Los materiales educativos computarizados (MEC), son alternativas y recursos educativos en forma digital, pues “son aplicaciones que apoyan directamente los procesos de enseñanza-aprendizaje” (Galvis, 1992, pp.38- 39), donde el usuario puede tener experiencias educativas que son dirigidas por los objetivos planteados antes de desarrollar dicha aplicación. Los MEC tienen como fin abordar una necesidad educativa específica (Palomares y Villarreal, 2008).

Según Dwyer (1974) citado en Galvis (1992) existen dos tipos de MEC dependiendo del enfoque educativo:

1. MEC en el enfoque algorítmico: En el cual el aprendizaje se centra en la transmisión de conocimiento, donde se realiza el diseño de actividades secuenciales para que el estudiante pueda acumular lo que se le transmita sin analizar la información, pues solo es necesario que la repita.

En estos tipos de MEC, el que transmite la información ya no es el docente sino la aplicación, esto quiere decir que “en términos pedagógicos no se cambia el modelo de

transmisión de información por más sofisticado que sea el soporte tecnológico” (Díaz y Pino, 2009).

2. MEC en el enfoque heurístico: En el cual el aprendizaje se centra en la experiencia, pues el estudiante construye su conocimiento desde casos específicos y por descubrimiento a través de la interacción con la aplicación, en este caso, se crean ambientes digitales con situaciones para que el estudiante pueda razonar, analizar y explorar, para que finalmente llegue a sus propias conclusiones, esto quiere decir que el estudiante tiene un rol activo donde su experiencia es el punto de partida de su proceso de aprendizaje.

En este tipo de MEC se encuentran los simuladores, los cuales son micromundos, es decir, son ambientes de aprendizaje en los cuales “los estudiantes manipulan y controlan varios parámetros para explorar sus relaciones” (Flake, McClintock y Turner, 1985 citado en Maldonado, 1992, p.3), a pesar de que estos muestran una simplificación de lo que sucede en la realidad, el estudiante puede comprender características de ciertos fenómenos, en este caso, de la mecánica clásica y cuántica, en los cuales, para esta última se tiene un grado de dificultad si se abordan de manera experimental o netamente teórica debido a su abstracción.

En los simuladores, el papel del estudiante se caracteriza porque interactúa con este tanto como él desee, mientras que el rol del docente es guiarlo y asesorarlo para cumplir los objetivos establecidos.

En el presente trabajo son de interés los MEC de tipo heurístico, debido a que la postura que se tiene del aprendizaje no se centra en la repetición de conceptos, en este caso de sistema,

estado y superposición desde la MC y QM, sino que se propone hacer un tránsito por ambas perspectivas (MC y QM) por medio de la interacción que tenga el estudiante con la aplicación, esto quiere decir que no se concibe al estudiante como un individuo vacío al cual se le debe transmitir el conocimiento como se menciona en el tipo de MEC algorítmico, sino que el estudiante tiene sus propios conocimientos y experiencias, las cuales son el punto de partida para comprender los nuevos conceptos con el uso de la aplicación, como se menciona en el tipo de MEC heurístico.

Los MEC aportan en la enseñanza de conceptos que generalmente son abstractos como en el caso de la física, debido a que permiten realizar representaciones que puedan apoyar la enseñanza de la teoría o fenómenos específicos, sin embargo, en ocasiones “se usan computadoras y otras tecnologías, pero sin instrucciones definidas, objetivos educativos claros y diseño instruccional coherente, lo cual disminuye el potencial que puede tener el recurso” (Morales, 2016, p. 29), por lo tanto, para que el docente pueda guiar al estudiante a que pueda anclar sus conocimientos y experiencias previas con los conceptos nuevos, se debe proponer una serie de actividades¹¹ intencionadas, que respondan de manera coherente con este objetivo.

2.4.2 LAS SECUENCIAS DIDÁCTICAS

La didáctica se centra en el “diseño de métodos y estrategias para generar en el estudiante procesos de pensamiento que le permitan un mejor acercamiento” (Ubaque, 2009) a un tópico general, ahora bien, haciendo un énfasis en la física, en este caso, indica el modo de aproximar al estudiante a una teoría o fenómeno específico con el fin de transformar sus ideas, para que cada

¹¹ Las actividades propuestas para este trabajo específico se presentarán en el capítulo 3

vez sean más pertinentes en la explicación y comprensión de lo que sucede en el mundo físico que lo rodea y de esta manera, le encuentre un sentido.

Con el fin de abordar lo plasmado anteriormente de manera asertiva, dentro de los procesos didácticos de la física se encuentra el uso del experimento como herramienta para construir el conocimiento (Cruz y espinoza, 2012), puesto que permite ser un apoyo para que el estudiante desarrolle habilidades con las que pueda describir el fenómeno de forma argumentativa. Según Cruz y espinoza (2012), existen tres tipos de experimentos:

- 1) Reales: Se refieren a la interacción directa con manipulación de instrumentos tangibles, por lo tanto, el estudiante puede relacionarse con los diferentes elementos realizando mediciones.
- 2) Mentales: Consiste en una construcción de un evento desde la imaginación con ciertas condiciones, esto se realiza principalmente en casos en los cuales hay situaciones que son difíciles de realizar en un laboratorio.
- 3) Simulaciones: Se basa en el uso de software sin instrumentos de laboratorio tangibles, estos tipos de experimentos ofrecen alternativas de apoyo para que el docente pueda enseñar situaciones de una manera más explícita.

El presente estudio se centra en los experimentos de tipo simulación, puesto que uno de los métodos para acercar al estudiante a conceptos de física es por medio del uso de MEC, debido a que con el acceso “cada vez más frecuente de equipos tecnológicos, software de simulación, sistemas de adquisición de datos, video y el internet, han abierto más oportunidades para que el estudiante aprenda” (Valle, Contreras, Rivero, Torres, Pedraza y Bermúdez, 2020, p. 41) y como se ha mencionado en apartados anteriores, estos materiales tienen la ventaja de generar representaciones para abordar temáticas que generalmente son abstractas, las cuales se

omiten en educación básica o media con este argumento. Sin embargo, es claro que un material tecnológico por sí solo no logra concretar este objetivo, por lo tanto, se hace necesario abordar aspectos didácticos pertinentes para que el impacto sea positivo (Cruz y Espinosa, 2012).

De acuerdo a lo anterior, las secuencias didácticas son un elemento importante a la hora de abordar un MEC debido a que son “una organización de las actividades de aprendizaje que se realizarán con los alumnos y para los alumnos con la finalidad de crear situaciones que les permitan desarrollar un aprendizaje significativo” (Díaz, 2013, p.1), donde dichas actividades están relacionadas de manera interna e intencional, es decir, hay una ruta de trabajo de manera jerárquica y secuencial (Carmona, 2017) desde lo que el estudiante conoce, hasta el nuevo conocimiento, de manera que este proceso se lleve a cabo a través de dicha ruta.

En el diseño de las secuencias didácticas se encuentran 3 fases diferentes (Reyes, 2012), las cuales hacen referencia a las actividades de aprendizaje: 1) Actividades de apertura: dirigidas a generar motivación y expectativas, 2) Actividades de desarrollo: orientadas a enriquecer y/o replantear las ideas iniciales y 3) Actividades de cierre: encaminadas a realizar una síntesis y retroalimentación. Para cada una de estas fases se relaciona la evaluación, debido a que son procesos que están profundamente enlazados (Díaz, 2013) y no se deben abordar de manera separada, por lo tanto, se pueden plantear 3 tipos de evaluación: 1) Diagnóstica: permite conocer el punto de partida de los estudiantes, 2) Formativa: brinda información sobre cómo el estudiante interpreta los nuevos conceptos a lo largo de todo el proceso de enseñanza y aprendizaje 3) Sumativa: obtiene información final del proceso y permite retroalimentar lo visto en los momentos anteriores.

Como se puede evidenciar, tanto las diferentes actividades de aprendizaje (fases) como los tipos evaluación, tienen distintos objetivos, los cuales se deben especificar en el momento de

la planeación de la secuencia didáctica. El planteamiento de estos tres elementos (incluyendo los recursos y materiales para las actividades y evaluaciones) de una forma coherente con el objetivo general de la secuencia didáctica conlleva a una propuesta pertinente. La tabla 5 muestra la relación entre las fases, los objetivos y la evaluación en la presente investigación.

Fases	Objetivo	Evaluación
Apertura	Mostrar de manera introductoria el tema mediante un recurso escrito para generar interés sobre el objeto de estudio de la MC y QM en términos de escala.	Diagnóstica
Desarrollo	Enlazar los conocimientos previos por medio de la interacción del estudiante con las simulaciones y actividades plasmadas en el micromundo junto a su socialización.	Formativa
Cierre	Integrar las temáticas vistas de manera que el estudiante pueda hacer una síntesis de los conocimientos nuevos que construyó sobre la MC y QM, respondiendo a nuevas situaciones con su respectiva retroalimentación.	Sumativa

Tabla 5. Elementos de la secuencia didáctica en la presente investigación

Los elementos presentados en el apartado 2.4 son una guía para abordar los conceptos que se plantean en esta investigación, debido a que desde los MEC se evidencia la importancia de la interacción del estudiante con el micromundo y las ventajas que estos tienen cuando se abordan conceptos o situaciones que generalmente se consideran complejas como en el caso de la física, mientras que el abordaje de las secuencias didácticas brinda una orientación para la construcción del material didáctico con el fin de que el estudiante se aproxime al mundo físico que lo rodea de manera más amplia desde la MC y QM.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente propuesta se desarrolló a través del enfoque mixto, debido a que se puede recoger y analizar información de forma cualitativa y cuantitativa. Por lo tanto, se tiene un panorama más amplio del problema de estudio (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014). En la investigación mixta se encuentran dos diseños generales, 1) Secuenciales: aquellos en los cuales se utiliza primero un enfoque (cuantitativo o cualitativo) y luego el otro (cualitativo o cuantitativo) y 2) Concurrentes: en los cuales se aplican los dos a la vez (cuantitativo + cualitativo).

El diseño general que guiará el presente trabajo es el concurrente, específicamente el de triangulación, denominado *Diseño de triangulación concurrente (DITRIAC)*, debido a que el propósito de este estudio es desarrollar un material didáctico para la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM dirigido a estudiantes de grado octavo por medio de un micromundo. Para la rama cuantitativa se pretende encontrar una tendencia en las actitudes de los expertos¹² frente al recurso didáctico desarrollado, específicamente sobre el contenido, área instruccional y plataforma computacional, mediante la recolección y el análisis de datos utilizando una escala Likert¹³. El instrumento concreto es una encuesta con una escala de satisfacción.

Para la rama cualitativa se pretende identificar los elementos importantes dados por los expertos desde sus experiencias para mejorar el material didáctico desarrollado a través de la recolección y análisis de sus percepciones frente a la propuesta, mediante una matriz de

¹² Debido a que el propósito de la investigación es diseñar el material didáctico para apoyar la enseñanza, la validación fue realizada por expertos, es decir, docentes que han tenido alguna experiencia con grado octavo.

¹³ Este instrumento se profundizará en el apartado 3.3

validación sobre el contenido, área instruccional y plataforma computacional (este instrumento se profundizará en el apartado 3.3).

La manera en la cual se analizarán estos tipos de resultados (cualitativos y cuantitativos) será de manera separada, y posterior a esto, se realizará una triangulación, es decir, un análisis cruzado entre datos cuantitativos y cualitativos por medio de comparaciones e interpretaciones (sobre el contenido, área instruccional y plataforma computacional), en donde “se incluyen los resultados estadísticos de cada variable o hipótesis cuantitativa, seguidos por categorías y segmentos (citas) cualitativos” (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014, p.557).

3.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para efectos del presente estudio y con la finalidad máxima de mantener un proceso riguroso, se plantean cuatro fases que guiarán el desarrollo de la investigación distribuidas a lo largo de 12 meses. La ruta que se establece es la siguiente:

Fase 1: Análisis epistemológico: Indagación de material bibliográfico alrededor de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM, incluyendo la búsqueda de fenómenos con los que se puedan evidenciar dichos conceptos.

Fase 2: Diseño:

- Diseño y construcción del micromundo
- Diseño de la secuencia didáctica
- Diseño de la prueba validación del micromundo

Fase 3: Ejecución:

- Validación del micromundo con expertos

Fase 4: Evaluación:

- Análisis de los resultados de la prueba de validación del micromundo.
- Conclusiones.

3.3 MATERIAL DIDÁCTICO: MICROMUNDO “*CONOCE MÁS EL MUNDO FÍSICO QUE TE RODEA*”

Para desarrollar el micromundo se abordó la metodología propuesta por Quintero, Luque, González y Portillo (2005), la cual consiste en las 5 etapas que se muestran en la Figura 11:

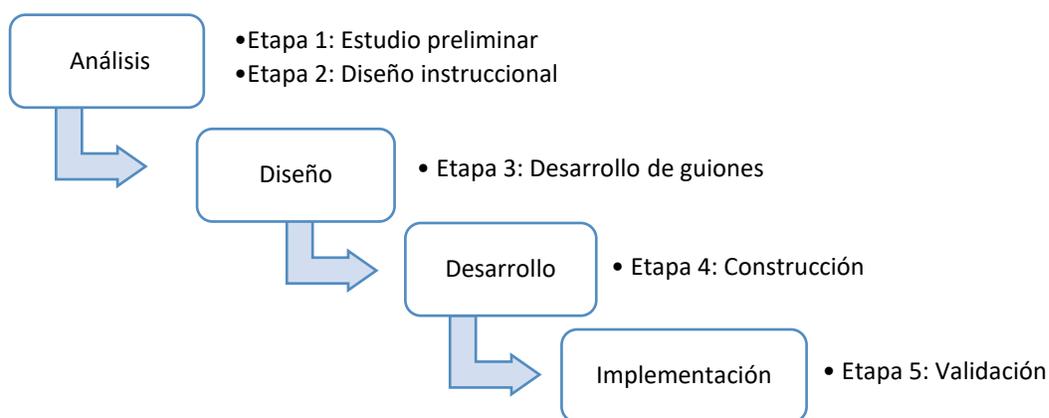


Figura 11. Etapas construcción del micromundo

Las dos primeras etapas hacen parte del *Análisis*: la primera hace referencia a un estudio preliminar, el cual consiste en identificar la necesidad educativa evidenciando la pertinencia de la creación de un software educativo, en este caso, del micromundo; en la segunda se encuentra el diseño instruccional, en esta etapa se busca establecer los objetivos secuenciales (instruccionales) que el estudiante debe cumplir para llegar al objetivo final por el cual se va a construir el micromundo junto a su evaluación.

Luego de haber culminado lo anterior, se procede a realizar el *Diseño*, donde se realizan los guiones (etapa 3), es decir, el contenido, diseño de pantallas y elementos didácticos a considerar. Posterior a esto, se efectúa el *Desarrollo*, abordando la etapa 4 de construcción, acá

se realiza el mapa de navegación, donde se grafican las relaciones entre los contenidos de las pantallas u otros elementos con el fin de obtener una guía para empezar a programar.

Finalmente se encuentra la *implementación*, en la cual se encuentra la etapa 5 titulada “Validación”, que consiste en la evaluación de expertos y/o pruebas piloto antes de llevarla a el aula. Para este proceso se consideran los siguientes criterios a ser evaluados:

- **Contenidos:** hace referencia al área de estudio al cual va orientado el micromundo.
- **Área instruccional:** hace referencia a cómo se abordan los contenidos para cumplir los objetivos propuestos.
- **Plataforma computacional:** hace referencia a la interfaz gráfica de usuario (medio de interacción visual) con el micromundo.

En la siguiente tabla se detalla el proceso de desarrollo de cada una de las etapas para construir el micromundo “*Conoce más el mundo físico que te rodea*”

Etapa	Desarrollo
Estudio preliminar	Esta etapa fue desarrollada en el CAPÍTULO I del presente documento, donde se pudo identificar que los estudiantes de grado octavo (13 a 15 años) no abordaban temáticas de física porque existe el ideal de que es compleja para ellos, lo cual genera un currículo limitado de esta asignatura, de tal manera que no solo no se aborda la física clásica sino que también se excluye de manera automática el estudio de la física moderna como es el caso de la QM. Asimismo, la manera de enseñar ciencias en la institución se centra en la teoría y experimentación, lo que a su vez, conlleva a omitir la enseñanza de la QM debido a su alta complejidad experimental, sin embargo, se proponen alternativas como el micromundo, aprovechando los recursos de cómputo que tiene la institución y que no se han utilizado para este fin.
Diseño Instruccional	Esta etapa se desarrolló mediante el diagrama de análisis de tareas dadas por Galvis (1992), el cual es un método para determinar los objetivos que se plantean en el software educativo de manera secuencial, es decir, se tiene como partida el <i>objetivo dominado</i> por los estudiantes antes de utilizar el micromundo, para abordar la secuencia (instrucción) y así llegar al <i>objetivo terminal o final</i> . Para el presente trabajo este esquema se encuentra en el Anexo C, la secuencia que se plantea parte de la perspectiva clásica, debido a que es la más cercana al

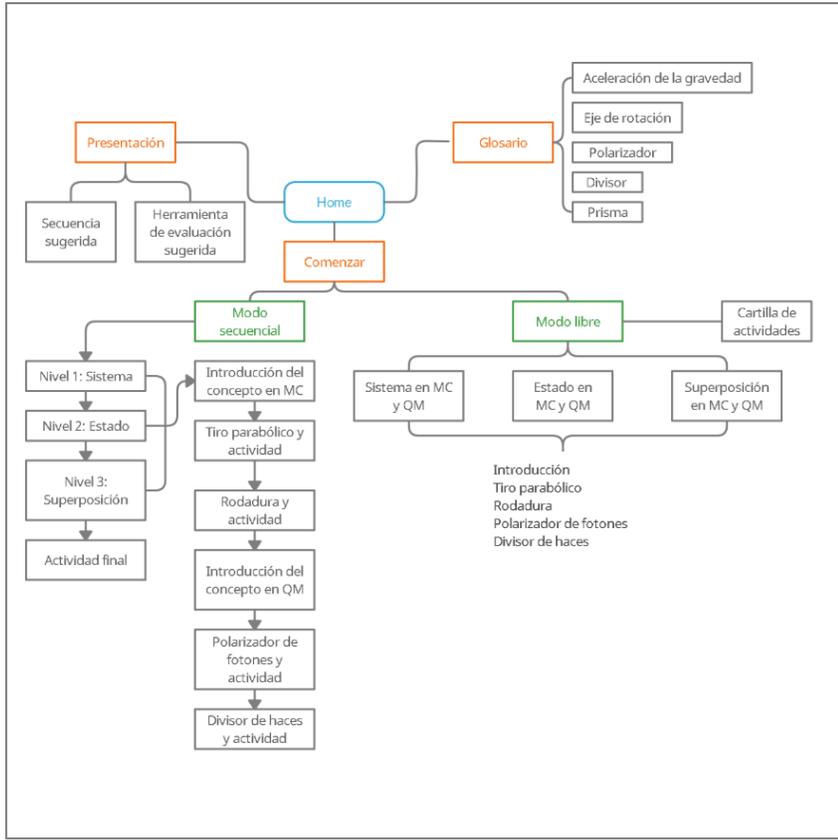
	<p>estudiante para luego, abarcar la perspectiva cuántica, la cual es menos intuitiva pero que se puede comparar con la anterior.</p> <p>Basándose en dicho esquema se empezó a realizar la rúbrica de evaluación (la cual se culminó en la etapa de construcción) para los objetivos planteados.</p>
<p>Desarrollo de guiones</p>	<p>Esta etapa se desarrolló a partir del CAPÍTULO II del presente documento, donde se realizó el análisis de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM, y algunos fenómenos específicos para abordarlos, como es el tiro parabólico, rodadura, polarizador de fotones y divisor de haces.</p> <p>Por esta razón, se diseñaron 12 simulaciones, una por cada fenómeno enfocado en cada concepto. Por ejemplo: la primera simulación de tiro parabólico está dirigida a abordar el concepto de sistema, la segunda al estado y la tercera a la superposición, de la misma manera ocurre con los demás fenómenos.</p> <p>Con el contenido definido se procedió a establecer el diseño de pantallas, creando un prototipo de la interfaz gráfica de usuario, donde se definían las variables y la interacción interfaz-usuario con las simulaciones.</p> <p>Este prototipo fue la base para la construcción de la secuencia de enseñanza y las actividades sugeridas para cumplir los objetivos propuestos en la etapa anterior, la secuencia sugerida y la cartilla de actividades se encuentran en el Anexo D y E respectivamente.</p> <p>En esta etapa se le dio continuidad a la rúbrica de evaluación</p>
<p>Construcción</p>	<p>Se desarrolló el mapa de navegación que se puede ver en la figura 12.</p> 

Figura 12. Mapa de navegación del micromundo "conoce más el mundo físico que te rodea"

	<p>Este mapa sirvió como guía para la programación, la cual se realizó en Visual Basic, generando un ejecutable para el sistema operativo Windows de la versión 7 en adelante.</p> <p>El micromundo finalizado se puede descargar por medio del siguiente link: https://acortar.link/pjBJYZ y algunas imágenes de éste se encuentran en el Anexo F.</p> <p>En esta etapa se finalizó la construcción de la rúbrica de evaluación que se puede encontrar en el Anexo G.</p>
Validación	<p>En esta etapa se construyó una rúbrica de validación (Ver tabla 7) teniendo en cuenta los contenidos, el área instruccional y la plataforma computacional. Estos tres criterios se organizaron para ser evaluados en una escala Likert y se propuso un espacio abierto (matriz de validación) donde los evaluadores redactaron sus observaciones sobre cada criterio y el micromundo en general.</p>

Tabla 6. Metodología para el desarrollo del micromundo

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		ESCALA DE VALORACIÓN					Observaciones
		TD*	ED*	NAN D*	DA*	TA*	
CONTENIDOS	La descripción de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica presentados son correctos						
	Las simulaciones muestran de manera adecuada los fenómenos (tiro parabólico, rodadura, polarizador de fotones y divisor de haces).						
	Los fenómenos (tiro parabólico, rodadura, polarizador de fotones y divisor de haces) abordados en las simulaciones muestran de manera pertinente los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica manera respectiva.						
ÁREA INSTRUCCIONAL	La secuencia del contenido que se presenta en el micromundo (en el botón "Modo secuencial") es pertinente para abordar los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica.						
	La secuencia de actividades que se presenta en la cartilla del micromundo que se encuentra en la página "modo libre" en el botón "cartilla de actividades" es pertinente para abordar los conceptos.						
	Los conceptos se muestran de manera adecuada para estudiantes de grado octavo.						
PLATAFORMA COMPUTACIONAL	El micromundo permite que el usuario interactúe lo suficiente para aproximarse a los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica.						
	El micromundo presenta los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica de manera creativa.						
	El micromundo es fácil de utilizar						
	La interacción con el micromundo es fluida, es decir, se desarrolla sin interrupciones.						
	El diseño en general (botones, etiquetas de texto, imágenes, colores, etc.) es apropiado						

Tabla 7. Rúbrica de validación por expertos. Las siglas presentadas son las siguientes: TD: Totalmente en desacuerdo, ED: En desacuerdo, NAND: Ni de acuerdo ni en desacuerdo, DA: De acuerdo y TA: totalmente de acuerdo.

3.4 VALIDACIÓN POR EXPERTOS

Para llevar a cabo la validación del micromundo, se designó que la población objetivo está compuesta por expertos, los cuales son docentes de física de educación básica y media en ejercicio. La selección de la muestra se realizó a través de un muestreo por conveniencia, es decir, “se escogieron los casos más disponibles para su acceso” (Alfonso y Casallas, 2020, p.32). En este caso, para la prueba, la muestra estuvo conformada por 4 maestros ubicados en la ciudad de Bogotá y el municipio de Soacha.

3.4.1 PROCEDIMIENTO

El contacto con los docentes pertenecientes a la muestra se realizó vía correo electrónico en el cual se compartió el instructivo de descarga y la rúbrica de validación (ver tabla 7), la cual integra en un mismo instrumento de recolección de datos la escala Likert y la matriz de validación con espacios abiertos para las recomendaciones y observaciones en cada uno de los criterios (contenido, área instruccional y plataforma computacional) y en el micromundo en general. El canal de comunicación se mantuvo abierto para resolver dudas o inquietudes que pudieran emerger en el proceso.

La recolección de la información de la rúbrica de validación se realizó vía correo electrónico, la cual fue codificada de manera numérica (1: totalmente en desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4: de acuerdo y 5: totalmente de acuerdo) y se realizó el análisis textual, permitiendo la triangulación en los datos como se puede observar en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados derivados del proceso investigativo, describiendo las actitudes de los expertos frente al micromundo realizado y los elementos a mejorar o tener en cuenta de acuerdo con cada criterio establecido en la rúbrica de validación (Tabla 7). Debido a que es una escala Likert, se analizó mediante el promedio de puntuaciones obtenidas, donde la valoración más baja es “totalmente en desacuerdo” con un puntaje de 1 y la más alta es “totalmente de acuerdo” con un puntaje de 5. Cabe resaltar que también se realizó un análisis en la confiabilidad del instrumento por medio del alfa de Cronbach, el cual es un método que tiene como fin validar la consistencia interna de los ítems que se presentan en la rúbrica, en este caso, se analizó para cada criterio según el rango propuesto por Ruíz (1998) citado en Moreno (2005), obteniendo que para el *contenido* y *área instruccional* hay una confiabilidad alta, mientras que para la *plataforma computacional* esta es moderada (tabla 8), sin embargo, hay que resaltar que otros autores como Herrera (1998) citado en Nina-cuchillo y Nina-cuchillo (2021) consideran que este valor pertenece a una confiabilidad baja.

Criterio	Alfa de Cronbach	Magnitud de confiabilidad
Contenido	0.89	Muy alta
Área instruccional	0.89	Muy alta
Plataforma computacional	0.54	Moderada/baja*

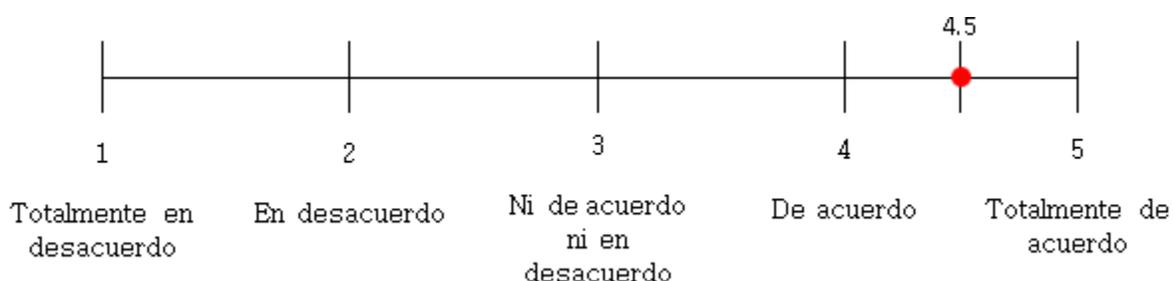
Tabla 8. Análisis de confiabilidad de la rúbrica de validación desde cada criterio.

Es importante hacer énfasis en que el alfa de Cronbach se refiere a la consistencia entre las afirmaciones plasmadas en la escala Likert y no directamente a la apreciación de los expertos hacia el material didáctico desarrollado. Ahora bien, en cuanto al aspecto cualitativo, se hizo un

análisis de las observaciones textuales que dieron los docentes que realizaron la validación, los cuales se denominaran como: Juan, Andrea, David, y Héctor¹⁴.

4.1 CRITERIO: CONTENIDO

En el criterio del contenido, el cual se basa en el aspecto disciplinar y la manera en cómo este se presenta en el micromundo se obtuvo que los docentes evaluadores tienen una actitud positiva¹⁵ frente a este, con un promedio de 4.5 de la puntuación total:



Los contenidos que se encuentran en el micromundo son considerados por los docentes como adecuados, sin embargo, se recomendó trabajar un poco más en los conceptos para “amenizar el entendimiento” como lo menciona el Héctor, es decir, con un vocabulario más cercano al de los estudiantes, asimismo, se identificó una falta de claridad en el contenido de algunas simulaciones, como por ejemplo, desarrollar más el concepto de rodadura debido a que no es claro el papel del rozamiento como lo menciona Andrea, pues comenta que “parece no presentar rozamiento que lo lleve a detenerse en algún momento, sin embargo, sí que lo tiene para cambiar su movimiento”, como también aclarar de manera explícita que el lanzamiento de

¹⁴ Cabe aclarar que estos nombres no corresponden a los de los expertos que realizaron la validación, sino que se utilizan para proteger la identidad de los participantes

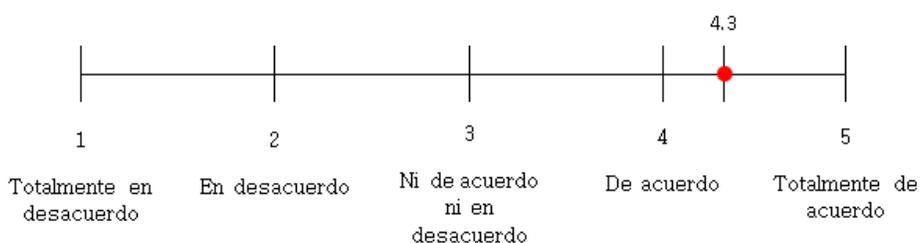
¹⁵ En la escala Likert se ubica la actitud positiva todas las puntuaciones mayores a 3, la actitud negativa las menores a 3, y la neutral las que se posicionan en el 3.

un solo fotón es un experimento mental debido a que lo que sucede en la realidad es un lanzamiento de un cúmulo de fotones.

También se encontró la sugerencia de que se realice una explicación sobre la importancia de abordar estas dos teorías de la física debido a que, como lo menciona Juan, esto le “permite al docente y al estudiante comprender por qué pensar en los 2 momentos”, de la misma manera se sugiere realizar una aclaración de que lo que se expone en el micromundo se extiende a todos los fenómenos de la naturaleza, ya sea desde la perspectiva cuántica o la clásica y que no solo sucede con los que se presentan allí.

4.2 CRITERIO: ÁREA INSTRUCCIONAL

En el criterio del área instruccional, el cual se basa en la secuencia didáctica y la manera en cómo esta aborda los conceptos de sistema, estado y superposición, se obtuvo que los docentes evaluadores tienen una actitud positiva frente a este, con un promedio de 4.3 de la puntuación total:



Se evidenció que la secuencia para abordar los conceptos es coherente para su aprendizaje como lo menciona Héctor “la secuencia está bien pensada para el desarrollo de los conceptos”, sin embargo, hay aspectos de forma que se sugieren modificar, entre ellos como lo menciona Andrea, problemas de ortografía y una actividad que sugiere hacer algo que no está al alcance del estudiante por medio de la simulación, asimismo, Juan recomienda que las

actividades se encuentren en el micromundo y no en ventanas externas debido a que muchas instituciones no cuentan con buen internet y como lo menciona Héctor, el estudiante “pierde un poco la concentración cada vez que se va a revisar la actividad propuesta”.

4.3 CRITERIO: PLATAFORMA COMPUTACIONAL

Debido a que en el criterio de la plataforma computacional se obtuvo un alfa de Cronbach de 0.54 y según Herrera (1988) citado en Nina-cuchillo y Nina-cuchillo (2021), esto significa que se tiene una confiabilidad baja, no es posible realizar un análisis cuantitativo, sin embargo, desde el aspecto cualitativo si se puede abordar, puesto que se realiza de manera textual.

De acuerdo con lo anterior, se puede identificar que la plataforma computacional debe mejorarse a pesar de que se reconocen los beneficios que puede tener, pues según Héctor “la plataforma en general tiene ideas muy creativas, permite la interacción con los diferentes simuladores propuestos, esto permite que el estudiante pueda amenizar los conceptos abordados de mejor manera”. Sin embargo, las recomendaciones dadas por los docentes se centran en que la fluidez de algunas simulaciones no es alta y por lo tanto, pueden surgir interrupciones en el movimiento, por otro lado, haciendo énfasis en simulaciones específicas, se tiene la recomendación que en la simulación del tiro parabólico para el concepto de estado, el micromundo evidencie por medio de texto el momento en el que el balón sale de la pantalla, y para la simulaciones de la mecánica cuántica en el concepto de estado y superposición, se recomienda dar la opción de lanzar fotones de manera continua “para que sea más fluida la interacción y se vea mejor la orientación de cada fotón” (Andrea).

Por otro lado, David menciona que los botones “siguiente (→) y atrás (←)” se pierden en la interfaz, por lo tanto, se sugiere cambiar el color de estos.

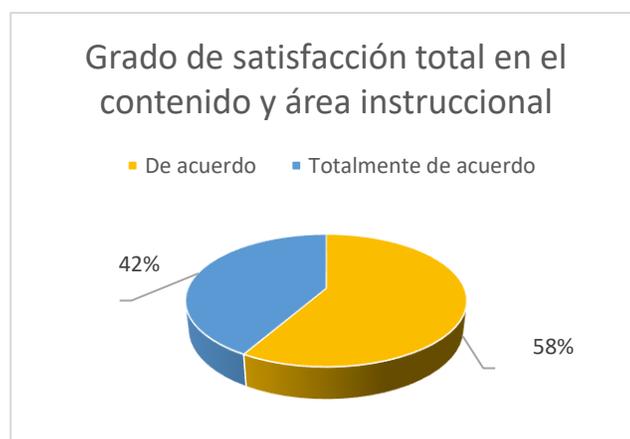
De la misma manera se evidencia que en un principio la ruta de navegabilidad no es clara en el modo secuencial, y para las actividades se recomienda que tengan una retroalimentación al momento de realizarlas, con el fin de que el estudiante conozca su progreso.

4.4 MICROMUNDO EN GENERAL

Las actitudes de los docentes frente al micromundo en el criterio de contenido y área instruccional (debido a que no se puede realizar con el criterio plataforma computacional) se analizaron de manera global con todos sus ítems. De acuerdo con esto, se obtuvo como resultado que hay un 100% de actitud positiva frente a dichos criterios del micromundo, superando la actitud negativa y neutral (ver gráfica 1). De la misma manera, se analizó el grado de satisfacción de los docentes con respecto al criterio de contenido y área instruccional del micromundo, donde se evidenció que no hay actitud desfavorable, pues se encontró un 0% registrado en la valoración “totalmente en desacuerdo”, “en desacuerdo” y “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, mientras que hay un 58% en “de acuerdo” siendo esta el mayor puntaje, seguida de un 42% de “totalmente de acuerdo” (ver gráfica 2).



Gráfica 1. Distribución de frecuencias para los totales de la prueba de validación frente a los criterios: contenido y área instruccional del micromundo.



Gráfica 2. Distribución de frecuencias para los totales de la prueba de validación frente a los criterios: contenido y área instruccional del micromundo.

Como se pudo evidenciar, la actitud de los docentes frente a el contenido y área instruccional del micromundo es positiva, sin embargo, para el criterio de la plataforma computacional se pudo identificar de manera cualitativa la aceptabilidad que se tiene, esto se reafirma con las perspectivas que describieron los docentes, pues Juan recalca que “es una plataforma interesante y con bastante potencial de uso en las instituciones educativas, permite el uso fácil y adecuado para docentes y estudiantes”, o como lo menciona David “la información es adecuada y pertinente”, asimismo, Héctor expresa que “la secuencia de simuladores es pertinente para pensar la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica cuántica, las actividades que se proponen dan una secuencia lógica de los conceptos abordados” y que “las habilidades desarrolladas por la actividad le permiten a los sujetos pensar el mundo cuántico y llevarse una idea de este, junto a un entendimiento de los conceptos bases que se emplean en la teoría cuántica, pero no solo en esta sino también entender que se considera como sistema en la física en general, ya que dicho concepto es la base de toda teoría física.”. Por otro lado, Juan sugiere ampliar el acceso al micromundo en cuanto a la población, es decir que esta no solo este dirigida a estudiantes de grado octavo.

Finalmente, teniendo en cuenta lo presentado en este capítulo, se realiza una síntesis sobre los elementos hallados que se deben tener en cuenta para la construcción de un material didáctico que apoye la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM en estudiantes de grado octavo por medio de un micromundo:

Criterio	Elementos para tener en cuenta
Contenido	<ul style="list-style-type: none"> • Alta claridad conceptual, para describir los conceptos de manera sencilla con el fin de evitar que el estudiante tenga errores conceptuales. • Realizar representaciones debido a que las temáticas abordadas desde la mecánica cuántica son abstractas y esto ameniza su acercamiento.

	<ul style="list-style-type: none"> • El contenido debe ser lo suficientemente explícito, evitando obviar el conocimiento del estudiante. • Registrar de manera explícita la importancia del micromundo para que el usuario le dé un sentido a lo que está aprendiendo. • Mencionar de manera explícita que lo que se presenta en el micromundo se extiende en todo el mundo físico, ya sea desde la perspectiva clásica o cuántica
Área instruccional	<ul style="list-style-type: none"> • Abordar los conceptos de sistema, estado y superposición en ese orden específico, debido a que establece un hilo conductor para acercar al estudiante de manera secuencial. • Garantizar que las actividades que se plantean se puedan abordar con el micromundo. • Garantizar el acceso a las actividades, debido a que si se presentan de forma online se tiene el riesgo de que en ocasiones no se puedan realizar. • Garantizar una retroalimentación al estudiante sobre su avance en el micromundo.
Plataforma computacional	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar las representaciones de los conceptos de manera fluida. • Realizar una ruta de navegabilidad de manera clara dirigida a estudiantes y docentes a modo de introducción. • Tener en cuenta que los objetos de la interfaz no sean opacados por otros y que siempre sean resaltados.

Tabla 9. Elementos encontrados por medio del análisis de la prueba de validación, los cuales se deben tener en cuenta para la construcción de un material didáctico que aproxime a los estudiantes de grado octavo a los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM por medio de un micromundo.

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas por los docentes por medio de la prueba de validación, se realizaron las modificaciones pertinentes, por esta razón, la última versión del micromundo se puede descargar en el siguiente link: <https://acortar.link/qTNeQM>

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Durante la práctica pedagógica realizada en la IEIS se logró identificar por medio de la observación y dialogo con el docente tutor que el currículo de física es limitado debido a la existencia de un ideal, el cual menciona que los estudiantes deben tener un alto conocimiento en matemáticas para poder aprender física, y por esta razón, no se imparte esta asignatura en educación básica secundaria, esto conlleva a que no se profundice en las teorías de la física clásica y a su vez, excluye la enseñanza de la física moderna como es el caso de la mecánica cuántica. Lo anterior motivó a construir un material didáctico basado en un micromundo para la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la mecánica clásica y cuántica dirigido a estudiantes de grado octavo a, debido a que estos conceptos presentan el objeto de estudio (sistema) de ambas teorías, cómo se describe (estado) ese objeto de estudio y un comportamiento específico de dichos sistemas (superposición), con lo cual el estudiante puede tener un mayor acercamiento al mundo físico que lo rodea, profundizando su estudio en el aspecto macroscópico y ampliándolo hasta el microscópico.

El material didáctico construido está dirigido a aprovechar los recursos de cómputo que tienen las instituciones, permitiendo incursionar en nuevos paradigmas educativos debido a que suplen la necesidad de obtener montajes experimentales complejos, por esta razón, se identificó que el uso de simulaciones integradas en un micromundo puede aportar a la enseñanza de los conceptos de sistema, estado y superposición desde la perspectiva clásica y cuántica.

Por medio de la revisión de literatura se logró construir un paralelo conceptual de dichos conceptos desde la MC y QM, en la cual se evidenció la necesidad de tener como base la definición del concepto de tamaño, con el fin de delimitar el objeto de estudio de ambas teorías y de esta manera proceder a abordar las nociones.

Esta revisión fue fundamental para realizar la construcción del micromundo en el programa Visual Basic y la secuencia didáctica, debido a que esto delimitó y permitió organizar el contenido. Esta construcción se llevó a cabo desde la metodología propuesta por Quintero, Portillo, Luque, y González en el 2005, en la cual se presentan fases que se abordaron desde las intencionalidades del presente trabajo, con el diseño de objetivos secuenciales que están dirigidos a que los estudiantes puedan diferenciar los conceptos de sistema, estado y superposición desde la teoría clásica y cuántica, a partir del micromundo (integrado a una cartilla de actividades), en el que a su vez, se proponen diferentes representaciones sobre temáticas que se consideran abstractas.

Con el fin de obtener una revisión del micromundo construido se realizó una prueba de validación por expertos, en la cual se logró identificar que se tuvo una receptibilidad alta, con un 100% de actitud positiva de los docentes frente a los criterios de contenido (el cual obtuvo la mayor puntuación) y área instruccional, sin embargo, no se pudo realizar este mismo análisis frente al criterio de plataforma computacional debido a que el instrumento de recolección de datos (escala Likert para ese criterio) demuestra una confiabilidad moderada/baja con un alfa de Cronbach de 0.54, por lo tanto, para este aspecto es necesario replantear las afirmaciones que se realizan en la escala Likert, por ejemplo, que sean dirigidas específicamente al aspecto visual y que sean más claras en lo que se pretende preguntar, es decir, especificar a que se hace referencia con que el micromundo sea “fácil” de usar o que significa que la interacción sea “fluida”, no obstante, de manera cualitativa se encontró que los docentes reconocen el potencial de la plataforma para llevarla al aula.

Asimismo, se pudieron evidenciar elementos que aportan a la construcción de un micromundo de este tipo, entre estos se encuentra la importancia de realizar representaciones

gráficas de estos conceptos debido a que desde la mecánica cuántica son abstractos, por lo tanto, ameniza la aproximación del estudiante. Lo anterior conlleva a un nuevo elemento, el cual hace referencia a que las explicaciones que se abordan en el micromundo sean lo suficientemente claras y explícitas.

Dentro de la validación cualitativa que hicieron los expertos (docentes) manifiestan que, en las actividades propuestas se debe garantizar el acceso a estas, las estrategias para mantener la concentración y una retroalimentación al estudiante para que el conozca su proceso de aprendizaje y tomar decisiones frente a este. Por último, algunos elementos que señalan los expertos es que se debe tener en cuenta relacionados a la interfaz son los siguientes: 1) en el momento de la programación es necesario tener cuidado con los colores que se manejan para no opacar algunos objetos y 2) para que micromundo sea fácil de abordar se debe realizar una ruta de navegación lo suficientemente explícita dirigida a los docentes y estudiantes para que comprendan la secuencia de contenidos y actividades que se plantean.

La manera en cómo se desarrolló en esta investigación, puede ser una guía para la construcción de materiales didácticos basados en micromundos, y dado que son simulaciones son susceptibles de optimización, donde una oportunidad de mejora en términos conceptuales puede ser que se realice un tránsito desde los sistemas básicos que se trabajan en esta investigación a otros de mayor complejidad, por ejemplo, ampliando los fenómenos clásicos de manera paralela a los cuánticos en términos de sistema, estado y superposición, lo cual deja abierta una oportunidad investigativa para futuros trabajos, en donde el presente desarrollo pueda servir de antecedente.

En cuanto a las limitaciones que se pueden resaltar del presente estudio, se encuentra que la validación que se realizó aporta en gran medida a reconocer los elementos importantes para la

construcción del material didáctico integrado por el micromundo y la cartilla de actividades, sin embargo, no evidencia de manera directa las percepciones, interpretaciones o conclusiones que pueden tener los estudiantes frente a los conceptos de sistema, estado y superposición desde la perspectiva clásica y cuántica, debido a que no fue implementada en el aula, no obstante, lo anterior permite abrir puertas a estudios en donde se lleven este tipo de materiales didácticos a las instituciones educativas para analizar su impacto en el aprendizaje, por esta razón, se deja la investigación abierta con el fin de llevar el material didáctico a escenarios escolares.

REFERENCIAS

- Alfonso, A., y Casallas, P. (2020). *AUTOEFICACIA DE PERSONAS CON Y SIN CEGUERA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ: ESTUDIO COMPARATIVO* [Tesis de pregrado no publicada]. Corporación universitaria iberoamericana.
- Brandão, G. (2012). Acerca del concepto de sistema: Desde la observación de la totalidad hasta la totalidad de la observación. *Revista Mad. Revista del Magíster en Análisis Sistemico Aplicado a la Sociedad*, (26), 44-53.
<https://revistamad.uchile.cl/index.php/RMAD/article/view/18896/20142>
- Carmona, B. (2017). *Secuencias didácticas como estrategia de aprendizaje colectivo para fortalecer el pensamiento espacial en los niños de grado tercero de la Institución Educativa Evaristo García* (Doctoral dissertation, Universidad Icesi).
<http://funes.uniandes.edu.co/10596/1/Carmona2017Secuencias.pdf>
- COLOMBIA. Ministerio de Educación Nacional, Colombia. Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas: guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden. 183 p. Documentos 3. Bogotá. 2006.
https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-340021_recurso_1.pdf
- Cruz, J., y Espinosa, V. (2012). Reflexiones sobre la didáctica en física desde los laboratorios y el uso de las TIC. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (35),105-127.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194224362007>
- Díaz, S. y Pino, U. (2009). Los Materiales Educativos Computarizados (MEC) en la era de las Redes Sociales.

https://www.academia.edu/884370/Los_Materiales_Educativos_Computarizados_MEC_en_la_era_de_las_Red_Sociales

- Díaz, Á. (2013). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. *UNAM, México*, consultada el, 10(04), 1-15. http://envia3.xoc.uam.mx/envia-2-7/beta/uploads/recursos/xYYzPtXmGJ7hZ9Ze_Guia_secuencias_didacticas_Angel_Diaz.pdf
- Dirac, P. (1967). Principios de mecánica cuántica. Barcelona: Editorial Ariel. https://www.academia.edu/36222788/Principios_de_mec%C3%A1nica_cu%C3%A1ntica_a_4ta_Edicion_Paul_A_Dirac_Oxford_pdf
- Duarte, J., Vega, J. y Morales, F. (2022). Simulando y resolviendo, la teoría voy comprendiendo: una estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de la física. *Revista Boletín Redipe*, 11(1), 158-173. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1634>
- Eisberg, R., Resnick, R. y Araiza, L. (1978). Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. México: Limusa. <https://fdocuments.co/document/fisica-cuantica-eisberg-resnick.html?page=82>
- Estrada, A., y del Pilar, C. E. (2015). *Estrategia didáctica para la Enseñanza de la polarización de la luz utilizando un modelo matricial* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56383/carmenelisadelpilaraceroestrada.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galvis, A. (1992). *Ingeniería de software educativo*. Santa Fe de Bogotá. Colombia: Ediciones Uniandes.

González, E., Muñoz, E. y Solbes, J. (2020). La enseñanza de la física cuántica: una comparativa de tres países. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 15(2), 239-250. DOI:

<https://doi.org/10.14483/23464712.15619>

Gutiérrez, B., y Miranda, E. (2012). Apuntes con ejercicios. Física Mecánica.

<https://repositorio.utem.cl/bitstream/handle/30081993/427/APUNTES%20CON%20EJERCICIOS%20MECANICA%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (Sexta Edición ed.). México D.F: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A de C.V.

López, J. (2016). Uso de TIC y herramientas de aprendizaje activo para un curso de Física de Posgrado. *UNAH INNOV@*, (5), 30-39.

<https://www.camjol.info/index.php/UNAHINNOV/article/view/8090>

Lombardi, O. (1999). Mecánica clásica y determinismo: ¿caso cerrado? *Epistemología e Historia de la Ciencia*. 5 (5), 250-256. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/3388>

Maldonado, L. F. (1992). Los Micromundos y el pensamiento divergente. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (2), p. 1-8.

<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/5713/4724>

Malaver, J. (2016). La medición de una variable de estado desde el contexto clásico y desde el contexto cuántico. [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. Archivo

digital. <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/2038/TE-18852.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Marchoso, S., Von Pamel, O., Plano, M., y Ronco, J. (2005). Combinación de estrategias didácticas e integración de tic's en la enseñanza de fundamentos de física cuántica para ingenieros. *In V Congreso Internacional Virtual de Educación*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/24888>
- Martínez, F. (s. f.). onda electromagnética [Ilustración]. GeoGebra.
<https://www.geogebra.org/m/ZjHgdZ82>
- Mendoza, D. y Rozo, M. (2011). El principio de superposición de estados, a partir de los estados de polarización de una onda monocromática. *Revista científica*, 13 (1), 61- 65.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/634/857>
- Mendoza, D., Olarte, J., y Rozo, M (2016). Round the notion of state and the Superposition Principle. *Visión electrónica*, 10 (2), 230-236.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/11901/12534>
- Morales, A. (2016). MATERIAL EDUCATIVO COMPUTARIZADO PARA EL APOYO DEL APRENDIZAJE DE FÍSICA CUÁNTICA Y ONDAS. *Revista Eduweb*, 10(2), 25-14.
<https://revistaeduweb.org/index.php/eduweb/article/view/90>
- Moreno, P. (2005). Metodología de la investigación. En *El profesorado de Educación Física y las competencias básicas en TIC en el desarrollo de su actividad profesional*, (pp. 175-200).
https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8917/Capitulo_III_Marco_Metodologico.pdf;jsessionid=40747E5470A41C7089C9B9AF68FA9110.tdx2?sequence=7
- Nina-Cuchillo, J., y Nina Cuchillo, E. (2021). Análisis de Confiabilidad: Cálculo del Coeficiente Alfa de Cronbach usando el software SPSS. *ACADEMIA accelerating the worlds research*.

https://www.academia.edu/49017740/AN%C3%81LISIS_DE_CONFIABILIDAD_C%C3%81LCULO_DEL_COEFICIENTE_ALFA_DE_CRONBACH_USANDO_EL_SOFTWAR E_SPSS

- Organista, O., Gómez, V., Jaimes, D., y Rodríguez, J. (2007). Una idea profunda en la comprensión del mundo físico: el principio de superposición de estados. *Latin American Journal of Physics Education*, 1 (1), 83-88. http://lajpe.org/sep07/DIANA_Final.pdf
- Palomares, A. y Villarreal, M. (2009). Material educativo computacional para el desarrollo de competencias científicas. *Revista studiositas*, Vol. 4 no. 1 (abr. 2009); p. 17-26. <https://core.ac.uk/download/pdf/71891468.pdf>
- Quintero, H., Portillo, L., Luque, R., y González, M. (2005). Desarrollo de software educativo: una propuesta metodológica. *Telos*, 7(3), 383-396. <https://www.redalyc.org/pdf/993/99318837004.pdf>
- Reyes, B. (2012). El diseño de secuencias didácticas: una aproximación a los planes de clase. *SUBDIRECCIÓN DE EDUCACIÓN NORMAL MEMORIA*, 19. <https://promep.sep.gob.mx/archivospdf/MEMORIAS/Producto1979304.PDF#page=19>
- Rozo, M. (2018). Un problema de osciladores acoplados analizado mediante la notación bra-ket empleada en mecánica cuántica, *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 42(163),166-171. <https://doi.org/10.18257/raccefy.515>
- Ruiz, E. y Duarte, J. (2018). Diseño de un material didáctico computarizado para la enseñanza de Oscilaciones y Ondas, a partir del estilo de aprendizaje de los estudiantes. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 8(2), 295–309. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7966>

- Sinarcas, V. y Solbes, J. (2013). Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato. *Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31 (3), 9-25. <https://core.ac.uk/download/pdf/71025991.pdf>.
- Spinel, M. C. (2009). Introducción al formalismo de la mecánica cuántica no relativista. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Fisica/Intro_Formalismo_Cuantica/LibroMecanicaCuantica_web_1_.pdf
- Torres, M. (2010). La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas. *Revista Electronic@ Educare*, 14(1), 131-142.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4780946>
- Ubaque, K. (2009). Sobre el significado de la didáctica de la física. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 4(1), 19–24. <https://doi.org/10.14483/23464712.5245>
- Valle, S. Contreras, J. Rivero, H. Torres, R. Pedraza, X. y Bermúdez, M. (2020). *De la didáctica de las ciencias a la enseñanza de la física una necesidad impostergable*. Ediciones Gesicap.
https://www.academia.edu/44998434/DE_LA_DID%3%81CTICA_DE_LAS_CIENCIAS_A_LA_ENSE%3%91ANZA_DE_LA_F%3%8DSICA_UNA_NECESIDAD_IMPOSTERGABLE_Autores
- Walteros, L. (2016). Actividades experimentales para la construcción de explicaciones alrededor de los fundamentos básicos de la mecánica cuántica. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12209/2054>

ANEXOS

ANEXO A

Solución de las ecuaciones diferenciales (1) y (2)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = \begin{cases} \text{EjeX: } 0 = m \frac{d^2x}{dt^2} & (1) \\ \text{EjeY: } -mg = m \frac{d^2y}{dt^2} & (2) \end{cases}$$

Si la segunda derivada de x con respecto al tiempo es cero, entonces la primera derivada debe ser igual a una constante

$$(1) \rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = C_1$$

Donde la constante C_1 , se refiere a una velocidad inicial en x, por lo tanto, la velocidad en x (en todo el desplazamiento) es una constante.

$$v_x = v_{0x}$$

Volviendo a integrar

$$\frac{dx}{dt} = C_1$$

$$\int dx = \int C_1 dt$$

$$x = C_1 t + C_2$$

La constante C_2 hace referencia a una posición inicial en x, por lo tanto:

$$(3) \rightarrow x = v_{0x} t + x_0$$

Para la segunda ecuación diferencial:

$$(2) \rightarrow \frac{d^2y}{dt^2} = -g$$

Integrando ambos lados con respecto al tiempo

$$\frac{dy}{dt} = -gt + k_1$$

Donde la constante k_1 , se refiere a una velocidad inicial en y

$$(4) \rightarrow v_y = -gt + v_{0y}$$

Volviendo a integrar

$$\int dy = \int (-gt + k_1) dt$$

$$y = \frac{-gt^2}{2} + k_1 t + k_2$$

La constante k_2 se refiere a una posición inicial en y, por lo tanto:

$$(5) \rightarrow y = \frac{-gt^2}{2} + v_{0y} t + y_0$$

ANEXO B

Deducción de las ecuaciones de movimiento para la rodadura

Traslación del centro de masa:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = \begin{cases} \text{Eje X: } 0 = m \frac{d^2 x}{dt^2} (6) \\ \text{Eje Y: no hay translación} \end{cases}$$

Si la segunda derivada de x con respecto al tiempo es cero, entonces la primera derivada debe ser igual a una constante:

$$(6) \rightarrow \frac{d^2 x}{dt^2} = 0$$

$$\frac{dx}{dt} = C_1$$

Donde la constante C_1 , se refiere a una velocidad inicial en x, por lo tanto, la velocidad en x (en todo el desplazamiento) es una constante.

$$v_x = v_{0x}$$

Volviendo a integrar

$$\frac{dx}{dt} = C_1$$

$$\int dx = \int C_1 dt$$

$$x = C_1 t + C_2$$

La constante C_2 hace referencia a una posición inicial en x , por lo tanto:

$$(7) \rightarrow x = v_{0x} t + x_0$$

Rotación respecto al eje que pasa por el centro de masa del disco:

$$T = I \cdot \alpha \quad \text{En } \theta \quad I(0) = I \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (8)$$

Si la segunda derivada de θ con respecto al tiempo es cero, entonces la primera derivada debe ser igual a una constante:

$$(8) \rightarrow \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 0$$

$$\frac{d\theta}{dt} = K_1$$

Donde la constante K_1 , se refiere a una velocidad inicial en θ , por lo tanto, la velocidad en θ (en todo el desplazamiento) es una constante.

$$w = w_0$$

Volviendo a integrar

$$\frac{d\theta}{dt} = K_1$$

$$\int d\theta = \int K_1 dt$$

$$\theta = K_1 t + K_2$$

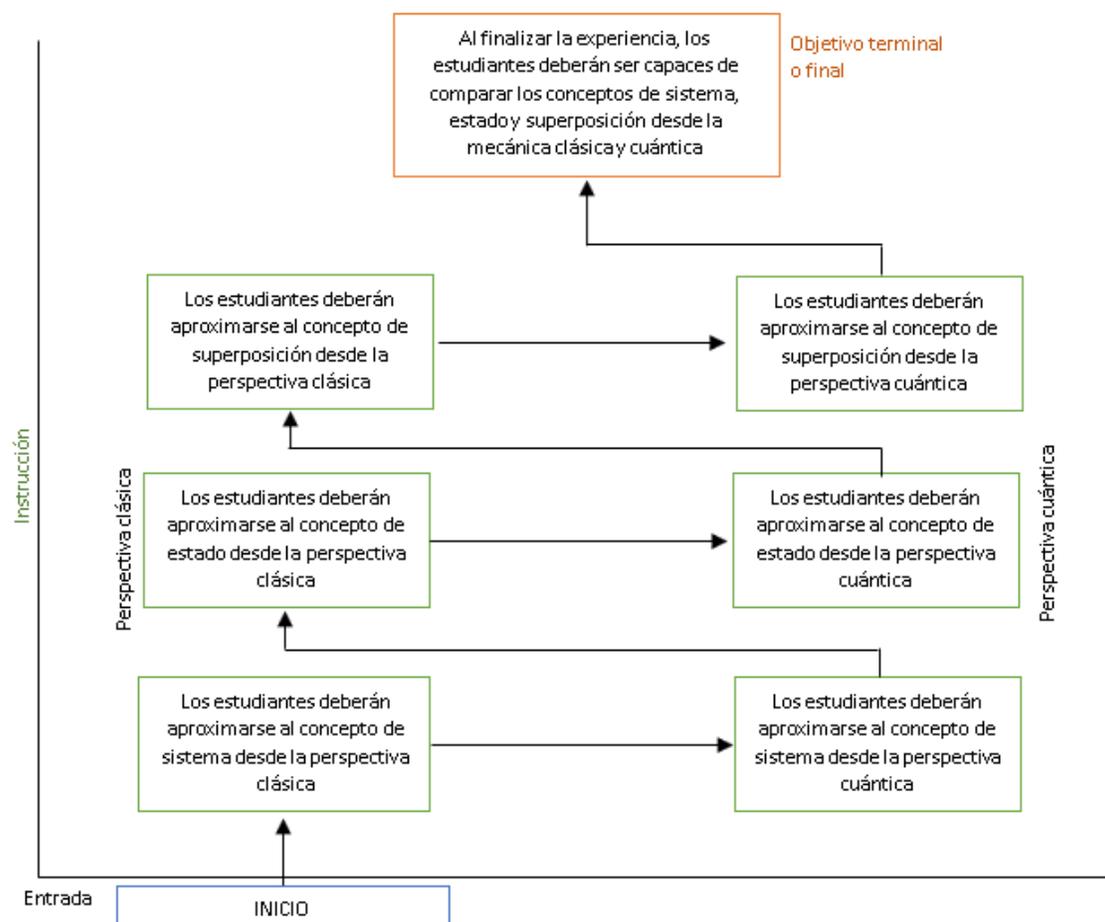
La constante K_2 hace referencia al ángulo inicial θ , por lo tanto:

$$(9) \rightarrow \theta = \omega_i t + \theta_0$$

ANEXO C

El esquema de objetivos secuenciales o instruccionales (verdes) del micromundo empieza por abordar el concepto de sistema desde la MC y posterior a esto desde la QM, cuando esto se haya logrado, el estudiante pasa a ver el concepto de estado primero desde la MC y luego desde la QM, para finalmente llegar al concepto de superposición, de la misma manera que los otros dos conceptos, desde la MC primero y luego por la QM, con el fin de llegar al objetivo terminal (naranja), el cual consiste en que el estudiante deberá comparar estos conceptos desde ambas perspectivas.

Esta secuencia de objetivos y contenidos se considera pertinente debido a que aborda primero la teoría más intuitiva (MC) para pasar a la más abstracta (QM).



ANEXO D

La secuencia sugerida para cumplir los objetivos de enseñanza propuestos en el Anexo C se encuentra en el siguiente link: <https://drive.google.com/file/d/1VfuClrh9bF1VCVih5hm1w-yhNhI-ycdJ/view?usp=sharing>

ANEXO E

En la cartilla que se propone para abordar los conceptos de sistema, estado y superposición desde la MC y QM, se construyeron un total de 15 actividades, entre ellas se encuentran las actividades de introducción y de cierre.

<https://drive.google.com/file/d/1NJ9XbjltIvobSu1wVhECjzTmSxvwuKEN/view?usp=sharing>

ANEXO F

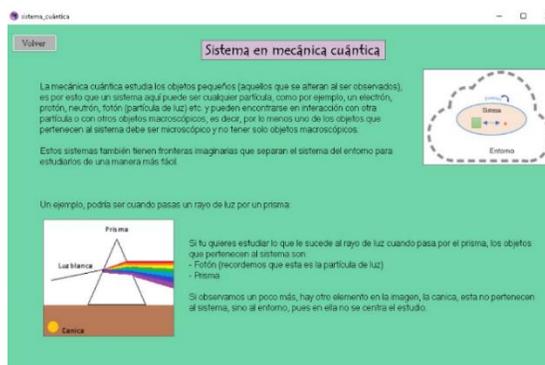
Algunas imágenes de la interfaz del micromundo son las siguientes¹⁶:

Simulación “Tiro parabólico” para el concepto de sistema



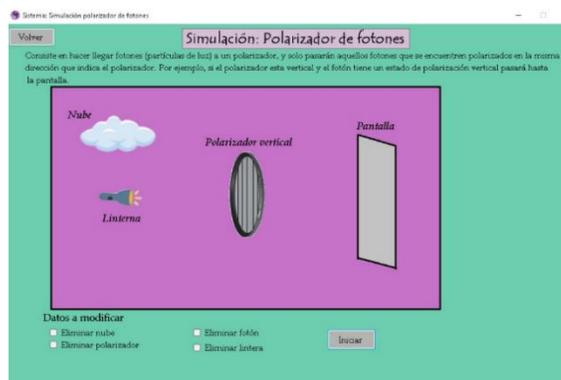
Simulación “Rodadura” para el concepto de estado

Introducción al concepto de sistema para la mecánica cuántica



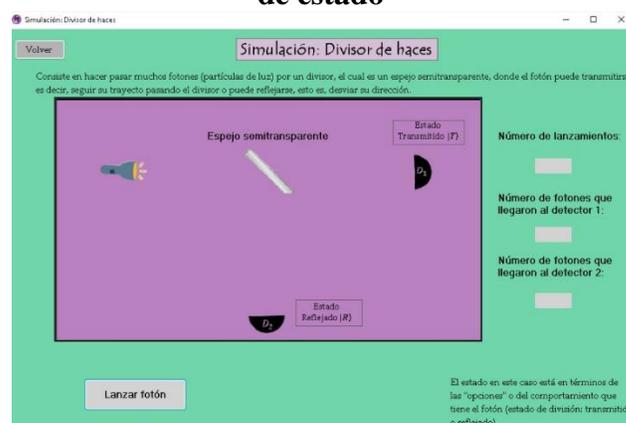
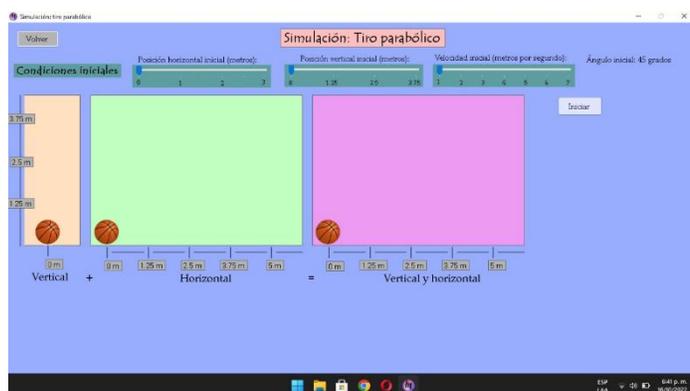
Simulación “Polarizador de fotones” para el concepto de sistema

¹⁶ Es necesario resaltar que estos no son todos los entornos que se desarrollaron en el micromundo. Para información del código escriba al correo Kathe.alfonso27@gmail.com



Simulación “Tiro parabólico” para el concepto de superposición

Simulación “Divisor de haces” para el concepto de estado



ANEXO G

La rúbrica de evaluación propuesta se encuentra en el siguiente link:

https://drive.google.com/file/d/1bvxFqArfdVIjQP_l4cHdyf2u1FuB_sHF/view?usp=sharing