



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FÍSICA

Facultad de Ciencias

“La Robótica como estrategia didáctica en la Física (Fenómenos Ondulatorios)”

TESIS

**Que para optar por el grado de:**

Maestro en Docencia para la Educación Media Superior (Física)

**Presenta:**

Leonardo Gabriel Carrillo Contreras

**Tutor principal:**

Dr. Fernando Flores Camacho, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología

**Comité Tutor:**

Dra. Susana Orozco Segovia, Facultad de Ciencias

Dr. Raúl Arturo Espejel Morales, Facultad de Ciencias

Ciudad Universitaria, Cd, Mx, enero 2020.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Contenido

Resumen.....	1
Introducción.....	3
Objetivos.....	6
Capítulo I Antecedentes.....	7
1.1 La robótica educativa e importancia de la robótica educativa.....	7
1.2 Impacto de la robótica educativa en los procesos de enseñanza aprendizaje.....	11
1.3 La Robótica educativa dentro de las Políticas Educativas.....	24
1.4 Robótica educativa en México.....	28
1.5 Comentarios Finales de este apartado.....	30
Capítulo II Marco Teórico.....	33
2.1 Cambios en la visión de la ciencia y la enseñanza científica.....	34
2.2 La ciencia basada en modelos.....	36
2.3 La argumentación en la educación científica.....	38
2.4 La enseñanza de las ciencias desde el constructivismo.....	39
2.5 Evaluación en la enseñanza de las ciencias.....	40
2.6 El cambio conceptual.....	41
2.7 Estrategias de enseñanza y el cambio conceptual.....	44
Capítulo III Propuesta didáctica.....	47
3.1 Errores conceptuales y el cambio conceptual.....	47
3.2 Objetivos de la propuesta didáctica.....	50
3.3 Desarrollo de la secuencia didáctica.....	52
3.3.1 Orientación.....	54
3.3.2 Obtención de ideas previas.....	54
3.3.3 Proceso del cambio conceptual.....	54
3.3.4 Verificación del cambio conceptual.....	69
3.3.5 Aplicación de los nuevos conceptos.....	70
Capítulo IV Análisis y discusión de los resultados.....	72
4.1 Muestra.....	72
4.2 Instrumentos de evaluación.....	72
4.3 Evaluación del proceso de cambio conceptual.....	72
4.4 Resultados pretest.....	73
4.5 Resultados de la aplicación de la estrategia.....	86
4.6 Observaciones durante el proceso del cambio conceptual.....	87
4.7 Resultados postest.....	100
4.8 Comparativo pretest-postest.....	105
4.9 Comparativo postest: grupos experimentales vs grupo de control.....	115
Conclusiones.....	125
Referencias.....	130

Anexos.....	136
Anexo 1 Pretest.....	136
Anexo 2 Postest.....	140
Anexo 3 Rúbrica mapa mental.....	144
Anexo 4 instrumento de evaluación para predecir el comportamiento del robot ante distintos obstáculos.....	145
Anexo 5 Programa del robot para evadir obstáculos.....	146

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Resultados obtenidos en algunos casos de estudio de la implementación de la robótica educativa como estrategia de enseñanza-aprendizaje.....	31
Tabla 1.2 Programas educativos de gobierno en México que fomentan la robótica educativa.....	32
Tabla 4.1 Ideas previas de los alumnos.....	81
Tabla 4.2 Resultados del pretest del grupo GE1.....	83
Tabla 4.3 Resultados del pretest del grupo GE2.....	84
Tabla 4.4 Resultados del pretest del grupo GC.....	84
Tabla 4.5 Escala de valoración del proceso del cambio conceptual.....	88
Tabla 4.6 Resultados del postest del grupo GE1.....	100
Tabla 4.7 Resultados del postest del grupo GE2.....	102
Tabla 4.8 Resultados del postest del grupo GC.....	104
Tabla 4.9 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada de cada reactivo del grupo GE1.....	107
Tabla 4.10 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada del grupo GE1.....	108
Tabla 4.11 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada de cada reactivo del grupo GE2.....	110
Tabla 4.12 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada del grupo GE2.....	111
Tabla 4.13 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada de cada reactivo del grupo GC.....	113
Tabla 4.14 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada del grupo GC.....	114
Tabla 4.15 Test de múltiple comparación ANOVA del postest aplicado al grupo de control y los grupos experimentales.....	117
Tabla 4.16 Test de múltiple comparación ANOVA de los reactivos 1 al 8 del postest.....	119
Tabla 4.17 Test de múltiple comparación ANOVA de los reactivos 9 al 14 del postest.....	120
Tabla 4.18 Test de múltiple comparación ANOVA por tema del postest.....	122

## **Agradecimientos**

A mi tutor el Dr. Fernando Flores Camacho, por haberme guiado y apoyado durante la realización de este trabajo, a la Dr. Susana Orozco Segovia por todo el valioso tiempo que me dedico en la revisión de este trabajo. A todos los miembros de mi Comité tutor, por la revisión y comentarios que me ayudaron a enriquecer este trabajo con una visión más amplia del pensamiento científico y pedagógico.

Agradezco a la Facultad de Ciencias y al posgrado de MADEMS por el apoyo para asistir a congresos nacionales e internacionales, lo que me permitió presentar los avances de mi tesis y recibir comentarios que contribuyeron a este trabajo.

Agradezco al CONACyT por el apoyo económico que brindo para realizar mis estudios de maestría.

Agradezco al CCH plantel Oriente y a las profesoras: Elizabeth Segundo, Ana Laura Ibarra y Esther Vite por su apoyo durante mi practica docente. Al plantel 4 Iztapalapa del IEMS y a la profesora Yenisel Reyes por permitirme presentar mi secuencia didáctica con sus alumnos.

Agradezco a mis compañeros de la maestría, Dione, Pascual, Florencio, Sofía, Shirley y Marco, de quienes aprendí mucho en todos los aspectos y con quienes pasa gratos e inolvidables momentos.

Agradezco a todos los profesores con los cuales tome clases a lo largo de la maestría, quienes contribuyeron en el desarrollo de este trabajo y mi formación como docente.

Agradezco, a mi esposa Estela por haberme apoyado y acompañado a lo largo de este camino dándome su tiempo lo cual me permitió lograr esta meta.

## Resumen

En este trabajo se propone una secuencia didáctica para apoyar el cambio conceptual en alumnos de bachillerato acerca del concepto de onda y de los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción, utilizando a la robótica como un medio para despertar el interés de los alumnos e impulsarlos a investigar, experimentar y discutir sus ideas, de tal forma que, a través de este proceso, construyan y modifiquen sus propias concepciones. Se aplicó a estudiantes de la asignatura de Física II del Instituto de Educación Media Superior en el plantel 4 en Iztapalapa.

Para el diseño, implementación y posterior análisis de la secuencia didáctica, se realizó una revisión de la literatura relevante sobre la robótica educativa y el cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias. La secuencia didáctica se llevó a cabo en dos grupos experimentales (GE 1 y GE2) y un tercer grupo de control (GC) que abordó los mismos temas, pero de forma tradicional con su profesor. Para realizar un análisis comparativo se le aplicó un pretest y un postest a los tres grupos, para después someter estas pruebas a un análisis estadístico. Los resultados del análisis estadístico del pretest mostraron que los tres grupos se encontraban en una situación inicial similar y que compartían algunas ideas previas y, el análisis del postest, mostró que de forma general, los alumnos de los grupos donde se aplicó la secuencia didáctica propuesta en este trabajo tuvieron un mayor acercamiento al cambio conceptual, sin embargo, al realizar el análisis por reactivos y conceptos esta diferencia no fue tan significativa.

Estos resultados mostraron que la secuencia didáctica implementada y el uso de robots, contribuyeron a que los alumnos tuvieran un mayor acercamiento al cambio conceptual, pero que aún hace falta realizar ajustes a dicha secuencia para que logre tener mayor impacto. Este estudio aporta algunas evidencias de que la robótica educativa y el uso de robots en el aula aportan beneficios que contribuyen en el proceso del cambio conceptual de los alumnos y que les permite relacionar a la física con otras áreas del conocimiento y sus aplicaciones tecnológicas. De igual forma, este trabajo también muestra que se presentan retos y dificultades en la implementación de la robótica educativa en la enseñanza de las ciencias, los cuales deben de ser analizados para poder superarlas.

## **ABSTRACT**

A didactic sequence proposed in this work supports the conceptual change among senior high school students regarding the concepts of wave, reflection, refraction and diffraction undulatory phenomena. The use of Robotics is a means whereby the students' interest in the subject is attracted and their initiative in doing their own research, making experiments and discussing their own ideas is encouraged, therefore, they can create and modify their own conceptions. Such didactic sequence was put into practice in the Physics II Group at the Fourth School of the Instituto de Educación Media Superior in Iztapalapa.

For the purpose of implementing and analyzing a didactic sequence, a review of relevant literature regarding educational Robotics and conceptual change in the teaching of sciences was conducted. Two experimental groups (GE 1 and GE 2) applied the didactic sequence; a third one (GC) served as a control group, where the same topics were studied in a traditional way. A pre-test and a post-test were given to the three groups in order to perform a comparative analysis. Such tests were later subjected to a statistical analysis.

The statistical analysis results of the pre-test showed that the three groups had a similar knowledge level and shared some previous ideas on the subject in the beginning; on the other hand, the statistical analysis of the post-test showed that the groups in which the said didactic sequence was applied, had a greater approach to the conceptual change. Nevertheless, when an analysis of the test items and concepts was conducted, the said difference turned out to be nonmeaningful.

These results point out that the executed didactic sequence and the use of robots have helped students approach a conceptual change, however, it is still necessary to implement changes to the said sequence so it can achieve a bigger impact. This study evidences the truth on how educational Robotics and the use of robots in the classroom have important benefits that contribute in the process of a concept change in students, and in their capacity to relate Physics with other knowledge areas and its technological application; furthermore, this paper points out what challenges and difficulties in the implementation of educational Robotics in the teaching of Sciences must be analyzed in order to resolve them.

## **Introducción**

La enseñanza de las ciencias en el bachillerato, incluida la física, presenta diversas dificultades entre las cuales se encuentra: la transformación en la visión de la ciencia que se ha dado a lo largo del tiempo y cuyo cambio no se ha visto reflejado en las aulas (Duschl y Grandy, 2008), la permanencia de concepciones erróneas, aún después de cursar el bachillerato e incluso después de la licenciatura (Andrés, Pesa y Meneses, 2006) y en el diseño e implementación de estrategias didácticas que, en muchos casos, no son coherentes con los fundamentos teóricos que las sustentan (Calderón, García y Gallegos, 2007).

El concepto de onda y las concepciones sobre los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción son abordados en los cursos de física a nivel medio superior y no están exentos de las problemáticas mencionadas anteriormente. Para esto la robótica educativa se presenta como una herramienta didáctica que permite, al docente, diseñar y aplicar estrategias didácticas que despierten el interés de los alumnos, impulsándolos a investigar, experimentar, analizar datos, construir modelos y discutir sus ideas de tal forma que vayan transformando y construyendo sus propios conceptos, acercando sus concepciones a los conceptos científicamente aceptados y relacionar sus nuevos aprendizajes con otras áreas del conocimiento. La robótica educativa enfrenta a los alumnos a retos donde sus concepciones previas se ponen en cuestión y los encamina a modificarlas para dar solución a distintos problemas y poner a prueba sus nuevas concepciones, lo cual promueve el proceso del cambio conceptual.

Aunque la robótica educativa lleva más de 50 años y existen muchas investigaciones de su impacto, en los procesos de enseñanza-aprendizaje que mencionan sus ventajas y desventajas, no se han desarrollado muchos estudios específicos sobre su impacto desde la perspectiva del cambio conceptual de las ciencias. Por lo cual, se realizó este trabajo de investigación, partiendo de una revisión previa de la literatura acerca de la robótica educativa y de las diferentes visiones del cambio conceptual y las estrategias didácticas que se sustentan en estas.

Con base en esta investigación, se diseñó e implementó una secuencia didáctica que utilizó a la robótica educativa desde una visión del cambio conceptual como un proceso cognitivo de largo plazo y discontinuo, donde los alumnos modifican y construyen sus propias concepciones. Debido a que en la mayoría de los casos, las ideas previas o concepciones erróneas de los alumnos son coherentes y lógicas, transformarlas o reemplazarlas por nuevas concepciones implica un proceso largo y complejo. Para que este proceso pueda iniciar y llevarse a cabo de acuerdo con Bello, (2004) quien cita a (Striker y Posner, 1992) es necesario que se presente las siguientes condiciones:

- Que los alumnos sientan insatisfacción con sus concepciones previas.
- Que los alumnos sean capaces de comprender las nuevas concepciones
- Que los alumnos consideren que las nuevas concepciones son válidas y coherentes pudiendo dar explicación a las problemáticas que las concepciones previas daban respuesta.
- Que estas nuevas concepciones tengan el potencial de ser extendidas a otros contextos.

Lo anterior, se tomó en cuenta para el diseño de la secuencia didáctica, por lo que se plantearon 5 etapas: orientación, obtención de ideas previas, proceso del cambio conceptual, verificación del cambio conceptual y aplicación de los nuevos conceptos. En estas 5 etapas y en las actividades que la conformaron se planteó utilizar robots para que los alumnos transformaran y construyeran sus propias concepciones.

La presente tesis, de acuerdo con lo anterior está organizada de la siguiente manera:

Capítulo I. Presenta una perspectiva general de la robótica educativa: desde sus orígenes, su impacto en los procesos de enseñanza-aprendizaje de acuerdo con varios estudios realizados en distintas partes de mundo, algunos casos a nivel mundial donde desde las políticas educativas se ha incluido a la robótica educativa como parte de la currícula en la enseñanza básica y media superior, finalizando con una reseña de cómo se está incluyendo a la robótica educativa en México.

Capitulo II. Muestra una revisión de las problemáticas que se presentan en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, desde el punto de vista de diferentes

investigadores y de las teorías del cambio conceptual. Donde la visión del docente acerca de la ciencia, su enseñanza y las diversas teorías del cambio conceptual, toma vital importancia en el diseño e implementación de las estrategias didácticas, que se han de emplear para apoyar a los estudiantes en el proceso del cambio y transformación conceptual.

Capítulo III. Presenta la secuencia didáctica basada en la robótica educativa y el cambio conceptual y describen las estrategias didácticas que se elaboraron para abordar el concepto de onda y las concepciones de los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción.

Capítulo IV, Expone los resultados obtenidos al aplicar la secuencia didáctica y el análisis estadístico de los datos para conocer sus fortalezas y debilidades, finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo de tesis.

### **Objetivo general.**

Construir una secuencia didáctica desde una visión del cambio conceptual como un proceso discontinuo y de largo plazo, utilizando la robótica educativa como herramienta de enseñanza-aprendizaje, que motive y despierte el interés de los estudiantes de bachillerato en los fenómenos ondulatorios.

### **Objetivos particulares.**

- Conocer la situación actual de la robótica educativa.
- Identificar las ventajas y desventajas de la robótica educativa.
- Definir las teorías pedagógicas en las que se fundamenta la robótica educativa.
- Explorar y analizar las diversas teorías del cambio conceptual.
- Diseñar una secuencia didáctica, con diversas estrategias de enseñanza aprendizaje utilizando la robótica educativa, con la finalidad crear situaciones que generen en los estudiantes un aprendizaje significativo de los fenómenos ondulatorios de reflexión y refracción.
- Evaluar la pertinencia y utilidad de las secuencias didácticas.

## **Capítulo I. Antecedentes**

En este apartado se presenta un panorama general de la robótica educativa, dividiéndose en cuatro secciones. En la primera sección se presenta una breve reseña de sus orígenes e importancia, en la segunda se presentan algunas investigaciones que muestran el impacto de la robótica educativa en los procesos de enseñanza-aprendizaje de distintos países en los que se ha aplicado como estrategia didáctica, en la tercera algunas políticas educativas de distintos países que están incluyendo a la robótica dentro la currícula en los niveles básico, medio y medio superior y por último, en la cuarta, una reseña de lo que se está haciendo en México en este campo.

### **1.1 La robótica educativa y su importancia.**

La robótica educativa como parte de las estrategias de enseñanza-aprendizaje lleva más de 50 años, a través de los cuales ha ido evolucionando. A lo largo de este tiempo, se han desarrollado diversas herramientas para que los alumnos puedan interactuar con los robots fomentando el aprendizaje activo. Existen diversas investigaciones que buscan conocer el impacto de la robótica educativa en el proceso de aprendizaje de los alumnos, presentando los logros alcanzados, las problemáticas a las que se han enfrentado y las desventajas y ventajas de este entorno de aprendizaje.

La robótica educativa surge en la década de los 60, a partir de los trabajos realizados por Seymour Papert, Marvin Minsky y Mitchael Resnik en el Laboratorio de Medios del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Estos investigadores y educadores se plantearon la posibilidad de crear y desarrollar un entorno donde los niños pudieran aprender a través de la computadora (Jiménez y Cerdas, 2014).

En 1967 Seymour Papert y Wally Feurzeig desarrollaron el lenguaje de programación “Logo”, con el fin de crear un mundo virtual en una computadora, donde los niños pudieran aprender matemáticas, programando los movimientos de una tortuga para que dibujara diversas figuras geométricas (Jiménez y Cerdas, 2014). Para mediados de la década de los 80 Seymour Papert y sus colaboradores, en conjunto con la empresa LEGO, desarrollaron una interfaz para que los niños construyeran figuras geométricas con el apoyo de una computadora y dibujarlas en un plotter. Esta interfaz fue muy atractiva para los niños de aquella época, pero tenía el inconveniente de requerir una computadora todo

el tiempo, un par de años más tarde solucionarían este problema desarrollando una nueva interfaz que no requería estar conectada todo el tiempo a una computadora, pero no fue exitosa por su elevado costo. Sería hasta finales de los 90 que LEGO lanza al mercado el “LEGO® MINDSTORMS,” el cual se haría rápidamente popular en escuelas y hogares de los Estados Unidos de Norteamérica y en otras regiones del mundo (La evolución de LEGO® MINDSTORMS, 2013). A partir de esta época, la empresa LEGO, en conjunto con el Instituto de Massachusetts, han impulsado a muchas instituciones educativas del mundo a integrar el uso de robots en sus aulas (Acuña, 2009). Actualmente existe una variedad de plataformas tecnológicas en todo el mundo enfocadas a la robótica educativa, a través de diversos proyectos educativos curriculares y extracurriculares, que incorporan a la robótica como una herramienta didáctica, permitiendo a los estudiantes aprender de forma activa.

Existen diversas investigaciones que resaltan la importancia de la robótica educativa y la necesidad de llevarla a las aulas de los distintos niveles educativos, como una herramienta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y las matemáticas. Diversas investigaciones sobre la robótica educativa (Ansorge y Barker, 2007; García M., González, C., y González, S. 2014.; Ershov, Iljin y Ospennikova, 2015) coinciden en que el constante avance tecnológico, hace necesario centrar la educación en la formación de nuevos conocimientos, debido a que las industrias y la sociedad, requieren cada vez más científicos e ingenieros. En consideración a lo anterior, surge la necesidad de incluir, dentro de los currículos educativos, objetivos orientados a la innovación científica y tecnológica que permitan desarrollar e impulsar el potencial tecnológico y científico de las sociedades para que se integren con éxito en los modernos sistemas socioeconómicos.

Formar científicos e ingenieros altamente capacitados es fundamental para toda sociedad, pero esto implica un gran reto. Varios trabajos de investigación (Ansorge y Barker, 2007; García, et al., 2014) coinciden en que la mayoría de los estudiantes tienen una deficiente formación en ciencias y matemáticas debido, entre otros factores, a las creencias de los profesores acerca del conocimiento científico, las ideas previas o preconcepciones de los alumnos y estrategias didácticas inadecuadas, orillando a los alumnos a un estado de apatía para aprender estos conocimientos. Esto se ve reflejado en el bajo número de

estudiantes que optan por seleccionar carreras relacionadas a las ciencias, tecnología e ingenieras.

En la actualidad, se está dando un nuevo enfoque a la enseñanza de las matemáticas y las ciencias donde, el uso de la robótica educativa tiene el fin de fomentar la participación de los estudiantes, llevándolos a entender los conceptos abstractos de las matemáticas, a experimentar las leyes y fenómenos físicos que rigen la naturaleza de tal forma que ellos construyan su propio conocimiento (Asís y Bohórquez, 2014; Ansorge y Barker, 2007).

Actualmente, no existe una única teoría de aprendizaje. Para Akim, Magued y Vikram (2012), el proceso de aprender de los niños es diferente al de los adultos, ya que para los primeros, todo es relativamente nuevo. Las diferentes visiones metodológicas del proceso de enseñanza-aprendizaje pueden divergir, desde la enseñanza centrada en el docente, hasta las teorías que colocan al estudiante en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En opinión de Akim, et al. (2012), los procesos de enseñanza se han centrado en el profesor, dejando al alumno la memorización de información y repetición de procedimientos, dejando de lado la posibilidad de que los estudiantes exploren, experimenten e investiguen para construir su propio conocimiento. Akim, et al. (2012), consideran que los estudiantes deben de aprender experimentando y dando sentido a los resultados obtenidos, en esta dirección, proponen el uso de robots como herramienta de enseñanza para promover el aprendizaje activo, creando conexiones entre distintas disciplinas, como las matemáticas, las ciencias y la tecnología, en un entorno que permite a los estudiantes construir su propio conocimiento y demostrarse a sí mismos el aprendizaje alcanzado.

En diversos sistemas educativos alrededor del mundo se ha introducido la robótica educativa, pero en la mayoría de los casos, como una actividad extraescolar, lo cual es una solución parcial a la necesidad de preparar a los estudiantes en las habilidades tecnológicas que requieren en el mundo actual. A este respecto, Monsalvez (2010), opina que se han realizado diversos intentos para que los estudiantes construyan su propio conocimiento a través de un proceso metacognitivo, para que sean capaces de adaptarse a los constantes cambios tecnológicos y contribuir en el desarrollo de su sociedad.

De acuerdo con Monsalvez (2010), las TICS han sido un soporte fundamental, para crear ambientes de aprendizaje motivadores y, dentro de este ámbito, la robótica educativa es una herramienta pedagógica que promueve el aprendizaje activo, el aprendizaje significativo y la interdisciplinaridad. De aquí surge la importancia de involucrar a la robótica educativa en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias y conocer los elementos necesarios para crear y organizar los ambientes de aprendizaje que replanteen los roles y funciones tradicionales de los alumnos y profesores.

Monsalves (2010), comenta que la robótica educativa tiene sus bases en el constructivismo de Jean Piaget y el construccionismo de Seymour Papert, el cual es una corriente del construccionismo, que promueve la construcción de ambientes de aprendizaje heurísticos, en los cuales los estudiantes adquieren un rol activo en su aprendizaje, construyendo y manipulando objetos, con el apoyo de una computadora. Esto es posible, ya que, para la construcción de un robot, se requiere poner en práctica los aprendizajes de diversas áreas como física, matemáticas, electrónica y computación.

Lo anterior representa un gran desafío, pero también grandes oportunidades para los países en vías de desarrollo como México. La robótica educativa puede ser un medio eficaz para despertar el interés de los estudiantes en las matemáticas, la ciencia y la tecnología, e incrementar el número de alumnos que opten por carreras relacionadas a las ciencias y la tecnología. Con el tiempo esto puede impulsar el desarrollo tecnológico y económico del país.

Los retos a los que nos enfrentamos en México son grandes debido a la falta de recursos económicos, tecnológicos y métodos pedagógicos adecuados, por lo cual es necesario impulsar proyectos educativos para mejorar los procesos de aprendizaje, donde se incluyan actividades que acerquen a los estudiantes a la ciencia y tecnología para lo cual la robótica educativa es una opción viable.

Tomando en cuenta lo anterior, la robótica educativa puede ser una opción para llevar a los alumnos a aprender activamente en ambientes colaborativos, de tal forma que los individuos colaboran en el aprendizaje de grupo y el grupo colabora en el aprendizaje del individuo, creándose una estructura de aprendizaje dinámica a través del proceso de

construcción de los robots, donde el profesor solo es un guía en la experimentación y exploración.

### **1.2 Impacto de la robótica educativa en los procesos de enseñanza aprendizaje.**

Para tener una perspectiva general del impacto de la robótica educativa en el aprendizaje de los alumnos, su rendimiento académico y su visión de las ciencias, al igual que los alcances, limitaciones y problemáticas de ésta dentro de las aulas y, a partir de esto, generar una propuesta acorde a los recursos y necesidades del bachillerato en México, se presentan algunos casos de estudio de diversas partes del mundo respecto a este tema.

Para conocer el impacto de la robótica educativa como un medio de enseñanza y una herramienta de cognición, Ershov y Ospennikova (2015), presentan los resultados de un experimento pedagógico realizado entre 20011 y 2014 con 186 alumnos de nivel bachillerato de la ciudad de Perm, Rusia. La asignatura que eligieron fue la de física.

Para este fin, los autores desarrollaron varios módulos de aprendizaje, donde se aplicaron distintas estrategias de enseñanza-aprendizaje enfocadas a:

- 1) El estudio de los principios físicos de los elementos que componen al robot.
- 2) Toma e interpretación de datos con los sensores del robot.
- 3) Organización de proyectos por parte de los estudiantes

Para posicionar a los robots como un objeto de estudio, Ershov y Ospennikova (2015), desarrollaron un programa de estudios que incluyó temas como la historia de la robótica, tipos de robots, ámbitos de programación, sistemas de censado y su analogía con los sentidos del cuerpo humano y su relación con el estudio de la física.

Los autores utilizaron a los robots como una herramienta cognitiva para que los alumnos realizaran experimentos con un registro y procesamiento de datos preciso, permitiendo, a los estudiantes, automatizar y manipular los experimentos, facilitando su repetitividad.

Durante este ensayo pedagógico, los estudiantes crearon diversos experimentos para estudiar los fenómenos mecánicos como la caída libre de cuerpos, las vibraciones mecánicas de una carga suspendida sobre un resorte, en los cuales, podían observar en la pantalla del microcontrolador, los valores del tiempo, la aceleración de la caída libre, el

periodo de oscilación de un resorte en tiempo real, entre otros, pudiendo manipular distintas variables y contrastar los resultados.

Los autores resaltan que, a lo largo de este trabajo la robótica despertó el interés de los alumnos en la investigación y experimentación, fomentando el trabajo colaborativo, alentando así el aprendizaje activo de los estudiantes. La robótica también estimuló en los alumnos la creatividad, la responsabilidad, la tolerancia y la necesidad de interrelacionarse con sus compañeros.

Las conclusiones de Ershov y Ospennikova (2015), llevan a que la introducción de la robótica educativa dentro de los programas de estudio, de distintas materias, debe ser sistemático y organizado, sin contradecir a los objetivos educativos de la materia, que la robótica puede y debe ser presentada en distintos temas y materias, fomentando el aprendizaje interdisciplinario.

Durante este experimento pedagógico los autores lograron desplazar a la robótica educativa del campo de la educación extracurricular. De acuerdo con ellos, enseñar física con robots, a través de un aprendizaje interdisciplinario, da como resultado un incremento en diversas actitudes de los alumnos que participaron en el experimento, las actitudes evaluadas y sus incrementos fueron los siguientes:

1. El interés de los estudiantes por estudiar física (34%)
2. Dominio sobre los temas del programa de estudios (18%)
3. Su disposición por seleccionar física y matemáticas como asignaturas optativas (19%)
4. Aspiraciones vocacionales en las áreas de ciencias e ingeniería (16%)

Para conocer más a fondo impacto de la robótica educativa en el aprendizaje de los alumnos, Ansorge y Barker, (2007) realizaron un estudio cuantitativo en una escuela primaria en una zona rural del estado de Nebraska. Esto se realizó a través de un taller extracurricular cuyo contenido fue planteado en base al plan de estudios nacional y diseñado por especialistas en educación del 4-H (Head, Heart, Hands, and Health), que

es una organización juvenil administrada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica y expertos de la Academia de Robótica de la Universidad Carnegie Mellon.

Para el desarrollo de este taller, los autores utilizaron equipos “Lego Mindstorms” y el software “Robolab” y capacitaron a un grupo de docentes en su uso.

Las actividades que plantearon se basaron en el modelo de aprendizaje de Kolb (1984) que tiene 5 fases:

- 1) Obtener experiencia realizando la actividad.
- 2) Compartir reacciones y observaciones en un contexto social.
- 3) Procesar, analizar y reflexionar sobre lo sucedido.
- 4) Generar nuevas concepciones a partir de lo aprendido y conectarlas con la vida cotidiana.
- 5) Aplicar lo que fue aprendido a una situación similar o diferente.

Con el fin de determinar la efectividad de esta intervención, Ansorge y Barker (2007), formaron dos grupos, un grupo experimental y otro de control, con alumnos de entre 9 y 11 años. A cada grupo se le aplicó un pretest de 24 reactivos de diferentes temas relativos a las ciencias abstractas, ingeniería y matemáticas.

Al final del taller que consistió en 12 sesiones durante 6 semanas, los autores aplicaron un postest y los resultados revelaron que los jóvenes que participaron en el taller obtuvieron un aumento significativo del 93% respecto a las puntuaciones medias en el postest, mientras que los jóvenes del grupo de control no tuvieron cambios significativos en las puntuaciones de las dos pruebas.

De acuerdo con este estudio, los autores concluyeron que la robótica educativa como actividad extracurricular, con actividades diseñadas en base a los planes de estudio, puede tener un impacto positivo en el rendimiento académico de los alumnos, además de fomentar su interés en las ciencias y la tecnología. Aunque hacen falta más estudios para comprobar su eficacia en diferentes tipos de poblaciones.

De acuerdo con Kapila e Iskander (2012), los niños y los adultos aprenden de formas diferentes, existiendo diferentes visiones del aprendizaje que llevan a diferentes metodologías de enseñanza-aprendizaje, desde las metodologías centradas en el docente hasta las centradas en el estudiante. Los autores argumentan que los estudiantes pueden aprender de distintas formas, a través de las explicaciones de los profesores, memorizando información, practicando y repitiendo procedimientos o modificando sus preconceptos de forma activa, partiendo de sus preconcepciones a través de la experimentación, la discusión y la argumentación. De acuerdo con los autores lamentablemente, los primeros métodos mencionados, son los que se utilizan comúnmente, dejando a un lado la posibilidad de que los estudiantes construyan su propio conocimiento, ya que implica un cambio de paradigma en la visión que tienen los docentes acerca de su rol en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Kapila e Iskander (2012), comentan que el aprendizaje activo, es decir la obtención de nuevos conocimientos basado en mayor participación del estudiante, donde éste desarrolle y adopte las habilidades de búsqueda, análisis y síntesis de información, permite a los estudiantes aplicar sus conocimientos en la vida cotidiana, ya que esta experiencia de colaboración y reflexión individual es permanente. Los autores plantean que el uso de robots como herramienta de enseñanza promueve este aprendizaje de forma interdisciplinaria permitiendo a los alumnos desarrollar conexiones entre distintas disciplinas como las matemáticas, las ciencias y la tecnología.

Para conocer el impacto del uso de robots en el aula como herramienta para el aprendizaje activo, Kapila e Iskander (2012) llevaron a cabo un estudio con alumnos del 4º grado de primaria de escuelas públicas de la ciudad de New York, midiendo los alcances logrados con la implementación de diversas estrategias didácticas en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Las escuelas que formaron parte de este estudio participaron en un programa que les facilitó equipos LEGO ROBOTICS y capacitó a sus docentes para diseñar e implementar diversas estrategias didácticas en el aula.

El tema que eligieron Kapila e Iskander (2012), para realizar su investigación fue el de conversión de unidades. Los autores de este estudio realizaron pruebas a los alumnos antes y después de la actividad para poder medir la eficacia del uso de la robótica

educativa, dichas pruebas contenían 6 problemas de conversión de unidades y en cada reactivo se incrementaba el nivel de dificultad, los problemas de las dos pruebas fueron iguales, pero en cada caso los valores eran distintos, los autores resaltan que dicho tema ya había sido enseñado a los estudiantes por un profesor de matemáticas.

Los autores reportaron que la actividad que realizaron los alumnos consistió en construir y programar un robot que avanzaba sobre tres pistas, la primera etiquetada en yardas, la segunda en pies y la tercera en pulgadas. Los alumnos registraron en una tabla las distancias recorridas y con los datos obtenidos realizaban conversiones de unidades y distintas operaciones matemáticas. Los autores de esta investigación comentaron que el uso de robots les permitió a los estudiantes comparar visualmente las equivalencias entre distintas unidades de longitud, facilitándoles comprender, de forma activa este procedimiento.

La prueba se realizó con un grupo de 15 estudiantes, trabajando en equipos de tres integrantes con el fin de fomentar el trabajo colaborativo. Kapila e Iskander (2012), reportaron que en el pretest solo 5 estudiantes lograron resolver correctamente todos los problemas de conversión de unidades, mientras que en el posttest 13 de ellos consiguieron solucionar de forma precisa todos los problemas, arrojando un incremento en el rendimiento medio de la clase de 36% a 92%. En su estudio, los autores encontraron que los alumnos mejoraron su capacidad para realizar conversiones y las observaciones en el aula mostraron que, independientemente de su género, todos los alumnos tomaron una parte activa en la actividad y que los estudiantes mostraron interés y una actitud positiva hacia la robótica.

Las conclusiones de los autores plantean que al utilizar robots como una herramienta de aprendizaje los estudiantes pueden comprender de forma activa conceptos abstractos, siendo atraídos a aprender haciendo preguntas y construyendo su propio conocimiento, dándoles oportunidad de desarrollar sus habilidades metacognitivas, al mismo tiempo de fomentar el trabajo colaborativo.

En otro estudio sobre el impacto de la robótica educativa, realizado en escuelas primarias y secundarias en Colombia, a través del programa Computadores para Educar, Asís y Bohórquez (2014), mostraron que la robótica educativa fomenta la participación de los

estudiantes, llevándolos a construir su propio conocimiento a través de la experimentación, permitiéndoles comprender leyes y fenómenos físicos, lo cual se ve reflejado en las pruebas de evaluación de conocimiento “SABER”.

De acuerdo con Asís y Bohórquez (2014), la robótica educativa, se incorporó en 2012 a las estrategias de acceso y formación en TIC del sistema educativo colombiano para fomentar la participación de los alumnos en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro de las aulas, principalmente, en las áreas de ciencias naturales y educación ambiental. Los autores de este estudio, con el fin de conocer el impacto de este programa, realizaron un estudio cuantitativo y cualitativo, contrastando los resultados de la prueba SABER del 5° y 9° grado de los años 2009 y 2012 de 15 sedes educativas, distribuidas en distintas regiones del país, además de recopilar las experiencias que compartieron los alumnos y profesores.

Otro aspecto por evaluar por parte de los autores fue la influencia en el rendimiento de los alumnos cuando los profesores recibieron apoyo en el uso de la robótica como herramienta educativa de forma presencial o en línea y cuando no recibieron ningún apoyo; encontrando en todos los casos una mejoría general en el desempeño de los alumnos, aunque esta mejoría fue mayor cuando los docentes recibieron apoyo, y menor cuando no recibieron ningún apoyo.

De acuerdo con este estudio realizado en Colombia entre el año 2009 y el 2012, cuando se implementaron las estrategias con robótica, se obtuvo una mejora, en el 5° grado, donde se presentó una disminución en el número de alumnos que obtuvieron un nivel insuficiente y un aumento en los que alcanzaron niveles de satisfactorio y avanzado en el área de ciencias naturales. Los autores también hacen una comparación entre los alumnos de noveno grado de la generación 2009, que no participaron en actividades de aprendizaje que incluyeran a la robótica como herramienta didáctica y los alumnos de la generación 2012 que sí contaron con este recurso didáctico. Los resultados de esta última comparación mostraron un mejor rendimiento académico en los alumnos que tuvieron la oportunidad de contar con la robótica como recurso didáctico. Por lo cual, los autores llegaron a la conclusión de que la robótica como herramienta didáctica tiene un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes.

En las encuestas que realizaron Asís y Bohórquez (2014), a los docentes encontraron que solamente el 27% de los profesores, tenían conocimientos previos sobre electrónica y programación, debido a su área de formación, mientras que el 73% no contaba con estos conocimientos, sin embargo, el 100% mostró una actitud positiva para aprender a usar esta tecnología en sus clases.

Los autores de este estudio concluyeron que la robótica educativa fortalece las competencias en diferentes áreas del conocimiento, desarrollando la creatividad del docente como orientador y haciendo partícipes a los estudiantes de su propio aprendizaje y que un importante factor de éxito para este cometido es la capacitación de los profesores en esta herramienta educativa. También hicieron hincapié en la necesidad de desarrollar contenidos transversales, que fortalezcan las competencias en ciencias naturales y educación ambiental, al mismo tiempo de fortalecer el trabajo virtual.

De acuerdo con las investigaciones de Pettibone, Stephen, Stein, Thomas y Weinberg, J. (2006), existe una brecha de género en ingeniería y ciencias en los Estados Unidos de Norteamérica, por lo cual se han implementado diversos programas entre los cuales están los de robótica en las escuelas de nivel básico y medio para disminuir esta brecha. De acuerdo con los autores, los programas de robótica educativa han tomado un papel muy importante y aunque al parecer queda claro que la robótica facilita el aprendizaje de conceptos abstractos de las matemáticas y las ciencias, no hay claridad en cuanto a si estas actividades logran que la percepción que tienen los alumnos de estas áreas del conocimiento cambie, influyendo en su decisión para seleccionar una carrera universitaria.

Los autores plantean que las niñas tienen una menor autopercepción de éxito comparada con la de los niños, en profesiones relacionadas con las ciencias y la ingeniería, indicando que estas actitudes negativas se presentan desde la infancia debido a diversos factores, por lo cual Pettibone et al. (2006), llevaron a cabo un estudio para conocer si las niñas que participaron en programas de robótica educativa, modificaban sus actitudes hacia las ciencias y la ingeniería y si esto influía en su decisión para seleccionar una profesión. Este estudio lo llevaron a cabo con un grupo de niñas que participaron en un programa que las preparaba para participar en un torneo de robótica a nivel nacional.

El programa que seleccionaron los autores para su estudio implicaba que los participantes trabajaran colaborativamente en un ambiente competitivo durante un periodo de 7 semanas de preparación, donde el rol del profesor fue guiar a los alumnos en el diseño y construcción de un robot. Las niñas que participaron en este estudio cursaban el 7° grado y era la primera vez que participaban en un torneo de robótica.

Antes de iniciar el programa en el cual participaron las niñas, los autores les aplicaron un test, para conocer sus ideas sobre los estereotipos de roles de género, su percepción sobre sus capacidades y habilidades para las ciencias y la tecnología y sus objetivos a largo y mediano plazo. Los autores completaron su estudio con una serie de entrevistas a los participantes, sus padres y profesores. Al final de la competencia se repitió el test y las entrevistas para contrastar los resultados y sacar conclusiones.

Pettibone et al, (2006), reportaron que en la primera etapa de su estudio se encontró que las creencias de roles de género llevaron a las niñas a expectativas negativas sobre su propio desempeño y éxito en la competencia, viéndose reflejadas en sus preferencias futuras para elegir una carrera. En la segunda etapa, que se llevó a cabo al final del torneo, los autores encontraron que las niñas tenían una actitud positiva hacia las ciencias y las matemáticas, aumentando su autoconfianza para tener éxito en estas áreas. Los autores también observaron que este efecto fue más notorio en las niñas que participaron en equipos mixtos de género, aunque al principio, preferían realizar tareas relacionadas a la programación y creación de blogs en internet, al final de la competencia no tenían inconveniente en participar en la construcción del robot.

Los autores, al final de este estudio, llegaron a la conclusión de que la participación de las niñas en estos programas ayuda a reducir la brecha de género en ciencia e ingeniería, a través del cambio de creencias, sobre los roles tradicionales de género y el aumento de actitudes positivas sobre las matemáticas, las ciencias y carreras afines a estas áreas. Dado que el programa de robótica en el cual se realizó este estudio duró sólo siete semanas, estos resultados indicaron que los programas a corto plazo, bien estructurados, pueden modificar, efectivamente, las creencias sociales y culturales, llegando a ser, particularmente prometedores, para alentar a las niñas a perseguir áreas de las matemáticas, las ciencias y la ingeniería para estudios posteriores y selección de carreras.

De acuerdo con Cielniak, Gyebi y Hanheide, M. (2015), en África, los países subsaharianos intentando hacer frente sus grandes problemas educativos, han implementado la robótica educativa como una herramienta didáctica para mejorar la calidad de la enseñanza. Los autores hacen mención que las instituciones educativas de estos países que han optado por esta herramienta educativa y la seleccionaron, debido a que diversos teóricos e investigadores educativos, argumentan que la robótica contribuye al proceso de enseñanza-aprendizaje, fomentando en los estudiantes, el interés, el trabajo colaborativo, el aprendizaje activo, además de permitir a los docentes hacer una evaluación formativa y continua del proceso de aprendizaje de los alumnos, pudiéndose implementar en distintas etapas educativas, que van desde la educación básica hasta el nivel universitario.

Cielniak, et al. (2015), evaluaron el potencial de la robótica educativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje y su utilidad como herramienta didáctica, para identificar las cuestiones técnicas y pedagógicas que limiten su efectividad. Los autores llevaron a cabo su estudio dentro de un programa piloto de la Universidad de Ghana, que introduce a los estudiantes de primer semestre de las áreas de Informática y Ciencias, en la programación de robots. El fin de la evaluación realizada por los autores, fue conocer el impacto de la robótica en los alumnos y saber, si esto, se ve reflejado en sus habilidades de escritura, pensamiento crítico y su desempeño en las asignaturas de matemáticas y física.

Las actividades que implementaron Cielniak, et al. (2015), durante tres semanas, abarcaban distintos temas como sistemas numéricos, representación de datos, lógica booleana y estructuras de control, tales como funciones, bucles, etc. Las tareas del taller fueron diseñadas como una introducción gradual de los estudiantes en el conocimiento del robot y su entorno de programación. Durante la primera semana, los autores introdujeron a los alumnos en los principios básicos de la programación y en el conocimiento de los componentes que conformaban al robot. Para la segunda semana, los alumnos programaron a los robots para que ejecutaran distintos movimientos, utilizando estructuras de programación más elaborada. En la última semana, los alumnos programaron sus robots para participar en una competencia organizada por los autores de este estudio.

Al término de esas tres semanas, Cielniak et al. (2015), aplicaron una serie de cuestionarios a los alumnos para conocer el nivel de interés y compromiso que despertó la robótica en ellos. Los autores diseñaron las preguntas para que los alumnos reportaran y calificaran su experiencia, junto con los conocimientos y conceptos que lograron comprender de programación y de otras asignaturas

En este estudio realizado por Cielniak, et al. (2015), participaron 176 estudiantes, los cuales se agruparon en equipos de 10 alumnos debido al limitado número de robots. Los autores comentan que el reducido número de robots fue una limitante en su estudio, pero que esto les permitió evaluar las habilidades para el trabajo colaborativo de los alumnos.

Los resultados de los cuestionarios reflejaron que la mayoría de los estudiantes tenían poca o nula experiencia en actividades que involucraran el uso de robots, como herramienta didáctica en el aula. En cuanto a su percepción sobre la utilidad que tuvieron las actividades con robots, para alcanzar los aprendizajes, los alumnos comentaron que les permitió comprender de forma clara la lógica booleana, las estructuras de control y algunos conceptos de física, pero no temas como contadores y generadores de números aleatorios ya que no se utilizaron con mucha frecuencia en la programación de los robots.

Las conclusiones a las que llegaron los autores de este estudio indican que la robótica educativa es una opción prometedora para mejorar la calidad del aprendizaje en el aula. Debido a que los alumnos fueron capaces de aprender los conceptos básicos de la programación e introducirse a un lenguaje de programación que era desconocido para ellos a través de la robótica, al mismo tiempo de comprender algunos conceptos de física. También mencionan que las principales limitaciones a las que se enfrentaron son, la falta de infraestructura adecuada para llevar a cabo estas actividades y la asignación de recursos por parte del gobierno y las instituciones educativas.

De acuerdo con García, González, C. y González, S. (2014), en los últimos años en México, se han hecho esfuerzos para acercar la ciencia y la tecnología a los jóvenes y niños, pero el impacto ha sido limitado por la falta de recursos tecnológicos en muchas de las escuelas, sobre todo, en las que están ubicadas en zonas rurales. De acuerdo con los autores en México existe una gran apatía por parte de los estudiantes por conocer y

aprender matemáticas y ciencias lo cual se ve reflejado en los resultados negativos en estas áreas en la prueba ENLACE.

A partir de esta problemática y con el fin de impulsar el interés por la ciencia y la tecnología en los alumnos de las escuelas primarias de Yucatán, García. et al (2014), desarrollan una serie de experiencias didácticas, con niños de escuelas primarias en las cuales se utilizaron materiales eléctricos, electrónicos y robots con el fin de que los alumnos interactuaran con ellos y que fuera posible explicarles de forma interactiva, conceptos básicos relacionados con la electricidad y el magnetismo. Las actividades llamadas “Un día de Ciencia y Tecnología en tu escuela”, se implementaron en 12 escuelas primarias, ubicadas en el oriente del estado de Yucatán, de tal forma que participaron cerca de 90 profesores y 2300 niños.

García et al. (2014), evaluaron este ensayo a través de un cuestionario de opinión a los profesores, sobre como percibieron el interés de los alumnos y los profesores. A su vez, aplicaron a los alumnos, un cuestionario previo y otro final. De acuerdo con lo que reportaron los profesores, el interés y la motivación de los alumnos por las ciencias y la tecnología sí fueron promovidos por las actividades implementadas. Pero los autores reportaron que los resultados de los cuestionarios aplicados a los alumnos de primer grado arrojaron resultados negativos donde el 48% los alumnos de primer grado contesto correctamente el cuestionario previo viéndose reducido este porcentaje al 34% en el cuestionario final. Resultados semejantes se observaron con los alumnos de los demás grados.

En opinión de García et al. (2014), estos resultados, nos harían pensar en un primer instante, que las actividades llevadas a cabo, en lugar de apoyar el aprendizaje de los alumnos, resultaron ser un obstáculo o distractor. Los autores comentan que una de las posibles causas de estos resultados negativos, este en el hecho que el cuestionario previo fue evaluado por los profesores y el cuestionario final por los organizadores de este estudio, lo cual fue un error por parte de los autores de este estudio. Para los autores, los bajos resultados obtenidos, son motivo de preocupación, lo cual implica la necesidad de reforzar y dar claridad a los aprendizajes que se pretendían alcanzar a través de las

actividades planteadas. De acuerdo con los profesores de los alumnos, que participaron, estos resultados negativos, están relacionados con el limitado tiempo que se les dio a las actividades, las instalaciones y la cantidad de materiales disponibles para el número de alumnos presentes.

Las conclusiones que plantean García et al. (2014), son que el uso de herramientas tecnológicas como los robots les permitió a los niños despertar su interés por las ciencias y tecnologías, aunque en los temas relacionados a la electricidad presentaron deficiencias en su aprendizaje. La motivación observada en los alumnos es un factor muy importante que tomar en cuenta en futuros proyectos. Por lo cual, los autores plantean que es necesario realizar más proyectos que estén enfocados a mejorar los procesos de aprendizaje, a través de estrategias que incluyan actividades interactivas que acerquen a los alumnos a la ciencia y la tecnología, para lo cual la robótica es una opción viable.

En otro trabajo, Escalante, García, González, Montañez, (2014) llevaron a cabo un estudio con alumnos de CONALEP que participaron en dos talleres realizados por el Instituto de Robótica de Yucatán "TRIY". Los talleres que impartieron los autores durante cuatro sesiones sabatinas tenían el fin de que los alumnos relacionaran los conceptos básicos de matemáticas con los movimientos de un robot virtual y uno físico. Los alumnos se dividieron en dos grupos de 16 y 15 integrantes. Un grupo participó en un taller donde se utilizaron robots Lego y el otro grupo en un taller donde se utilizó el software de animación Scratch.

Las actividades que plantearon Escalante et al. (2014) para la primera sesión consistieron en describir las diferentes aplicaciones de los robots en distintas áreas. En la segunda sesión, introdujeron a los alumnos a la programación del robot a través de la elaboración de varios programas para controlar el movimiento del robot a través de distintos sensores. En la tercera sesión, los autores expusieron el tema del plano cartesiano y los alumnos tuvieron que programar el robot para que se posicionara en ciertas coordenadas a partir de origen del plano cartesiano o de alguna otra coordenada específica. Para la última sesión, los autores aplicaron una evaluación a los estudiantes con el fin de conocer los

aprendizajes que habían adquirido a través de una serie de preguntas y problemas relacionados al tema del plano cartesiano.

Los resultados de las evaluaciones realizadas por los autores mostraron que el 66% de los estudiantes del grupo que utilizó el software de animación Scratch aprobó la evaluación, obteniendo un promedio grupal de 72.03 en una escala de 100 puntos. Mientras que en el grupo que utilizó el robot Lego sólo el 56% de los alumnos aprobó la evaluación obteniendo un promedio grupal de 56.83 puntos.

La conclusión a la que llegan Escalante et al. (2014), es que en los dos talleres se observó gran interés por parte de los alumnos en las actividades que desarrollaron y en relación con el aprovechamiento se obtuvo mejor resultado con el software de animación. Debido al gran interés que los autores observaron por parte de los alumnos en los dos talleres propusieron seguirlos impartiendo no solo en el área de las matemáticas sino llevarlos a otras áreas del conocimiento. También sugieren que es necesario dar más tiempo al tema en el cual está centrado el aprendizaje, por lo menos, que se le dedique el mismo tiempo a la herramienta tecnológica empleada para generar el interés de los alumnos.

Haciendo una síntesis de los estudios presentados en párrafos anteriores, los resultados positivos mostrados en estos trabajos de investigación, acerca de la pertinencia y efectividad de la robótica como herramienta educativa en distintas áreas del conocimiento y niveles educativos, indican la posibilidad de que estas actividades se integren dentro de los currículos de las escuelas de nivel básico, medio y superior, principalmente en las áreas de matemáticas y ciencias, para mejorar la enseñanza en el aula. Con ello, los alumnos, mediante la creación de un entorno en el que puedan programar y entender los principios físicos del funcionamiento de un robot, puedan lograr una transformación conceptual, mejorando sus habilidades en la solución de problemas y trabajo en equipo.

Varios autores piensan que la robótica educativa puede tener un impacto positivo en las actitudes de los alumnos hacia las ciencias y las ingenierías, lo cual en algunos casos se puede reflejar en la decisión de los alumnos al seleccionar carreras afines a estas áreas.

Aunque la robótica educativa ha demostrado resultados positivos durante los últimos 30 años, desde niveles básicos hasta la educación superior, aún necesita ser evaluada en diferentes contextos, incluyendo diferentes etapas educativas y temas. Es importante

destacar aquí que los robots educativos no pueden ser considerados como una panacea a todos los problemas educativos, sino como una herramienta que permite llevar a los estudiantes a través de un aprendizaje activo.

Para que la robótica educativa, verdaderamente tenga impacto significativo en las aulas, se requiere de planeación sistemática de las actividades que la involucren, una infraestructura adecuada y un cambio de paradigma en la visión de los docentes sobre su papel en el proceso de enseñanza-aprendizaje. De igual forma, es necesario que las autoridades educativas apoyen estos proyectos con equipos e infraestructura y den capacitación a los docentes.

### **1.3 La Robótica educativa dentro de las Políticas Educativas**

Dada la importancia a nivel mundial de la educación, como el eje de desarrollo para todas las naciones, parte imprescindible de los discursos políticos, en cualquier escala, de las organizaciones que lideran la función social y económica alrededor del planeta, es mejorar la calidad educativa y, uno de los puntos de discusión, es el incluir a la robótica educativa dentro de los currículos oficiales, por lo cual, a continuación, se presentan las propuestas y cambios que algunas naciones están haciendo al respecto.

De acuerdo con información consultada en la página oficial del Ministerio de Educación y Cultura de Finlandia (*Políticas-and-Development-General-Education, 2016*), dentro de su currículo nacional, implementado en 2004, no se contemplaba a la robótica educativa, aunque, desde 1990 forma parte de la educación tecnológica que proporcionan algunas escuelas y también se desarrolla en cursos extracurriculares. Como parte de la labor para fomentar el uso de la robótica, como una herramienta educativa, durante el año escolar 2012-2013, el Centro de Aprendizaje Innokas, inició un programa con el fin de guiar y animar a los estudiantes, profesores, administración escolar y todas las partes involucradas en la educación, a ser creativos e innovadores utilizando la tecnología disponible. Este proyecto, de forma inicial, incluyó a alumnos y profesores de diversas regiones de Finlandia y también a padres, estudiantes universitarios y personal escolar. En el nuevo plan de educación nacional de Finlandia, que entró en vigor en 2016, se ha añadido a la Currícula de los niveles básicos y de bachillerato, la programación, donde

entre las diversas actividades se contempla el uso de la robótica (*History of robotics in Finnish schools, 2016*).

De acuerdo con Park (2015), Corea del Sur implementó la Robótica Educativa, en la década de los 90 con talleres itinerantes que se desplazaban por todas las escuelas del país. Este programa encontró gran aceptación entre los alumnos y profesores, por lo cual las autoridades educativas hicieron modificaciones a los programas de estudio para incluir a la robótica dentro de la currícula oficial. De esta forma, en 1998 se incorporó a la robótica educativa dentro de las actividades curriculares para el desarrollo de habilidades y competencias tecnológicas, en todos los niveles educativos. Park (2015) comenta que, en esa época, los estudiantes surcoreanos cursaban o habían cursado asignaturas en las que se implementa la robótica como una herramienta para el aprendizaje. De acuerdo con Park (2015), el éxito de la robótica educativa en las aulas se ha reflejado en las pruebas PISA, donde su país ocupa los primeros lugares a nivel mundial en calidad educativa. El gobierno Sur Coreano, lleva décadas desarrollando el modelo educativo denominado Educación Inteligente (Smart Education), a través de la capacitación de sus docentes en el uso de las TIC incluyendo la Robótica. En la actualidad, el gobierno coreano cuenta con diferentes proyectos de cooperación internacional, con los cuales pretende ayudar a países en vías de desarrollo a incorporar la enseñanza de la robótica educativa en los programas de estudio (Park ,2015).

Cabe mencionar que Corea del Sur, está siendo precursora en relevar a los profesores con robots. El programa piloto introdujo robots controlados a distancia por maestros filipinos para dar clases de inglés en las escuelas primarias. Estos robots son capaces de desplazarse por toda el aula, leyendo libros e incluso bailan, para crear empatía con los alumnos. De acuerdo con las autoridades educativas de Corea del Sur, contratar maestros filipinos y utilizar robots, resulta mucho más económico y eficiente que contratar profesores surcoreanos, se evita pagar vacaciones, seguros médicos y pensiones. En cuanto a los niños que han sido participes de este proyecto, su respuesta ha sido favorable, ya que comentan que prefieren robots en lugar de humanos como profesores de inglés (Chang, C., Lee J., Chao, P., Wang, C. y Chen G., 2010).

Costa Rica, en 1988 se convirtió en el primer país de América Latina y el Caribe en difundir un programa nacional de informática educativa “REDAL”, mediante el cual, las escuelas públicas se equiparon con la infraestructura tecnológica adecuada y se capacitó a los profesores en el uso de las TIC. De esta forma, el Ministerio de Educación Pública (MEP), con apoyo de la Fundación Omar Dengo, introdujeron la tecnología informática, incluso antes que lo hicieran las escuelas privadas, marcando el inicio de una política pública para fomentar las habilidades tecnológicas (Las Tic y la Robótica Educativa, 2005).

De esta forma, la Fundación Omar Dengo, a través del Centro de Innovación Educativa, que, en conjunto con el MEP y el Programa Nacional de Informática Educativa (PRONIE MEP-FOD), arrancaron en el año 1998, una serie de iniciativas de apoyo curricular en los centros educativos que contaban con laboratorios de cómputo, en los cuales se introduce la robótica educativa para fomentar el diseño y construcción de Robots, que permitieran los estudiantes comprender las leyes de la Física. Según lo menciona Acuña (2012), los proyectos de robótica educativa en Costa Rica se conformaron para desarrollar habilidades relacionadas con el diseño tecnológico como son: el trabajo por proyectos para el diseño de prototipos y simulaciones; la resolución de problemas comunales; la comprensión y simulación de procesos de producción o industriales; el diseño, control y automatización de mecanismos, la evaluación de productos y la socialización de resultados (Las Tic y la Robótica Educativa, 2005).

El diseño curricular del Ministerio de Educación del Perú establece que las clases de robótica deben tener un promedio de dos horas a la semana, impartidas en las denominadas aulas de innovación, que es el nombre que reciben las salas de cómputo. Estas aulas de cómputo están siendo asesoradas, supervisadas por personal altamente calificado de la Dirección General de Tecnologías Educativas (DIGETE, 2011).

El Gobierno Central peruano en 2011 a través de la DIGETE, ha proporcionado la compra de 99,000 kits de robótica para las escuelas del nivel de primaria y algunas secundarias para impartir cursos de robótica. Estos cursos facilitan el aprendizaje de los principios de la física, con la construcción de modelos que involucren retos y alternativas de solución a las dificultades que se presenten en el desarrollo del modelado de un robot (DIGETE, 2011).

Dentro del bachillerato peruano se inició un programa piloto, en escuelas públicas y privadas, en el cual los alumnos deben comprender y aplicar los conceptos básicos de la mecánica, programación, uso de diferentes tics como, podcast y videos, a través de la robótica. También está la opción de llevar un diplomado de robótica dirigido a alumnos de 16 a 19 años con una duración de dos años (DIGETE, 2011).

Aunque las encuestas realizadas por el ministerio de educación a los alumnos reflejan que a la mayoría de ellos les agrada esta nueva forma de aprender y que les ha permitido comprender de forma más clara muchos conceptos de la física y las matemáticas, en las evaluaciones de PISA (Programa Internacional de evaluación a estudiantes), la cual es promovida por la organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Perú ocupa los últimos lugares en dicha evaluación. De acuerdo con Peralta, (2016) tal vez esto se deba a que, en muchos países de América Latina, cuando se piensa en la calidad educativa sólo se hace en términos de insumos de la educación (Infraestructura, materiales de enseñanza, etc.) dejando de lado la complejidad de todo el proceso educativo.

Como podemos ver de párrafos anteriores, son varios los países alrededor del mundo que están incluyendo dentro de sus planes de estudio a la robótica y, en algunos casos, los resultados han sido positivos, por lo cual es importante que en México se contemple esta posibilidad, ya que, en la actualidad, los países en vías de desarrollo como México, son tecnológicamente dependientes y esto nos hace pensar que todo elemento tecnológico debe provenir de los países desarrollados. El trabajo con proyectos de robótica dentro de las aulas, además de contribuir en el proceso de enseñanza-aprendizaje, permite revertir ese concepto tan arraigado en nuestra cultura. Por lo cual la integración de la robótica educativa en los planes de estudio en los niveles básicos y medios es de suma importancia para los países en vías de desarrollo.

Aunque de forma oficial dentro de los planes de estudio en México aún no está contemplada la Robótica, muchas instituciones tanto públicas como privadas están

incursionando en este campo. A continuación, presentaré un panorama general de lo que se ha hecho hasta el momento.

#### **1.4 Robótica educativa en México**

La robótica educativa en México surge hace más de 10 años. En el caso de la UNAM en 2006 en sus dos bachilleratos (ENP y CCH), se forman los Club de Robótica e Informática, como una actividad extracurricular, con el fin de acercar a los alumnos las áreas de las ciencias e ingeniería, además de cursos para niños impartidos en el museo UNIVERSUM.

En 2012 cuando la Ciudad de México fue la sede de la Copa Mundial de Robótica “ROBOCUP” y se invita a participar a las instituciones públicas y privadas de todo el país, desde nivel primaria hasta posgrados, algunas instituciones educativas incorporaron a la robótica educativa dentro de sus actividades extracurriculares. En muchos casos, estas actividades están enfocadas, solamente, a que los alumnos diseñen, construyan y programen robots para participar en diversas competencias nacionales e internacionales, dejando de lado la integración de conocimientos de las asignaturas curriculares como las matemáticas y la física. También cabe destacar, que algunas de estas competencias son excluyentes para muchos, por los altos costos de inscripción, además de que, en ciertas competencias, se exige la utilización de equipo de determinadas marcas prohibiendo el uso de hardware y software libre. Las principales competencias que se llevan a cabo en México son la Copa Internacional de Robótica organizado por el Instituto Politécnico Nacional, el Torneo Mexicano de Robótica por la Federación Mexicana de Robótica, la World Robotic Olympiad por la WRO México, Robomatrix América organizada por Educare, First Lego League por Fundación Explora y Vex Robotics Competition por Vexrobotics México.

Dentro del sector público destacan algunos programas como el Programa de Robótica Educativa como Estrategia Didáctica en la Enseñanza de Habilidades de Comunicación, Matemáticas y Pensamiento Científico-Tecnológico en la Educación Secundaria, (Diario Oficial de la Federación, 2015) donde, en el programa piloto, se incorporan 50 secundarias ubicadas en polígonos de extrema pobreza del estado de Nuevo León, las cuales fueron

equipadas con equipos LEGO y se capacitó a los docentes en el uso de esta tecnología, para que la incorporen dentro de sus estrategias didácticas. También se pretende preparar a los alumnos para que participen en competencias nacionales como: WR, First Lego, Expociencias y el Torneo Mexicano de robótica (Robocup).

El gobierno de Sinaloa en conjunto con la SEP (Tecnología Educativa, 2016), lanzó una convocatoria a los directores de escuelas secundarias para que inviten a sus profesores, principalmente de Ciencias (Biología, Física y Química), pero también en Matemáticas y Español, para que se capaciten en el uso de kits de Robótica LEGO como material de apoyo dentro de distintas situaciones didácticas. Las escuelas que participaron en este proyecto recibieron 12 equipos LEGO y una guía didáctica donde se propone un conjunto de secuencias didácticas para distintas asignaturas en las que se contemplan español, matemáticas, física, química y biología.

La red nacional de centros comunitarios de capacitación y educación digital “Punto México Conectado”, es una iniciativa del gobierno federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que pretende cerrar la brecha digital que existe entre los distintos sectores de la población mexicana, dentro del conjunto de acciones de este proyecto, está la impartición de cursos de robótica a niños de 8 a 14 años, dichos cursos tienen una duración de 24 horas presenciales y se imparten a partir del 2015 en 32 puntos en todo el país uno en cada estado ( Puntos México Conectado, 2015).

En 2016 dentro de la propuesta curricular para la educación obligatoria, se contempla la posibilidad de sumar al currículo otras temáticas que no se cubren en las asignaturas de los tres campos formativos del componente Aprendizajes Clave, tanto porque son susceptibles de aprenderse fuera de la escuela, como porque se requieren docentes especializados para impartirlas. Entre las temáticas propuesta se incluyen Talleres de robótica, programación y pensamiento algorítmico, cabe mencionar que será decisión de cada escuela el incorporar dichas actividades (Nuevo Modelo Educativo, 2016).

## 1.5 Comentarios

De acuerdo con lo anterior, podemos resumir que un planteamiento didáctico adecuado, un diseño y planeación de estrategias de enseñanza-aprendizaje adecuadas y coherentes con los propósitos del aprendizaje, puede apoyar a la robótica educativa para que sea más fructífera en su inserción en las escuelas. Esto puede generar cambios en la metodología didáctica de un curso escolar, contribuyendo a la reflexión, tanto de los estudiantes, como de los docentes, a través de distintas estrategias que se pueden diseñar e implementar, para facilitar a los alumnos la comprensión de distintos aprendizajes en diversas asignaturas, al mismo tiempo de fortalecer el desarrollo de habilidades tecnológicas y la solución de problemas, lo que les será de utilidad a lo largo de su vida.

En base a un enfoque constructivista, la implementación de este esquema de enseñanza-aprendizaje, permite la construcción del conocimiento de los estudiantes, al ser participantes directos en su aprendizaje. El docente debe de tomar papel de facilitador, proporcionando conocimientos previos para que los alumnos, al manipular los robots, alcancen la comprensión de los conceptos a través de la experimentación.

La Robótica educativa, también fomenta el trabajo colaborativo, ya que se trabaja en equipo y, de manera individual generando la aportación de ideas y el desarrollo de habilidades de convivencia.

Lo descrito da cuenta de diversos casos de estudio, sobre la aplicación de la robótica educativa como estrategia didáctica, que han demostrado su impacto en el aprendizaje de los alumnos, en diferentes niveles educativos. A partir de que la Robótica Educativa cobra cada vez mayor importancia en la educación, distintas autoridades educativas, alrededor del mundo, la están incluyendo dentro de su currículo, como estrategia didáctica principalmente para la enseñanza de las ciencias y las matemáticas o como una actividad extracurricular, que integra y complementa los aprendizajes de distintas asignaturas. A continuación, se presenta en las tablas 1.1 y 1.2 un resumen de la información más relevante. La tabla 1.1 resalta los resultados más relevantes obtenidos en algunos casos de estudio y en la tabla 1.2 los programas educativos más significativos implementados por distintas naciones.

Tabla 1.1 Resultados obtenidos en algunos casos de estudio de la implementación de la robótica educativa como estrategia de enseñanza-aprendizaje.

<b>Caso de estudio</b>	<b>Propósito(s)</b>	<b>Resultados</b>
La robótica educativa como tecnología educativa innovadora en Rusia.	Utilizar robots como herramienta cognitiva y como medio de enseñanza, en la física con alumnos de secundaria durante un periodo de tres años.	Se encontró que el interés de los alumnos en la asignatura se incrementó al igual que su rendimiento académico, los autores resaltan la importancia de incluir a la robótica educativa de forma sistemática y organizada y nunca contradecir los objetivos de la asignatura en la cual se implemente.
La robótica como medio para aumentar el rendimiento escolar University of Nebraska-Lincoln.	Determinar el impacto de la robótica educativa en el rendimiento escolar con alumnos de 9 a 11 años de una escuela rural del estado de Nebraska.	Esta actividad se llevó a cabo durante 6 semanas. Al final del estudio se encontró una mejora significativa en el rendimiento escolar de los alumnos que participaron respecto a los que no lo hicieron en asignaturas relacionadas a las ciencias y las matemáticas.
Uso de la robótica para promover el aprendizaje en la educación primaria Polytechnic Institute of New York University.	Medir los alcances logrados con la implementación de estrategias didácticas en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas con alumnos de 4 grado de primaria.	Los resultados de este estudio se basaron en las habilidades de los alumnos para la conversión de unidades antes y después de las actividades con robots encontrando una mejoría del 58% en promedio.
Colombia Programa Computadores para educar	Medir el impacto de la robótica educativa en las escuelas que participaron en el programa.	A un año de implementarse el programa se presentó una reducción de 3 puntos porcentuales en el número de alumnos que no aprobaron las pruebas estandarizadas de ciencias y matemáticas y un aumento del 5% en el número de alumnos con resultados satisfactorios y avanzados.
Electrónica interactiva con niños de educación primaria del estado de Yucatán.	Fomentar y promover el interés por la ciencia y la tecnología entre los estudiantes de educación primaria del Oriente del Estado de Yucatán.	Los resultados mostraron que las estrategias con robots despertaron el interés de alumnos y profesores, pero en las pruebas de conocimiento se presentó un retroceso, estos resultados negativos pudieron ser porque se efectuó una sola sesión y el número de robots fue limitado para el número de alumnos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Programas educativos de gobierno en México que fomentan la robótica educativa.

País	Programas Educativos y la robótica educativa
Finlandia	En el nuevo plan de educación nacional de Finlandia que entró en vigor en 2016 las asignaturas tradicionales fueron sustituidas por proyectos temáticos donde la robótica será parte de ellos.
Corea del Sur	Desde 1998 incorporó actividades curriculares para el desarrollo del talento a través de la Robótica. Hoy en día la gran mayoría de estudiantes en Corea cursan o cursaron robótica de manera curricular o extracurricular.
Costa Rica	Desde 1998 introdujo el programa nacional de informática educativa donde la robótica es utilizada para el diseño y construcción de modelos que permitan a los estudiantes comprender las leyes de la física.
Perú	A partir de 2011 implementó dos horas de clase a la semana de robótica para alumnos de primaria y secundaria. Dentro del bachillerato se lanzó un programa piloto para que los alumnos desarrollen sus habilidades en el uso de las tics incluida la robótica.
Nuevo León, México	En 2015 el gobierno del estado de Nuevo León en conjunto con la secretaria de Educación Pública lanzó un programa donde equipa con equipos Lego y capacitaron en su uso a profesores de 50 escuelas secundarias de zonas marginadas para introducir a la robótica como estrategia didáctica en distintas asignaturas.
Sinaloa, México	En 2014 el gobierno del estado de Sinaloa en conjunto con la secretaria de educación Pública lanza una convocatoria a las escuelas secundarias para que los profesores se capaciten en el uso de Kits Lego, las escuelas que participaron recibieron 12 equipos Lego y una guía didáctica donde se proponen un conjunto de secuencias didácticas para distintas asignaturas en las que se contemplan español, matemáticas, física, química y biología.
México	El gobierno federal en 2015 a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes lanzó el proyecto “Punto México conectado” en el cual está formado por 32 puntos uno en cada estado, donde se imparten cursos de robótica con una duración de 24 horas para niños de 8 a 14 años.
México	En 2016 dentro de la propuesta curricular para la educación obligatoria se contempla la posibilidad de sumar al currículo otras temáticas que no se cubren en las asignaturas entre las cuales destaca el impartir cursos de robótica.

Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo II Marco Teórico

La problemática de la enseñanza de las ciencias proviene de diferentes factores que afectan el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. Estos factores parten desde la propia visión de los profesores acerca de la ciencia, los procesos de construcción del conocimiento, las estrategias didácticas y los fundamentos que sustentan a estas (Calderón, García y Gallegos, 2007). Dentro de estas visiones aún prevalece la idea de una enseñanza de las ciencias tradicionalista, en la cual el profesor es quien posee el conocimiento y los alumnos sólo son receptores de este. Es común que este proceso se dé a través de clases magistrales o demostrativas donde el alumno es un mero observador que acumula información y que, en el mejor de los casos, solo alcanza un aprendizaje memorístico (Castaño y Esperanza, 2007).

Es importante destacar que existen distintas visiones sobre el aprendizaje de la ciencia y las problemáticas que se presentan en este proceso, partiendo de tres enfoques: epistemológico, psicológico y educativo, lo que lleva a distintas posturas acerca del cambio conceptual planteándose también diferentes tipos y grados de cambio. Otro factor importante por tomar en cuenta es la evolución de la ciencia y la visión que se tiene de esta, la cual ha progresado desde una perspectiva de la ciencia como una actividad que parte de la acumulación progresiva de conocimientos, a una que implica una reestructuración compleja de conceptos que, en algunos casos, conlleva una ruptura con las concepciones ya establecidas (Pozo y Flores, 2007).

También resulta trascendental que los docentes tomen en cuenta la visión de la ciencia basada en modelos y que fomenten esta visión en los alumnos, impulsándolos a elaborar sus propios modelos que den explicación a diferentes fenómenos, de tal forma que los estudiantes construyan su propio conocimiento. Esto es relevante en la enseñanza de las ciencias debido a que la construcción y revisión de modelos es una parte importante dentro la investigación científica (Duschl, R. y Grandy, R., 2008).

Por estos motivos, y con el fin de fundamentar la secuencia didáctica que se propone en este trabajo, es importante hacer una revisión de los cambios de la visión de la ciencia que se han dado a lo largo del siglo XX: la ciencia basada en modelos, la argumentación

científica y de la enseñanza de las ciencias desde una visión constructivista, enfocada desde distintas visiones del cambio conceptual y su relación con las estrategias didácticas.

## **2.1 Cambios en la visión de la ciencia y la enseñanza científica.**

De acuerdo con Duschl y Grandy (2008) el cambio en la visión de las ciencias se ha dado de forma paulatina, dándose los primeros cambios importantes durante la época de la posguerra, en el caso de los Estados Unidos de Norteamérica, la modernización de la educación científica quedó a cargo de los científicos de aquella época, quienes diseñaron programas de estudio con el fin de formar científicos, dando mayor peso a las actividades experimentales para que el aprendizaje se generara a partir de la investigación.

Este periodo (1955-1970) se vio marcado por una visión positivista del método hipotético-deductivo, dejando a un lado otros elementos igual de importantes que conforman la investigación científica y la enseñanza de las ciencias como el cambio conceptual, y el desarrollo de teorías y modelos. Para Duschl y Grandy (2008) los avances de la ciencia y tecnología han modificado la forma de observar y entender los fenómenos naturales, ya que en un principio la investigación científica dependía en gran medida de la percepción de los sentidos del ser humano y en la actualidad, las investigaciones pueden partir de la teoría y, en algún punto, ser puestas a prueba a través de la experimentación.

Para Duschl y Grandy (2008) “La estructura de las revoluciones científicas” de Thomas Kuhn cuya primera versión fue publicada en 1962, representó el inicio de grandes cambios en la visión de las ciencias y su enseñanza. Kuhn plantea dos tipos de ciencia. La primera a la cual llama “Ciencia normal” parte de conocimientos y concepciones previas ya reconocidas y aceptadas por la comunidad científica para la solución de nuevos problemas, mientras que el segundo tipo de ciencia a la cual Kuhn nombra “Ciencia revolucionaria” reemplaza los paradigmas existentes por otros nuevos e incompatibles con los ya existentes implicando un cambio o transformación conceptual (Kuhn, 1971).

Entre los aportes de Kuhn está el concepto de paradigma, aunque para muchos de sus críticos causó confusión, ya que dentro de su obra lo utiliza de distintas formas como lo indicó Masterman (1974) quien taxonomizó veintidós significados diferentes. Por lo cual Kuhn realizó una aclaración en 1970 anexando un Postscript a su trabajo, en el cual agrega dos nuevos términos “ejemplares” y “matriz disciplinaria”.

De acuerdo con Kuhn (1971), el término “ejemplares” se refiere a las soluciones de problemas concretos aceptadas por la comunidad científica y las “matrices disciplinares” son el conjunto de elementos compartidos por una comunidad científica. De acuerdo con Duschl y Grandy (2008) las matrices disciplinares de Kuhn incluyen, por los menos, siete elementos: las ecuaciones o representaciones simbólicas, instrumentos, normas de precisión y repetibilidad experimental, supuestos metafísicos, valores y el dominio de la investigación. Para algunos filósofos, esta nueva visión de la ciencia de Kuhn coloca a la ciencia como una actividad enfocada a la solución de problemas y en algunos casos pone en entredicho la objetividad y racionalidad de la ciencia.

Otro de los aportes de Kuhn es el reconocer a las comunidades científicas como un elemento que permite el crecimiento y desarrollo de la ciencia, dándole a ésta un carácter social, oponiéndose al dogma del positivismo que coloca al científico individual como elemento básico en el análisis de la ciencia. Para muchos filósofos de la ciencia esta dimensión social atentaba a la objetividad y racionalidad de la ciencia, sumado a su planteamiento de la “ciencia revolucionaria” el cual se oponía a la visión positivista de la ciencia como una acumulación progresiva de conocimientos.

El trabajo de Kuhn recibió muchas críticas por parte de los filósofos de las ciencias, pero también éstos, vieron en su trabajo valiosas aportaciones como Imre Lakatos y Larry Laudan. Duschl y Grandy (2008) señalan que estos filósofos malinterpretaron el trabajo de Kuhn cuando le daba un carácter social a la ciencia, entendiendo que la toma de decisiones científicas era un asunto político y propagandístico, en el que el prestigio y el poder determinaban el resultado de la lucha entre teorías. Aun así, tanto Lakatos como Laudan incluyeron en sus trabajos las ideas de Kuhn que consideraron relevantes, pero intentando conservar un mayor sentido de racionalidad y continuidad de la ciencia.

Tanto Kuhn como sus críticos consideraron que los procesos sociales y la revisión de teorías por pares son fundamentales para la objetividad científica, por lo cual es necesario que estos factores se incluyan en la enseñanza de las ciencias de tal forma que los estudiantes comprendan y sean partícipes de los procesos de la ciencia a través del discurso y la argumentación. Esto permitirá que los alumnos descarten el supuesto positivista de un único camino para evaluar una teoría y los datos experimentales y que

reconozcan a los procesos dialógicos como un componente indispensable en la estructura racional de la ciencia (Duschl y Grandy 2008).

## **2.2 La ciencia basada en modelos.**

A partir de la obra de Kuhn y otros filósofos de la ciencia surge la importancia de reconocer los vínculos entre la observación, las teorías y los datos. De acuerdo con Duschl y Grandy (2008), esto llevó a un consenso entre los filósofos de ciencia acerca de dar un nuevo planteamiento a la naturaleza de las teorías científicas, surgiendo una nueva visión de la ciencia llamada “Ciencia basada en Modelos”. Dentro de esta nueva visión de la filosofía de la ciencia, Suppe (1977) plantea que no existe una relación directa entre los fenómenos y la explicación que les damos y que dicha relación está dada por modelos los cuales pueden ser descripciones matemáticas, analogías físicas o construcciones mentales.

Para el desarrollo de la secuencia didáctica propuesta en este trabajo, es importante distinguir en que momentos se requiere de un modelo matemático o de otro tipo de modelos y los tipos de conocimiento que se desea que los alumnos adquieran. De acuerdo con Duschl y Grandy (2008) las investigaciones sobre el aprendizaje proponen 4 tipos de conocimientos:

- Conocimiento declarativo, que es “lo que sabemos”.
- Conocimiento procedimental, que se refiere al “como lo sabemos”
- Conocimiento esquemático del “por qué lo sabemos”.
- El pensamiento estratégico, como proceso del aprendizaje.

Esto implica la necesidad de un mayor dinamismo en la enseñanza de las ciencias que permita al profesor conocer los pensamientos de los estudiantes. Es por ello por lo que en este trabajo se propone una secuencia didáctica que a través de la robótica permita a los alumnos crear sus propios modelos en un ambiente motivador que promueva el aprendizaje de los cuatro tipos de conocimiento. Para que esto sea posible de acuerdo con Duschl y Grandy (2008), citando a Robert Glaser (1995), deben de tomarse en cuenta siete elementos básicos en el diseño y estructura de los ambientes de aprendizaje que son coherentes con el enfoque de Kuhn:

1. Conocimiento estructurado. “El aprendizaje debe de fomentar estructuras conceptuales cada vez más articuladas que permitan la inferencia y el razonamiento en diversos campos del conocimiento” (Glaser, 1995).
2. Uso del conocimiento previo y la capacidad cognitiva. “El conocimiento previo y la intuición del alumno es una fuente primordial de su capacidad cognitiva y puede ser un escalón de apoyo para los nuevos aprendizajes y el uso de habilidades cognitivas que surgen de un conocimiento específico pueden facilitar nuevos aprendizajes en un campo del conocimiento determinado” (Glaser, 1995).
3. Metacognición habilidades cognitivas generativas. “El uso de estrategias cognitivas auto generativas que permiten a los individuos reflexionar, construir significados y controlar sus propias actividades, es una dimensión significativa de la capacidad evolutiva en el aprendizaje desde la infancia. Estas habilidades cognitivas son críticas en el desarrollo de nuevas situaciones de aprendizaje porque mejoran la adquisición del conocimiento supervisado y su uso facilita la transferencia del conocimiento a nuevas situaciones, proporcionándole a los estudiantes un sentido de pertenencia” (Glaser, 1995).
4. Uso activo y procedimental del conocimiento en contextos significativos. “Las actividades de aprendizaje deben de enfatizar la adquisición del conocimiento, esta información debe de estar conectada con sus condiciones de uso y los procedimientos para su aplicación. Las actividades de aprendizaje en la escuela deben de ser contextualizadas y situadas para los objetivos del aprendizaje sean evidentes para los alumnos y el profesor” (Glaser, 1995).
5. Participación social y cognición social. “La presentación social y el modelado social de la competencia cognitiva a través de la participación grupal es un mecanismo omnipresente para la internalización y adquisición del conocimiento por parte de los individuos. Los entornos de aprendizaje que implican un diálogo con el maestro y entre pares proporcionan oportunidades para que los estudiantes compartan, critiquen, piensen y añadan una base del conocimiento común” (Glaser, 1995).

6. Situaciones holísticas para el aprendizaje. “Los estudiantes entienden las metas y los significados de una actividad, a medida que alcanzan competencias específicas. Las competencias se desarrollan mejor a través del aprendizaje que tiene lugar de habilidades cognitivas aprendidas en contextos de tareas más amplias” (Glaser, 1995).

7. Crear un pensamiento abierto. “Diseñar situaciones en las que el pensamiento del alumno se hace aparente y abierto al profesor y a los estudiantes, de esta forma, el pensamiento de los alumnos puede ser examinado, cuestionado y formado como un objeto activo del aprendizaje constructivo” (Glaser, 1995).

Estos siete elementos que propone Glaser permiten diseñar ambientes de aprendizaje dinámicos donde los alumnos pueden construir y modificar conceptos, además, permiten a los profesores evaluar de forma continua el proceso de cambio conceptual. Otro punto, a favor de estos elementos, es que permite a los alumnos modificar su concepción de la ciencia como un proceso lineal que en algún momento alcanza un final, a una concepción de la ciencia como un proceso dinámico. Esto ayuda a que los alumnos puedan alcanzar los cuatro tipos de aprendizaje (declarativo, procedimental, esquemático y estratégico).

### **2.3 La argumentación en la educación científica.**

Para lograr ambientes de aprendizaje dinámicos que propicien el cambio conceptual, es necesario hacer énfasis en el recurso de la argumentación, de tal forma que se aprovechen las dudas e intereses que los alumnos tienen, dándoles la oportunidad de construir sus propias explicaciones. Esto coloca a la argumentación como un factor que ayuda a involucrar a los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje y los acerca al razonamiento científico, siendo, también, un medio que permite a los docentes explorar el pensamiento de los estudiantes y conocer el grado de comprensión que han alcanzado. De acuerdo con Suppe (1998) la argumentación dentro de los procesos de la enseñanza científica permite construir ambientes donde los estudiantes pueden explorar la relación entre las evidencias y las teorías o modelos científicos.

Duschl y Grandy (2008) resaltan la importancia de la argumentación como una estrategia que permite al docente conocer las diferentes concepciones que tienen los estudiantes de un mismo fenómeno y, a partir de la discusión de estas diferencias, iniciar un proceso

dialógico sustentado en modelos, teorías y evidencias que lleven a los alumnos a apropiarse de nuevos conceptos, en lugar de dejar la validez de estas nuevas concepciones en la autoridad de los libros de texto o del profesor. Para que los estudiantes utilicen el recurso de la argumentación como un medio a través del cual construyan o modifiquen sus concepciones, es importante dar el tiempo necesario para entender los conceptos centrales que atañen al fenómeno en estudio y cómo estos se relacionan con otros conceptos y fenómenos.

#### **2.4 La enseñanza de las ciencias desde el constructivismo.**

El diseño de ambientes de aprendizaje dinámicos que promuevan la argumentación científica y los cuatro tipos de aprendizaje enunciados por Duschl y Grandy (2008) contemplando los siete elementos mencionados por (Glaser, 1995) deben de partir de una visión constructivista del aprendizaje por lo cual es necesario que tengamos una visión general de lo que es el constructivismo.

El constructivismo plantea que cada estudiante construye una representación basada en sus experiencias propias, influenciada por la intervención del profesor. Por lo que el profesor debe evaluar esta representación y compararla con la suya, lo cual resulta complicado ya que el profesor no tiene visión directa de las representaciones de sus alumnos. En este punto es donde toma relevancia el recurso de la argumentación en el aula, ya que permite al profesor conocer las ideas previas de los estudiantes y las nuevas concepciones que van construyendo, si esto se logra es probable que se dé una transformación conceptual en el estudiante.

Duschl y Grandy (2008) plantean que existen distintas visiones acerca del constructivismo, pero la mayoría coinciden en que el aprendizaje parte de la interacción de los sujetos con su entorno y la sociedad. Por lo cual los conocimientos son parte de la realidad de los sujetos, donde el aprendizaje es un proceso de construcción y reconstrucción de conceptos que permiten a los individuos comprender los objetos, fenómenos y procesos del mundo que los rodea. Esto implica que cada individuo construye sus propias representaciones, lo cual lleva a una tarea difícil para el profesor al momento de evaluar estas construcciones y saber si el alumno se está acercando a un cambio o transformación conceptual.

## **2.5 Evaluación en la enseñanza de las ciencias.**

Si partimos de la idea de que cada individuo construye sus propias concepciones y que, además, existen múltiples ideas acerca de la evaluación, tanto por parte de los profesores como de los alumnos, el proceso de evaluación resulta una tarea complicada. Entre las muchas concepciones que se plantean de la evaluación, se encuentra la idea errónea de que esta es objetiva y que debe de ser subdividida en componentes, evaluando, de forma independiente, los aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Por lo cual se está intentando dar un cambio hacia la integración de la evaluación, de tal forma que se evalúen, en conjunto, los distintos tipos de aprendizaje, incluyendo las habilidades de planificación, desarrollo y análisis de una investigación científica y la aplicación del conocimiento adquirido en nuevos contextos. También se habla de la importancia de evaluar los procesos de comunicación, debate y argumentación ya que son fundamentales en el proceso de enseñanza de la ciencia (Duschl y Grandy, 2008).

Esto ha llevado a que no se evalúe solamente con exámenes tradicionales y sólo al final de una unidad temática o curso, para lo cual se han generado nuevos instrumentos de evaluación y se han identificado diferentes momentos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje donde se debe aplicar una evaluación. De acuerdo con Champagne y Newell (1994), la evaluación en la enseñanza de la ciencia debe de incluir tres áreas de desempeño: comprensión conceptual, razonamiento práctico e investigación científica (citado en Duschl y Grandy, 2008). Estas evaluaciones deben de ser amplias para conocer el razonamiento de los estudiantes. Champagne y Newell proponen diversos roles de la evaluación divididos en tres grupos:

1. Evaluaciones de rendimiento académico, que incluyen exámenes tradicionales, prácticos y problemas cerrados.
2. Tareas auténticas que involucran a los estudiantes en la investigación, el diseño experimental y el análisis de datos.
3. Evaluaciones dinámicas realizadas al final de un curso o a lo largo de los años, para medir el cambio conceptual de los estudiantes a través de diferentes etapas de su formación.

Los cambios en la visión de la ciencia y la necesidad de conocer el pensamiento de los alumnos acerca de sus ideas previas y las construcciones o transformaciones conceptuales que están generando, hacen necesario modificar las prácticas tradicionales de la evaluación y que en estas se incluya el recurso de la argumentación, para que se genere una retroalimentación que permita ajustar o modificar las estrategias de enseñanza-aprendizaje, de tal modo que esto conduzca a los alumnos a un verdadero cambio conceptual.

## **2.6 El cambio conceptual**

Una de las principales problemáticas en la enseñanza de las ciencias se encuentra en lo que se denomina errores conceptuales o ideas previas. De acuerdo con los casos analizados en los artículos de Bohigas y Periago (2005) y Andrés, Pesa y Meneses (2006) los conceptos erróneos prevalecen hasta el nivel universitario y estos errores coinciden en diferentes grupos de estudio. Esta problemática entorpece la adquisición de nuevos conocimientos por parte de los alumnos.

Los orígenes o las causas de estos errores conceptuales se han investigado desde diferentes perspectivas y se ha encontrado que los principales factores que intervienen en esto son la experiencia cotidiana y que son reforzados por conceptualizaciones erróneas presentes en el lenguaje común y aprendizajes inapropiados, generalmente influenciados por el entorno.

De acuerdo con Docktor y Mestre (2014), hay tres puntos de vista teóricos principales sobre los errores conceptuales:

1. Teorías ingenuas o concepciones erróneas. De acuerdo con esta teoría los alumnos adquieren conocimientos sobre el mundo que los rodea a través de la educación informal, construyendo “Teorías ingenuas” basadas en muchos casos en conceptos erróneos que contrastan con los conceptos científicos.
2. Conocimiento en piezas. Esta teoría plantea que el conocimiento de los alumnos está formado por pequeñas piezas que no necesariamente están estructuradas en conceptos más amplios y que de acuerdo con el contexto se ensamblan para crear conceptos más elaborados con el fin de dar explicación a diferentes fenómenos.

3. Visión de categorías ontológicas. Propone que los conceptos se clasifican en un sistema ontológico y una mala clasificación puede llevar a los estudiantes a concepciones ingenuas o erróneas.

El proceso por el cual se modifican o reestructuran estas concepciones erróneas se conoce como cambio conceptual, existiendo diferentes enfoques y modelos que lo describen desde los que proponen un cambio radical donde las ideas o concepciones erróneas se desechan para ser sustituidas por los conceptos científicamente aceptados, hasta los que proponen que este es un proceso gradual y que en muchos casos no es lineal y progresivo, donde las concepciones previas del estudiante toman un papel importante y necesario en este proceso.

Para Posner y Strike (1985) y Chi y Roscoe (2003) citados por Bello (2004), el aprendizaje es un proceso racional que puede trascurrir a través de dos senderos, el de la asimilación y la acomodación. En el proceso de asimilación se intenta dar explicación a los fenómenos a partir de las concepciones previas y, cuando estas sean insuficientes, se presenta un conflicto conceptual que dará inicio el proceso de acomodación que reemplazará o reorganizará las concepciones previas, este proceso de acomodación es de largo plazo y puede darse en varias etapas en las cuales puede haber avances y retrocesos. De acuerdo con Posner et al. (1982) para que pueda ser posible este proceso de acomodación son necesarias las siguientes condiciones:

1. Debe haber insatisfacción con las concepciones existentes. El individuo debe enfrentarse a problemáticas que no pueda resolver con las concepciones que ya posee.
2. La nueva concepción debe ser comprensible. El individuo debe tener una comprensión mínima de la nueva concepción y cómo podría ser estructura para la solución del problema.
3. La nueva concepción debe aparecer inicialmente plausible. El nuevo concepto debe tener la capacidad de resolver la problemática actual y la posibilidad de resolver problemáticas futuras. Además de ser coherente con otros conceptos.

4. Un nuevo concepto debería sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero. Es decir, debe tener el potencial de extenderse a nuevas investigaciones.

A partir de los trabajos de Posner y sus colaboradores, Chi (1992), plantea una teoría del cambio conceptual basada en tres categorías ontológicas básicas: “materia, eventos y abstracciones”, haciendo énfasis que el aprendizaje es un proceso de acomodo de conceptos dentro de una misma categoría ontológica o un cambio de conceptos a otra categoría ontológica, lo cual, en este segundo caso, no es una tarea sencilla ya que implica cruzar los límites entre categorías, como el caso en que un individuo ubique la luz y el calor dentro la categoría de materia. De acuerdo con Chi, para que un individuo pueda trasladar un concepto de una categoría ontológica a otra, se requiere de un proceso de tres etapas:

1. Conocer las propiedades de la nueva categoría ontológica.
2. Aprender los significados de los conceptos individuales dentro de la nueva categoría.
3. Ubicar un concepto dentro de la nueva categoría, ya sea abandonando el significado original del concepto, conservando los dos significados bajo distintos contextos.

Para esto Chi y Roscoe (2003), citados en Flores (2004), plantean una diferencia entre las preconcepciones y los errores conceptuales, planteando que las preconcepciones son un error de ubicación dentro de una misma categoría ontológica, siendo una tarea relativamente sencilla su reacomodo jerárquico, en cambio, los errores conceptuales son una asignación errónea de categoría lo cual implica una tarea compleja, ya que es necesario trasladar conceptos a otra categoría ontológica.

Vosniadou (1994) también coincide que el cambio conceptual es un proceso gradual y de largo plazo, además argumenta que es un proceso complicado ya que, en su opinión, los conceptos se encuentran inmersos en complejas estructuras teóricas, fundamentadas en creencias que les dan coherencia en contextos específicos, siendo necesarios dos procesos o etapas “enriquecimiento y revisión” para modificarlas. Para Vosniadou el proceso de enriquecimiento consiste en ampliar las estructuras teóricas ya existentes, cuando las nuevas concepciones son inconsistentes con las estructuras o creencias ya

establecidas, es necesaria una revisión de las suposiciones arraigadas dentro de estas estructuras teóricas.

El proceso de revisión es complicado ya que muchas de estas creencias y estructuras están basadas en las experiencias cotidianas de los individuos por lo cual, Vosniadou (2003) plantea que, para que se dé un cambio conceptual, se deben de tomar en cuenta cuatro variables: cambios cognitivos individuales, factores de motivación y afectivos, escenarios educativos y socioculturales. Para Vosniadou el factor cognitivo es de relevancia ya que proporciona información acerca de cómo los individuos conforman sus estructuras teóricas y de cómo estas pueden ser modificadas.

En opinión de Vosniadou (2003) el mecanismo más utilizado por los estudiantes es el de adición o reemplazo de creencias, pero no es el más eficiente para alcanzar el cambio conceptual, sobre todo, cuando se requiere reasignar un concepto a otra categoría ontológica o crear una nueva categoría. Por lo cual propone mecanismos más complejos como el uso de analogías, modelos y actividades experimentales que involucren a los alumnos en un proceso de cambio conceptual metacognitivo.

Las visiones presentadas exponen una visión general del cambio conceptual como un proceso donde el estudiante es el protagonista, coincidiendo en que este es un proceso complejo y de largo plazo donde el estudiante dudará de sus creencias y de lo que está aprendiendo por lo cual existirán avances y retrocesos a lo largo de este proceso el cual puede ser comparado con las suposiciones de Kuhn (1971) sobre la evolución de la ciencia.

## **2.7 Estrategias de enseñanza y el cambio conceptual.**

De acuerdo con Calderón, García y Gallegos (2007), desde la década de los 70 se hizo evidente que los estudiantes no alcanzaban el cambio conceptual esperado, lo cual, probablemente, se deba a un mal diseño de las estrategias didácticas, al no hacer énfasis en las teorías del cambio conceptual en las que se fundamentaban. Por lo cual proponen la necesidad de hacer un análisis de las dimensiones cognitivas y epistemológicas en las

que se sustentan las estrategias didácticas, de tal forma que, estas estrategias, sean coherentes con las teorías desde las cuales fueron planteadas.

Las distintas teorías acerca del cambio conceptual tienen varios puntos en común, pero también tienen diferencias sustanciales las cuales pueden identificarse a partir de sus fundamentos y como conciben el término concepto que, de acuerdo con Flores (2004), las teorías del cambio conceptual pueden clasificarse en dos corrientes: la epistemológica y la psicológica o cognitiva. Desde una visión epistemológica los conceptos son parte de una estructura conceptual que pertenece a las teorías y leyes en la que los procesos de construcción y validación realizados por el sujeto definen la validez y significado del concepto, en cambio, para la corriente cognitiva, los conceptos son agentes externos al sujeto los cuales tienen que ser ajustados y ubicados dentro del sistema cognitivo del sujeto, lo cual implica una reubicación e integración de conceptos.

Las diferentes teorías del cambio conceptual han evolucionado desde la idea de sustitución de conceptos que planteaba que los alumnos debían de desechar sus ideas previas y sustituirlas por los conceptos científicamente aceptados, a nuevos planteamientos que proponen una visión de sistemas complejos y múltiples representaciones dando la posibilidad a un cambio conceptual a partir de modelos dinámicos donde una adecuación de un sistema complejo puede implicar una transformación de la teoría. Este cambio conceptual de acuerdo con Duit (1999) citado en Calderón (2007) se llevará a cabo a través de las estrategias de aprendizaje pudiendo tener dos trayectorias: continua y discontinua. En una trayectoria continua el concepto se construirá sobre las ideas previas en un proceso evolutivo y secuencial, mientras que en una trayectoria discontinua se construirán ideas paralelas con avances y retrocesos existiendo la posibilidad de que al final en estas ideas convivan conceptos unidos a contextos específicos.

La propuesta didáctica de este trabajo se diseñará desde una visión del cambio conceptual a partir de la teoría epistemológica de los sistemas complejos, donde el concepto es una entidad dinámica que evolucionará al enfrentarse a nuevos contextos, creándose nuevas relaciones dentro la estructura conceptual de los sujetos, siendo estos, quienes construirán o modificarán los conceptos a través de un proceso cognitivo de largo plazo y discontinuo.

Dentro de este proceso de cambio conceptual, la argumentación tendrá un papel relevante con el fin de que los alumnos reconozcan la importancia de la discusión y revisión de teorías entre pares para lograr una objetividad científica.

Esta propuesta didáctica, a través de la robótica tiene el fin de promover en los alumnos la experimentación, investigación y construcción de modelos, motivándolos a argumentar sus explicaciones, de tal forma que sean encaminados a un cambio conceptual que modifique sus preconcepciones acerca de la ciencia, las cuales en muchos casos, tienen un enfoque positivista, a una concepción de la ciencia como un ente dinámico que es parte de un proceso social y que está en un constante proceso de evolución.

## Capítulo III. Propuesta didáctica.

### 3.1 Errores conceptuales y el cambio conceptual

La mayor dificultad en el aprendizaje de la física y de las ciencias en general, se encuentra en lo que se denomina errores conceptuales, también llamados esquemas conceptuales alternativos para Driver y Easley, (1978), teorías ingenuas para Caramazza, Green y McCloskey (1981) o ciencias de los niños de acuerdo con Osborne y Wittrock (1983). Aunque existen distintos autores que dan diferentes definiciones y explicaciones a los errores conceptuales o ideas previas, de acuerdo con Asencio, Carretero y Pozo. (1981) la mayoría de los autores coinciden en los siguientes puntos al respecto:

- Son espontáneas, es decir surgen de forma natural a partir de la interacción del sujeto que aprende, con el mundo y la sociedad que lo rodea.
- Se conforman de construcciones personales, producto de la experiencia del individuo con su entorno y no a través de una educación formal.
- En muchos de los casos, son ideas incorrectas desde el punto de vista de la ciencia, sin embargo, son aceptables en un contexto cotidiano.
- Se encuentran implícitas en el sujeto y no es fácil exteriorizarlas ni verbalizarlas.
- Suelen presentarse en forma incoherente o contradictorias entre sí.
- Son resistentes al cambio debido a que poseen el carácter de verdades indiscutibles, ya que están basadas en la epistemología del sentido común (Gil y Guzmán, 1993).
- Son compartidas por individuos de muy diversas características (edad, país, formación), independientemente de ser construcciones personales.
- Son dominadas por la percepción, es decir lo que se ve, es lo que se cree.

A este respecto, una de las tareas de la educación científica a nivel bachillerato, es la de propiciar un cambio conceptual en los alumnos sobre sus preconcepciones de la ciencia, el quehacer científico y las explicaciones de los fenómenos naturales. En la figura 2.1 se presenta un esquema de los objetivos principales que debe de generar la educación científica en los alumnos de bachillerato.

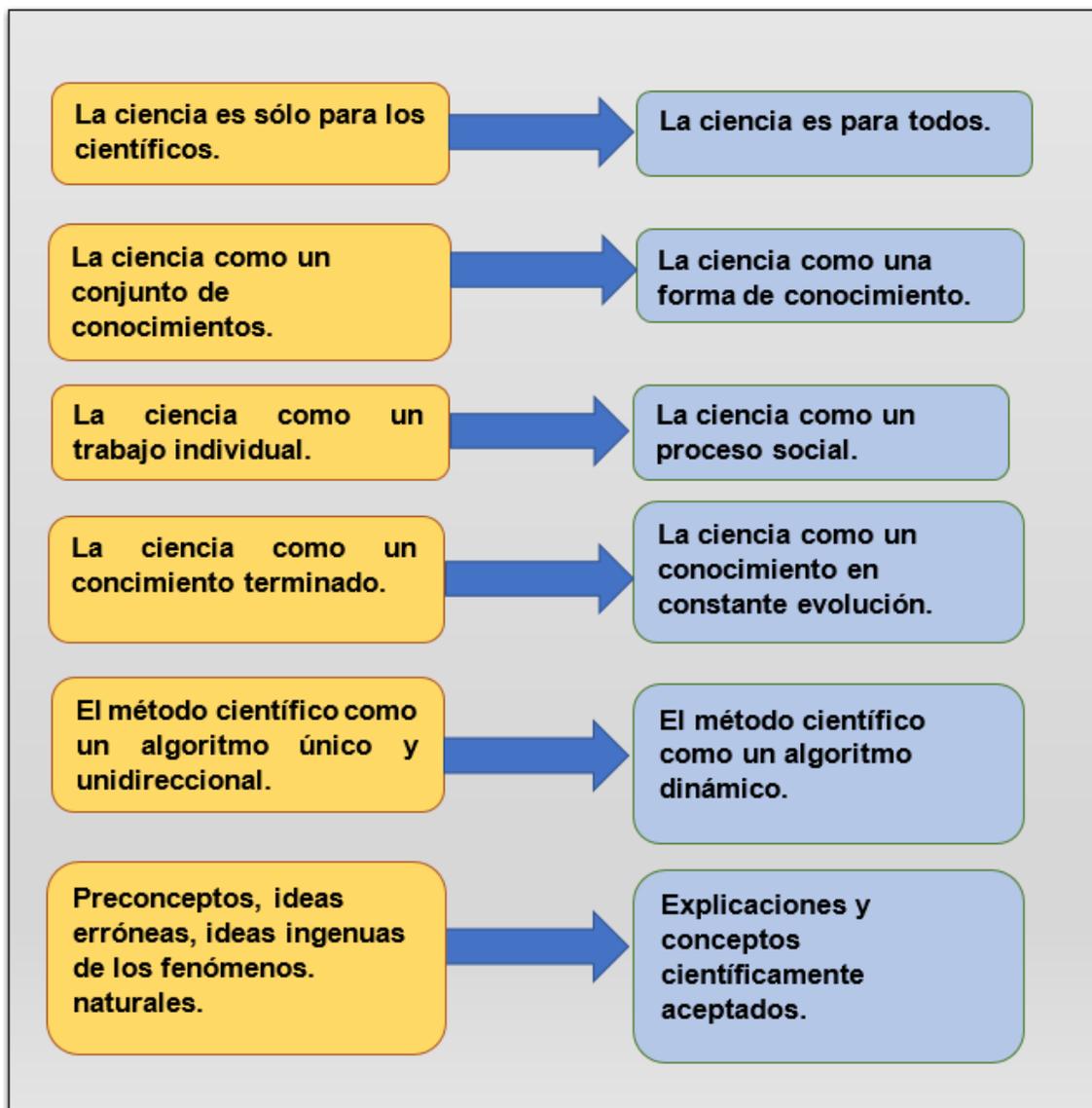


Fig. 2.1. Objetivos cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias.

Fuente: Elaboración propia

Existen distintas visiones acerca del cambio conceptual como ya se apuntó. Las primeras propuestas que surgieron proponían que el cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias llevaría a los estudiantes a abandonar sus creencias previas, preconcepciones o concepciones erróneas, asumiendo que estas eran incongruentes con los conceptos científicos. Este cambio conceptual que pretende sustituir un conocimiento cotidiano y tal vez ingenuo, por el conocimiento científico ha dado pocos frutos a lo largo de los años. Un planteamiento más actual del cambio conceptual propone que los alumnos deben adquirir diferentes tipos de conocimientos de forma activa a través de un proceso metacognitivo,

para después poder aplicarlos en distintas tareas o situaciones dentro de contextos determinados (Calderón, Gallegos, y García. 2007).

Las actuales teorías del cambio conceptual han evolucionado hacia la visión de los sistemas complejos, presentándonos una gran diversidad de posibilidades para el cambio conceptual, de acuerdo con Calderón et al. (2007), el cambio conceptual desde la percepción de los sistemas complejos nos permite tener una gama de posibilidades a través de la evolución y reasignación de conceptos, teniendo la posibilidad de construir nuevos sistemas de conocimientos o darles múltiples representaciones. Las diferentes teorías del cambio conceptual comparten aspectos generales, pero desde distintos enfoques. De acuerdo con Flores (2004), es posible distinguir dos visiones principales, la epistemológica centrada en la filosofía de la ciencia y la cognitiva basada en la psicología cognitiva, en la figura 2.2 se presenta un esquema simplificado de la concepción del concepto y su origen desde el punto de vista de estas dos visiones de la teoría del cambio conceptual enfocada en sistemas complejos y el tipo de cambio conceptual que se espera.

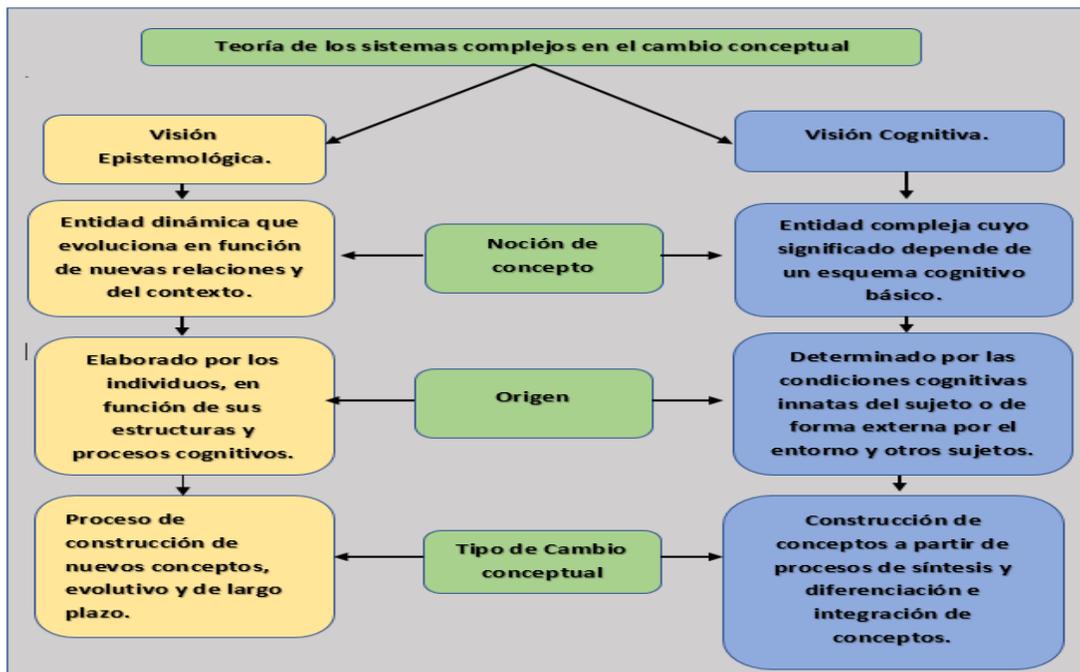


Fig. 2.2. Teoría de los sistemas complejos en el cambio conceptual.

Fuente: Adatado de Calderón E., Gallegos, L y García A. (2007). Estrategia de enseñanza y cambio conceptual. En: Flores, F y Pozo J., ed., Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia. Madrid España: Boadilla del Monte, p.243.

### **3.2 Objetivos de la propuesta didáctica.**

En los cursos de física de bachillerato, se abordan los temas de ondas mecánicas y electromagnéticas. A través de ellos, se pretende que los alumnos logren un cambio conceptual de sus ideas previas referentes a este tema logrando identificar y diferenciar el modelo ondulatorio. Este proceso debe darse en ambientes de aprendizaje, enfocados en el aprendizaje del razonamiento científico, a través de actividades que involucren a los alumnos en la investigación, el análisis de datos y la argumentación de teorías a partir de la revisión de modelos. Durante este proceso, de acuerdo con Duschl y Grand (2008), la experimentación y la estructura teórica son elementos importantes de la naturaleza de la investigación científica, pero deben entenderse en relación con los procesos dialécticos que establecen a los datos como evidencia y luego toman la evidencia para forjar explicaciones. De tal forma que los estudiantes sean atraídos a experimentar para encontrar explicaciones y razonar sobre experimentos.

Por otra parte, las actividades de evaluación en la enseñanza de las ciencias deben considerar tres áreas de capacidades de desempeño, que de acuerdo con Champagne y Newell (1994) son la comprensión conceptual, el razonamiento práctico y la investigación científica (citado en Duschl y Grand, 2008). De tal forma que las actividades de evaluación sean integrales, para que el docente pueda visualizar el pensamiento de sus alumnos y conocer sus ideas previas y los cambios conceptuales que se van generando durante este proceso.

La robótica es una herramienta didáctica, que nos permite crear ambientes de aprendizaje que presenten a los alumnos situaciones problemáticas en contextos reales. A través del control y manipulación de los robots, los alumnos pueden construir sus propias ideas que expliquen el funcionamiento de este, en base a los fenómenos físicos implicados a través de la experimentación y la discusión de sus ideas. Durante este proceso, el profesor podrá evaluar, de forma continua, el proceso de transformación de las ideas previas de los alumnos. El cambio conceptual será impulsado por la solución del problema, que enfrentará a los alumnos a conflictos cognitivos que lo llevaran a la construcción de nuevas representaciones conceptuales. Este proceso de construcción permitirá, al alumno, generar sus propios supuestos, a través de la investigación, el análisis de datos, la argumentación y revisión de modelos; será capaz de contrastar sus ideas previas con la

teoría aceptada científicamente. Esto le permitiría al alumno aproximarse a los conceptos científicamente correctos y diferenciar las concepciones alternativas de uso cotidiano de las concepciones científicas, permitiéndole entender y explicar los fenómenos naturales desde el punto de vista de la ciencia.

Para lograr lo anterior, se propone como ejemplo, una secuencia didáctica para abordar los fenómenos ondulatorios de la reflexión, refracción y refracción de las ondas. Utilizando robots los cuales serán programados por los alumnos. De esta forma, los alumnos se enfrentarán a una problemática real y contextualizada, que los oriente a un cambio conceptual que les permita entender y explicar, estos fenómenos acercándose a las concepciones científicamente aceptadas. De tal forma que, al final de la secuencia didáctica, los alumnos sean capaces de identificar situaciones cotidianas donde se presente este fenómeno y sus aplicaciones tecnológicas, dándole también una aplicación. Los objetivos que se pretende alcanzar con esta secuencia didáctica son los siguientes:

### **Objetivo general.**

Iniciar un proceso de transformación conceptual en los alumnos sobre sus preconcepciones de la ciencia, el quehacer científico y las explicaciones de los fenómenos ondulatorios, que los acerque a las concepciones científicamente aceptadas.

### **Objetivos particulares.**

Que los alumnos:

- Investiguen y exploren los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción.
- Formulen sus propias explicaciones a través de la experimentación y discusión.
- Perciban a la ciencia como una forma de conocimiento que se da a través de un proceso social.
- Modifiquen su percepción del método científico como un proceso lineal e inmutable y lo conciban como un proceso dinámico.
- Construyan sus propios conceptos encaminados a las concepciones científicamente aceptadas.

## **Papel del alumno**

El papel del alumno es ir más allá de ser un mero observador y receptor de información, debe involucrarse en su proceso de aprendizaje y ser consciente de la transformación de sus preconcepciones. El alumno debe indagar, cuestionar, reflexionar, discutir y llegar a sus propias conclusiones, debe ser capaz de aprender de sus errores y verlos como una oportunidad de aprendizaje. A través de la secuencia didáctica, el alumno se enfrentará a una problemática que tendrá que solucionar a través de la observación, experimentación, discusión y argumentación.

## **El papel del docente**

El papel del docente debe ir más allá de ser un mediador entre el conocimiento científico y las concepciones de los estudiantes, para lo cual requiere conocer las ideas previas de los estudiantes y emplearlas para propiciar una transformación cognitiva entre las ideas previas y las científicas. A través de la secuencia didáctica, el profesor debe promover la interacción alumno-alumno y docente-alumno, de tal forma que se genere un ambiente propicio para evaluar el pensamiento de los estudiantes, y generar un esquema del dominio conceptual de los mismos, que le permita ajustar las actividades propuestas.

### **3.3 Desarrollo de la secuencia didáctica.**

El desarrollo general de la secuencia de enseñanza-aprendizaje está estructurada en torno a una serie de actividades que parten de las ideas de los estudiantes y fomentan el cambio en su pensamiento. La secuencia didáctica se divide en 5 etapas: orientación, obtención de ideas previas, proceso del cambio conceptual, verificación del cambio conceptual y aplicación de los nuevos conceptos. La secuencia se muestra en términos generales en la figura 2.3.

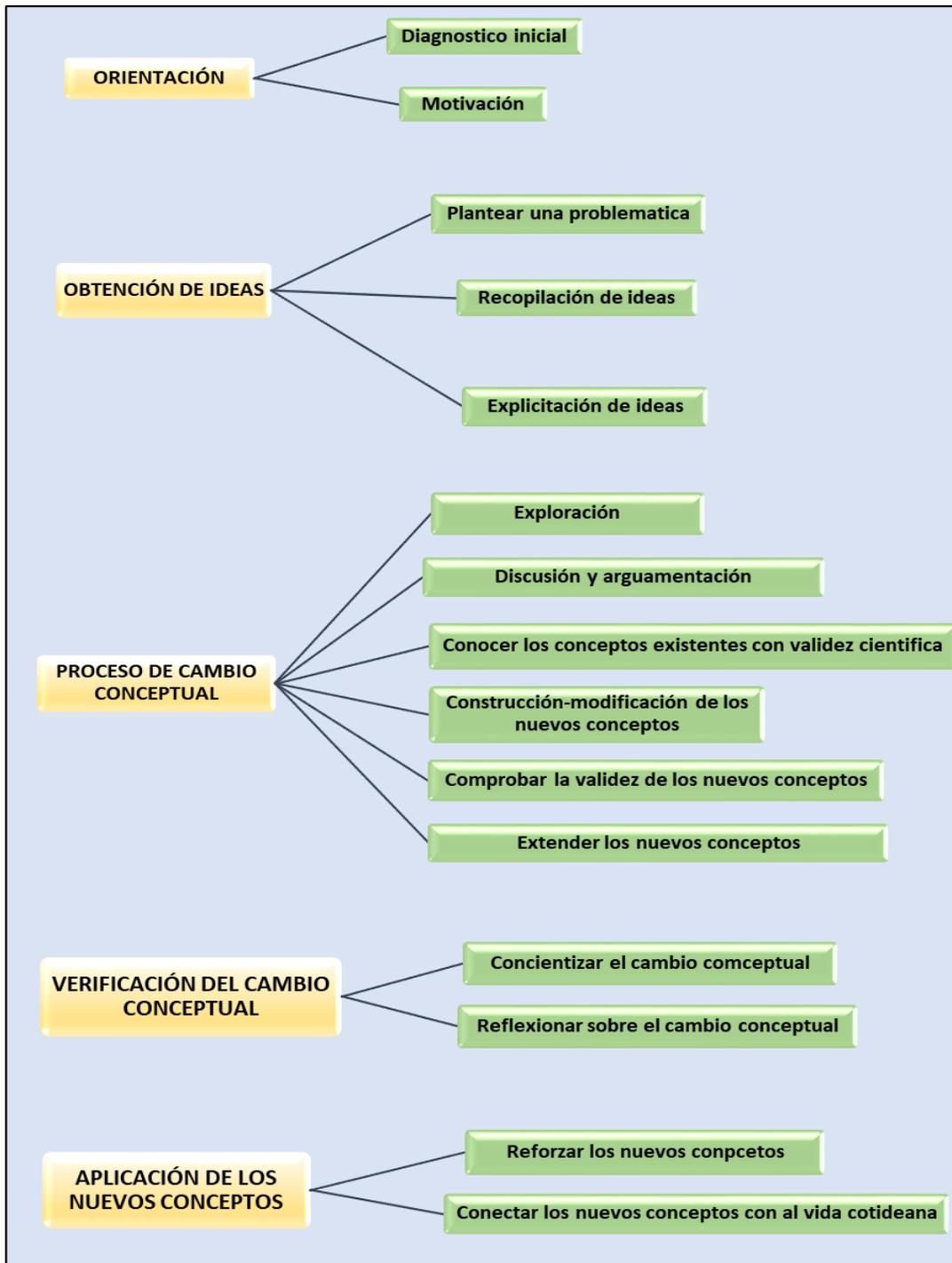


Fig. 2.3. Esquema general de la secuencia didáctica.

Fuente: Elaboración propia

**3.3.1 Orientación.** Esta etapa tiene dos fases:

1) El diagnóstico inicial se llevará a cabo a través de un cuestionario relativo a los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción. La información obtenida en esta etapa sirve para que el profesor pueda ajustar las actividades planteadas para apoyar el cambio conceptual.

2) La fase de motivación, que consiste en despertar la atención y el interés de los alumnos por el tema, de tal forma que se comprometan con las actividades a realizar. Para este fin, el profesor presentará al grupo un robot que es capaz de evadir obstáculo de forma autónoma. Después de observar el funcionamiento del robot, los alumnos se integrarán en equipos y propondrán explicaciones de su funcionamiento y posibles aplicaciones que se pudieran dar a este robot en la vida cotidiana.

**3.3.2 Obtención de ideas previas.** Los equipos compartirán con el grupo las posibles explicaciones y aplicaciones que surgieron para el robot y, entre todos, seleccionarán alguna de ellas y, a partir de esto, el docente planteará algunas problemáticas relativas a los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción a las que se enfrentará el prototipo robótico. En equipo, los alumnos expondrán y discutirán sus ideas previas relativas a estos fenómenos y como intervienen en el funcionamiento del robot, recopilando las que consideren más relevantes, para después compartirlas con todo el grupo. En esta etapa el profesor tomará nota de las principales ideas previas de los alumnos, las cuales se retomarán en una etapa posterior.

**3.3.3 Proceso del cambio conceptual.** Esta etapa de la secuencia didáctica en cuestión se divide a su vez en 6 fases como como se muestra en la figura 2.3. Para llevar a cabo el proceso de transformación conceptual acerca de los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción, se propone una actividad para cada uno de estos conceptos, atravesando las fases que el proceso de cambio conceptual conlleva. Se implementan como sigue:

Actividad 1. Para el fenómeno de reflexión.

### 1.1 Exploración.

Propósito. Explorar el fenómeno de reflexión.

Justificación. Que los alumnos enfrenten una situación que se oponga a sus ideas previas, respecto al fenómeno de reflexión y se inicie una transformación conceptual que los lleve a explicar este fenómeno. La finalidad de que los alumnos interactúen con un robot es plantearles una situación real, que los motive a observar y analizar el fenómeno de reflexión y que conozcan una de sus aplicaciones tecnológicas.

Logros esperados en los alumnos. Que a través de la observación y análisis del fenómeno de reflexión construyan sus propias explicaciones y las contrasten con sus ideas previas.

Papel del profesor. Plantear una situación problemática que represente un reto a los alumnos. La problemática planteada es que los alumnos encuentren la relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo reflejado.

Descripción:

- Para explorar el fenómeno de reflexión, los alumnos en equipos manipularán un brazo robot con un láser que apuntará a un espejo. Los alumnos posicionarán el brazo robot en distintos ángulos respecto al espejo.
- Con el apoyo de una plantilla los alumnos trazarán la dirección del rayo incidente y el rayo reflejado.
- En equipo los alumnos medirán y compararán el ángulo incidente y el ángulo reflejado.
- En equipo formularán una explicación de lo observado en base a las mediciones realizadas.

### 1.2 Discusión y argumentación

Propósito. Que los alumnos discutan y argumenten la validez de sus nuevas ideas.

Justificación. Para que los alumnos inicien un cambio conceptual es necesario que las nuevas ideas sean plausibles. La discusión y argumentación de estas nuevas ideas a partir

de las observaciones y mediciones realizadas les permitirá a los estudiantes generar una idea convincente y admisible que resulte aceptable para la mayoría.

Logros esperados en los alumnos. Que los alumnos construyan una nueva idea para explicar el fenómeno de reflexión que sea plausible y pueda ser puesta a verificación más adelante.

Papel del profesor. El profesor sólo intervendrá con el propósito de orientar la discusión. Sus intervenciones serán relativamente escasas y puntuales; manteniéndose la mayor parte del tiempo como un observador sin intervenir mientras se produce el intercambio de ideas entre los alumnos. Las pocas intervenciones serán con el fin de orientar la discusión y fomentar intervenciones y reflexiones de mayor profundidad.

Descripción:

- Cada equipo compartirá con el grupo su explicación al fenómeno observado en la etapa anterior.
- Discutirán y argumentarán sus nuevas ideas
- En grupo plantearán una idea general que explique el fenómeno de reflexión observado y su implicación en el funcionamiento del robot que observaron en la etapa de esta secuencia.

1.3 Conocer los conceptos existentes con validez científica.

Propósito. Que el alumno se acerque a la explicación científicamente aceptada del fenómeno de reflexión.

Justificación. Para que los alumnos se acerquen al cambio conceptual es necesario que conozcan y logren una comprensión mínima de la nueva concepción. A partir de este punto, podrán comparar la nueva concepción con sus ideas previas y considerar la explicación científicamente aceptada y útil para la solución de problemas.

Logros esperados en los alumnos. Que el alumno conozca y comprenda que existe una explicación científica del fenómeno de reflexión.

Papel del profesor. Facilitará al alumno un texto donde se explique el fenómeno de reflexión, apoyará a los alumnos a comprender el texto aclarando sus dudas, formulará preguntas para poner al alumnado ante la necesidad de elaborar una respuesta que implique poner en juego sus nuevos conocimientos e indagar el nivel de comprensión de los alumnos.

Descripción:

- En equipo leerán y discutirán un texto donde se explica el fenómeno de reflexión y la ley de reflexión.
- A partir de la lectura realizada, los alumnos en equipo prepararán una exposición apoyándose de mapas mentales.
- Los equipos presentarán su exposición.
- Al final de las exposiciones los alumnos expondrán sus dudas y en grupo se les dará respuesta. Durante esta etapa el profesor realizará preguntas a los alumnos que los lleven a analizar los nuevos conceptos.

1.4 Construcción-Modificación de los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos construyan o modifiquen los conceptos relativos a la reflexión y la ley de reflexión.

Justificación. Para que los estudiantes consideren un nuevo concepto y lo privilegien sobre sus ideas previas es necesario que sean capaces de representarlo y comprenderlo. Una vez que los alumnos ya conocieron y comprendieron mínimamente una concepción alternativa a sus ideas previas, pueden compararlas y ponerlas a discusión o someterlas a la experimentación.

Logros esperados en los alumnos. Que, al confrontar sus ideas previas con la concepción científicamente aceptada, privilegien la concepción científica y se apropien de ella.

Papel del profesor. El profesor retomará las ideas previas expuestas por los alumnos y les pedirá que las contrasten con la explicación que formularon y la explicación científica.

Descripción:

- Los alumnos, en equipo, contrastarán sus ideas previas con la explicación que formularon y la explicación científica.
- En grupo se resaltarán las semejanzas y diferencias entre estas.
- Se discutirá en grupo la validez de los distintos planteamientos.

1.5 Comprobar la validez de los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos utilicen los nuevos conceptos adquiridos

Justificación. Para que los estudiantes afiancen los nuevos conceptos aprendidos es necesario que realicen actividades donde apliquen y validen los nuevos conceptos.

Logros esperados en los alumnos. Que comprueben la validez de los nuevos conceptos y generen sus propias conclusiones.

Papel del profesor. Propiciará que los alumnos realicen la actividad de forma independiente y en caso de ser necesario contribuirá o hará aclaraciones a las conclusiones de los alumnos.

Descripción:

- En equipo los alumnos predecirán el ángulo de reflexión para distintas situaciones.
- En equipo y con apoyo de un simulador de ondas comprobarán sus predicciones.
- Contrastando lo observado con el brazo robot y el simulador de ondas cada equipo formulará sus conclusiones.
- Los equipos compartirán sus conclusiones con el grupo y las discutirán.

1.6 Extender los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos extiendan los nuevos conceptos adquiridos a otras situaciones y contextos.

Justificación. Para que un nuevo concepto sea aceptado por los estudiantes debe tener el potencial de ser ampliado y poderse abrir a nuevas áreas.

Logros esperados en los alumnos. Que sean capaces de utilizar los nuevos conceptos en otras situaciones fenomenológicas o tecnológicas.

Papel del profesor. Establecerá los objetivos a cubrir en la exposición, planificará y distribuirá los temas a tocar a cada equipo, al final de cada exposición realizará preguntas a los expositores para promover la discusión grupal.

Descripción:

- Los alumnos, en equipo, realizarán una investigación sobre como distintas especies animales emplean la ecolocalización y sobre las distintas aplicaciones del fenómeno de reflexión en la tecnología y la salud.
- Cada equipo realizará un mapa mental de su investigación y lo expondrán ante el grupo.
- Al final de cada exposición los alumnos expondrán sus dudas o comentarios al equipo en turno.

Actividad 2. Para el fenómeno de refracción

### 2.1 Exploración

Propósito. Entender la naturaleza del fenómeno de refracción.

Justificación. Después de que el alumno ha explicitado sus preconcepciones relativas al fenómeno de refracción es necesario que lo explore y que empiece a reformular una nueva concepción a través de la observación y discusión con sus compañeros.

Logros esperados en los alumnos. Que a través de la exploración del fenómeno de refracción el alumno enfrente sus ideas previas y las de sus compañeros con lo observado.

Papel del profesor. De igual forma que para el fenómeno de reflexión, el profesor planteará una situación donde el fenómeno de refracción intervenga dejando la posibilidad abierta de que el alumno siga indagando.

Descripción:

- Para explorar el fenómeno de refracción, los alumnos en equipos manipularán un brazo robot con un recipiente que contendrá líquidos de diferentes densidades. Los alumnos posicionarán el brazo robot en distintos ángulos respecto al recipiente.
- Con el apoyo de una plantilla los alumnos trazarán la dirección del rayo incidente y el rayo refractado.
- En equipo los alumnos compararán el ángulo incidente y el ángulo reflejado en distintos líquidos.
- En equipo formularán una explicación de lo observado

## 2.2 Discusión y argumentación

Propósito. Que los alumnos expongan sus propias ideas, es decir, de manera individual para llegar a un pensamiento grupal a través de argumentaciones concisas y explícitas dentro de un ambiente colaborativo.

Justificación. Para que los alumnos inicien una transformación conceptual es necesario que estos expongan sus nuevas ideas. Fomentado así sus habilidades de argumentación y el respeto a las ideas expresadas por sus compañeros.

Logros esperados en los alumnos. Que los alumnos sean capaces de discutir y argumentar sus ideas, que escuchen con respeto las ideas de sus compañeros y que, a través del consenso, construyan una nueva idea para explicar el fenómeno de refracción.

Papel del profesor. De la misma forma que para el fenómeno de reflexión, el profesor tendrá intervenciones cortas dirigidas a encaminar la discusión del fenómeno de refracción.

Descripción:

- Cada equipo compartirá con el grupo su explicación al fenómeno observado en la etapa anterior.
- Discutirán y argumentarán sus nuevas ideas.
- En grupo plantearán una idea general que explique el fenómeno de refracción observado y su implicación en el funcionamiento del robot que observaron en la primera etapa de esta secuencia.

2.3 Conocer los conceptos existentes con validez científica.

Propósito. Que el alumno conciba o elabore con sus propias palabras, una explicación del fenómeno de refracción, cercana a lo que está científicamente aceptado. Logrando así una aproximación conceptual de los que es el fenómeno de refracción.

Justificación. Para que el proceso del cambio conceptual se inicie, es necesario que los alumnos se aproximen a la concepción científicamente aceptada partiendo de sus conocimientos previos y la experiencia adquirida.

Logros esperados en los alumnos. Que el alumno sea capaz de acercarse a la explicación científicamente aceptada del fenómeno de refracción a través del trabajo en equipo.

Papel del profesor. En esta fase, el docente propiciará que los alumnos contrasten las ideas previas que expusieron anteriormente con la explicación grupal y la explicación científicamente aceptada. Fomentando un ambiente de comprensión, respeto y confianza, lo que posibilitará que el alumno exprese sus ideas.

## Descripción.

- En equipo leerán y discutirán un texto donde se explica el fenómeno de refracción y las leyes de refracción.
- A partir de la lectura realizada, los alumnos, en equipo, prepararán una exposición apoyándose de dibujos y esquemas que ellos elaborarán.
- Los equipos presentarán su exposición.
- Al final de las exposiciones los alumnos expondrán sus dudas y en grupo se les dará respuesta. Durante esta etapa el profesor realizará preguntas

## 2.4 Construcción-Modificación de los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos construyan o modifiquen los conceptos relativos a la refracción y las leyes de refracción, después de haber analizado los conceptos existentes referentes al tema como lo indica la actividad previa.

Justificación. Para que los alumnos sean capaces de concebir un nuevo concepto es indispensable que retomen sus ideas previas y las sopesen con las concepciones científicamente aceptadas que conocieron en la etapa anterior.

Logros esperados en los alumnos. Que, a partir de examinar los conceptos científicamente aceptados del fenómeno de refracción, logren confrontarlos con sus ideas previas construyendo una nueva concepción de este fenómeno.

Papel del profesor. En esta etapa, el docente ayudará a que el alumno contraste las nuevas concepciones expuestas en la etapa anterior con la explicación formulada anteriormente y la explicación científicamente aceptada.

Descripción:

- Los alumnos en equipo contrastarán sus ideas previas con la explicación que formularon y la explicación científica.
- En grupo se resaltarán las semejanzas y diferencias entre estas.
- Se discutirá en grupo la validez de los distintos planteamientos.

2.5 Comprobar la validez de los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos utilicen los nuevos conceptos adquiridos mediante la realización de las actividades descritas adelante.

Justificación. Para que los estudiantes consoliden los nuevos conceptos aprendidos es fundamental la práctica de actividades donde apliquen y validen los nuevos conceptos.

Logros esperados en los alumnos. Que comprueben en este caso particular la validez de los nuevos conceptos acerca del fenómeno de refracción y generen sus propias conclusiones.

Papel del profesor. Propiciará un ambiente colaborativo, de trabajo en equipo para que los alumnos realicen la actividad descrita a continuación, de forma autónoma, de ser necesario contribuirá o hará aclaraciones a las conclusiones de los alumnos.

Descripción:

- Tomando en cuenta el índice de refracción de distintas sustancias, los alumnos intentarán predecir en qué caso el ángulo de refracción es mayor.
- En equipo y con apoyo del brazo robot pondrán a prueba sus predicciones
- Contrastando lo observado con sus predicciones cada equipo formulará sus conclusiones.
- Los equipos compartirán sus conclusiones con el grupo y las discutirán.

## 2.6 Extender los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos extiendan los nuevos conceptos y habilidades adquiridas a otras situaciones y contextos.

Justificación. Para que un nuevo concepto adquirido sea aceptado y permanezca latente debe tener el potencial de ser ampliado y poderse aplicar a nuevas áreas.

Logros esperados en los alumnos. Que sean capaces de comprender y comunicar de forma concisa, los nuevos conceptos referentes al fenómeno de refracción y saberlos aplicar a situaciones y problemas de la vida cotidiana.

Papel del profesor. Establecerá los objetivos a cubrir en la exposición, planificará y distribuirá los temas a tocar a cada equipo, al final de cada exposición realizará preguntas a los expositores para promover la discusión grupal. Dará pie a la creación de un ambiente de respeto y disciplina para llevar a cabo las exposiciones.

Descripción:

- Los alumnos en equipo realizarán una investigación sobre la refracción en los fenómenos naturales y algunos ejemplos de sus aplicaciones tecnológicas.
- Al final de cada exposición los alumnos expondrán sus dudas o comentarios al equipo en turno.

Actividad 3. Para el fenómeno de Difracción

### 3.1 Exploración

Propósito. Explorar el fenómeno de difracción.

Justificación. Que el alumno a través de la exploración ponga a prueba sus ideas previas respecto al fenómeno de difracción y se plantee nuevas posibilidades a la explicación de este fenómeno.

Logros esperados en los alumnos. Que a través de la exploración del fenómeno de difracción y el apoyo de esquemas creados por ellos propongan una posible explicación a este fenómeno.

Papel del profesor. Plantear una situación problemática que represente un reto a los alumnos. La problemática planteada es que los alumnos propongan situaciones donde el fenómeno de difracción intervenga en el funcionamiento del robot y sus posibles consecuencias.

Descripción:

- Para explorar el fenómeno de difracción, los alumnos en equipos utilizarán un láser, un cabello y un cd.
- Se situarán a unos 50 cm de una pared. Para después hacer pasar la luz del láser a través del cd y proyectar el haz transmitido en una pared.
- A continuación, repetirán la experiencia haciendo incidir el láser en un cabello.
- En equipo formularán una explicación a lo observado apoyándose de un esquema.

### 3.2 Discusión y argumentación

Propósito. Que los alumnos a través de la discusión y argumentación planteen una explicación plausible del fenómeno de difracción.

Justificación. Para que los alumnos consideren la posibilidad de una nueva concepción es necesario que esta pueda ser creíble. Para que esta nueva concepción sea aceptada es necesaria la discusión y la argumentación basada en las observaciones de los alumnos.

Logros esperados en los alumnos. Que los alumnos construyan una explicación del fenómeno de difracción a través de la discusión y argumentación del fenómeno que observaron y la comprueben más adelante.

Papel del profesor. El profesor orientará la discusión a través de intervenciones puntuales, permitiendo que los alumnos intercambien sus ideas libremente y generen sus propias reflexiones y conclusiones.

Descripción:

- Cada equipo compartirá con el grupo su explicación del fenómeno de difracción en la etapa anterior.
- Discutirán y argumentarán una explicación a este fenómeno.
- En grupo plantearán una idea general que explique el fenómeno de difracción observado y su implicación en el funcionamiento del robot que observaron en la primera etapa de esta secuencia.

3.3 Conocer los conceptos existentes con validez científica.

Propósito. Que el alumno se aproxime a la explicación científicamente aceptada del fenómeno de difracción para que la confronte con sus ideas previas.

Justificación. Para que los alumnos inicien una transformación conceptual que los aproxime a la explicación científicamente aceptada del fenómeno de difracción deben comprender mínimamente este fenómeno. Después contrastarán la explicación científicamente aceptada con sus preconcepciones y valorarán la explicación científicamente aceptada como cierta y fructífera.

Logros esperados en los alumnos. Que el alumno conozca y comprenda mínimamente la explicación científica del fenómeno de difracción.

Papel del profesor. Proporcionará a los alumnos información acerca del fenómeno de difracción, los apoyará y cuando sea necesario aclarar sus dudas, al finalizar la exposición formulará preguntas que obligue a los alumnos a argumentar sus explicaciones y evaluar el grado de comprensión de los alumnos sobre este tema.

## Descripción.

- En equipo analizarán y discutirán la información sobre el fenómeno de difracción.
- A partir del análisis y discusión, los alumnos en equipo prepararán una exposición apoyándose de dibujos y esquemas que ellos elaborarán.
- Los equipos presentarán su exposición.
- Al final de las exposiciones el grupo expondrá sus dudas acerca del fenómeno de difracción y se les dará respuesta. Durante esta etapa el profesor realizará preguntas

### 3.4 Construcción-Modificación de los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos construyan o modifiquen los conceptos relativos al fenómeno de difracción.

Justificación. Para que los estudiantes consideren la concepción científicamente aceptada del fenómeno de difracción y lo sobrepongan a sus ideas previas, es necesario que sean capaces de representarlo y comprenderlo. Una vez que los alumnos ya conocieron y comprendieron mínimamente una concepción alternativa a sus ideas previas, pueden compararlas y ponerlas a discusión o someterlas a la experimentación.

Logros esperados en los alumnos. Que los alumnos comparen sus ideas previas sobre el fenómeno de difracción con la explicación científicamente aceptada y le den mayor importancia a la segunda.

Papel del profesor. El profesor retomará las ideas previas sobre el fenómeno de difracción expuestas por los alumnos y les pedirá que las contrasten con la explicación que formularon y la explicación científica.

Descripción:

- Los alumnos, en equipo, contrastarán sus ideas previas con la explicación que formularon sobre el fenómeno de difracción y la explicación científica de este.
- En grupo se resaltarán las semejanzas y diferencias entre estas dos posturas.
- Se discutirá en grupo la validez de los distintos planteamientos.

3.5 Comprobar la validez de los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos consoliden los nuevos conceptos sobre la difracción que adquirieron.

Justificación. Para que los estudiantes consoliden los nuevos conceptos sobre la difracción que aprendieron es necesario que realicen actividades donde los pongan a prueba y los validen.

Logros esperados en los alumnos. Que comprueben la validez del concepto de la difracción científicamente aceptado y que generen sus propias conclusiones.

Papel del profesor. Propiciará que los alumnos realicen la actividad de forma independiente y en caso de ser necesario contribuirá o hará aclaraciones a las conclusiones de los alumnos.

Descripción:

- En equipo, dibujarán un esquema de lo que creen que van a observar en la pared en cada una de las siguientes situaciones:
  1. Al apuntar el láser, al filo de una navaja de afeitar.
  2. Al apuntar el láser, a un agujero muy pequeño en un cartón.
  3. Al apuntar el láser, a una ranura muy fina en un cartón.
- Compartirán con el grupo sus predicciones y explicarán el porqué de estas.
- Realizaran las experiencias indicadas anteriormente y registraran lo observado.

- Contrastando lo observado con sus predicciones y cada equipo formulará sus conclusiones.
- Los equipos compartirán sus conclusiones con el grupo y las discutirán.

### 3.6 Ampliar los nuevos conceptos.

Propósito. Que los alumnos extiendan su nueva concepción sobre el fenómeno de la difracción a otras situaciones y contextos.

Justificación. Para que la nueva concepción del fenómeno de difracción sea aceptada por los estudiantes debe tener el potencial de ser ampliada y poderse abrir a nuevas áreas.

Logros esperados en los alumnos. Que sean capaces de utilizar su nueva concepción del fenómeno de difracción a otras situaciones fenomenológicas o tecnológicas.

Papel del profesor. Establecerá los objetivos a cubrir en la exposición, planificará y distribuirá los temas a tocar a cada equipo, al final de cada exposición realizará preguntas a los expositores para promover la discusión grupal.

Descripción:

- Los alumnos en equipo realizarán una investigación sobre la difracción en los fenómenos naturales y algunos ejemplos de sus aplicaciones tecnológicas.
- Al final de cada exposición los alumnos expondrán sus dudas o comentarios al equipo en turno.

### **3.3.4 Verificación del cambio conceptual.**

Propósito. Que los alumnos expliciten sus nuevas ideas o conocimientos adquiridos sobre los fenómenos de reflexión, refracción y difracción para verificar su avance y su capacidad de argumentar. Esta etapa también tiene la finalidad de llevar a los alumnos a reflexionar y concientizarse de su cambio conceptual.

Papel del profesor.

Escuchar las elaboraciones conceptuales de los alumnos y orientarlos en la elaboración de posibles síntesis de sus nuevas concepciones.

Papel del estudiante:

Exponer sus nuevas concepciones, escuchar las de sus compañeros y debatir las posibles divergencias.

Descripción.

- De forma individual los alumnos elaborarán un mapa mental de los temas abordados.
- Con apoyo de la red conceptual que elaboraron, expondrán al grupo sus nuevas concepciones sobre los fenómenos de reflexión, refracción y difracción.
- Se discutirán las posibles divergencias entre las nuevas concepciones.
- En grupo se retomarán algunas de las respuestas del cuestionario que se realizó en la etapa orientación y se contrastarán con las nuevas concepciones comentando y discutiendo las diferencias respecto.

### **3.3.5 Aplicación de los nuevos conceptos.**

Propósito. Que los alumnos refuercen sus nuevos conocimientos sobre los fenómenos de reflexión, refracción y difracción y los conecten con la vida cotidiana.

Papel del profesor.

El profesor presentará distintas situaciones a las que se podrá enfrentar el robot para que los alumnos intenten predecir su comportamiento y que fenómeno ondulatorio estará presente.

Papel del alumno. Los alumnos aplicarán sus nuevas concepciones para la solución de problemas reales.

## Descripción.

- Los alumnos predecirán el comportamiento del robot ante distintitos tipos de obstáculos.
- Después cada equipo programará un robot para que sea capaz de evadir obstáculos.
- Pondrán a prueba el robot ante las distintas situaciones planteadas con anterioridad.
- Observarán lo que sucede y lo contrastarán con sus predicciones.
- Para explicar las posibles discrepancias entre las predicciones de los alumnos y reforzar los nuevos conceptos se analizarán y explicarán de nuevo los fenómenos ondulatorios con el apoyo de un software de simulación de ondas y se darán más ejemplos relacionados con la vida cotidiana.

## **Capítulo IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **4.1 Muestra**

La muestra está conformada por dos grupos experimentales (GE1 y GE2) de 8 y 13 alumnos respectivamente y un grupo de control (GC) de 13 alumnos, que estaban cursando la asignatura de Física II en el plantel Iztapalapa 4 del Instituto de Educación Media Superior. La propuesta didáctica fue aplicada en 5 sesiones de 1 hora 30 minutos cada una. Para el grupo de control se contó con la participación de otro profesor quien impartió los mismos temas de forma tradicional.

### **4.2 Instrumentos de evaluación**

Se desarrollaron dos cuestionarios: un cuestionario previo (pretest) y un cuestionario final (postest). Ambos cuestionarios constan de 14 preguntas abiertas y solo difieren en la forma de plantear las preguntas. Los alumnos podían apoyarse de esquemas o dibujos para explicar sus respuestas. El objetivo del pretest (Anexo 1), es conocer las ideas de los alumnos acerca de los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción antes de iniciar la secuencia didáctica y, en caso de ser necesario, realizar adecuaciones a la secuencia didáctica en base a las ideas previas de los alumnos; el postest (Anexo 2), permitió contrastar las ideas previas de los alumnos reflejadas en el pretest, con las ideas que construyeron a lo largo de la secuencia didáctica y realizar un análisis cuantitativo de los cambios conceptuales alcanzados por los alumnos.

### **4.3 Evaluación del proceso de cambio conceptual.**

Para registrar y hacer un breve análisis cualitativo de las diferentes etapas de la secuencia didáctica se diseñó una escala de valoración para conocer el grado de interés que despertó la secuencia didáctica en los alumnos. Para evaluar el desempeño de los alumnos durante sus exposiciones y elaboración de mapas mentales se implementaron rúbricas.

#### 4.4 Resultados pretest

Primero se evaluaron, de forma general, las ideas comunes que se presentaron en cada grupo, para después hacer una evaluación y análisis de las respuestas de cada alumno en el pretest.

Para este primer análisis de las ideas previas de los alumnos acerca de los fenómenos ondulatorios, sus respuestas se clasificaron en tres niveles:

- Concepciones erróneas: Las ideas expuestas por los alumnos se contradicen con el significado que la ciencia asigna como correcto a los conceptos.
- Concepciones parciales o incompletas: Las ideas expuestas por los alumnos son parciales o incompletas.
- Concepciones correctas: Las ideas expuestas por los alumnos no contradicen las teorías científicas.

En las figuras 4.1 a la 4.14 se muestran algunos ejemplos de las respuestas de los alumnos.

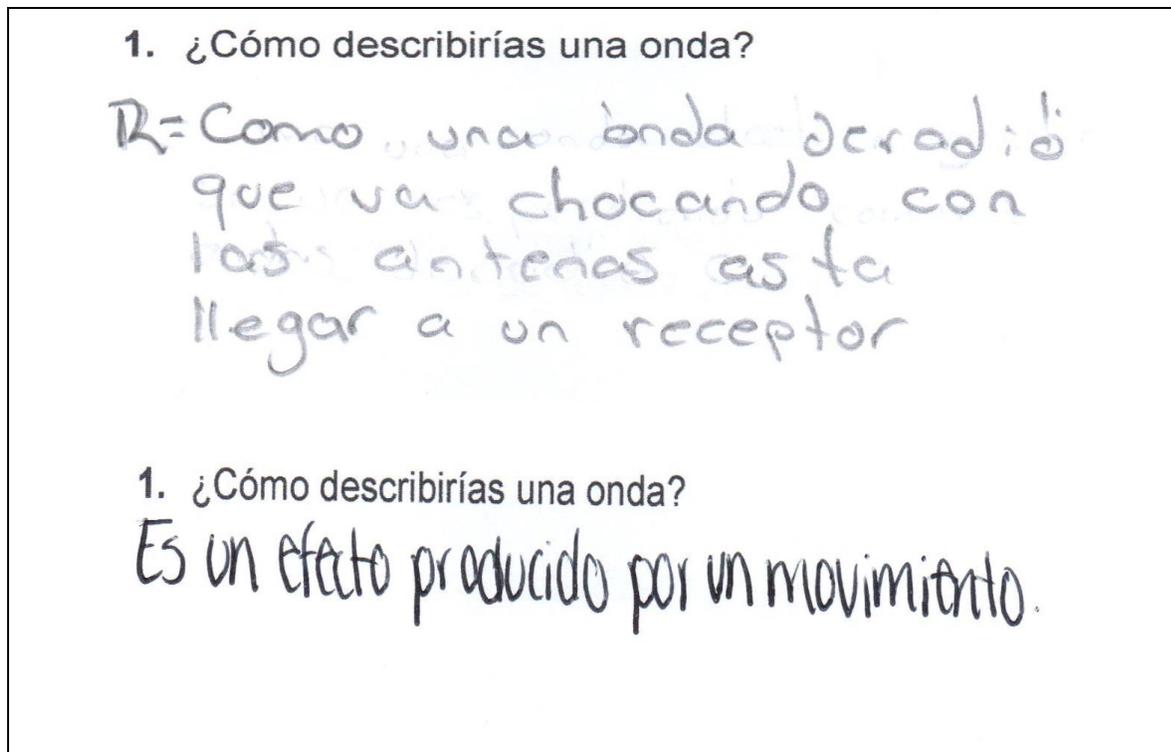


Fig. 4.1. Descripción de los alumnos de una onda.

2. ¿Una onda transporta energía, materia o ambas? Explica tu respuesta

R= Energía por que la materia es visible y tiene un peso

2. ¿Una onda transporta energía, materia o ambas? Explica tu respuesta

Podría transportar ambos ya que se da por el movimiento y ahí podría transportar la energía y materia porque se puede usar ese movimiento para la materia.

Fig. 4.2. Respuestas de los alumnos relativas a concepto de onda.

3. Menciona algunos ejemplos de fenómenos ondulatorios.

-Ondas de Radio  
-Wifi  
-Satelitales

3. Menciona algunos ejemplos de fenómenos ondulatorios.

Bombos, terremotos, incendios, explosiones, tsunamis.

Fig. 4.3. Respuestas de los alumnos acerca de ejemplos de fenómenos ondulatorios.

4. Cuando miramos una roca sumergida dentro del agua parece más grande de lo que es. ¿A qué se debe este fenómeno?

La luz se refleja mas en el agua, porque es cristalina haciendo una ilusión optica que nos confunde.

4. Cuando miramos una roca sumergida dentro del agua parece más grande de lo que es. ¿A qué se debe este fenómeno?

Si → No

A las ondas que tiene el agua que manipulan nuestra mirada.

Fig. 4.4. Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de refracción de la luz en el agua.

5. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un recipiente transparente lleno de agua como lo muestra la figura. Dibuja la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser y explica el porqué.



en el recipiente se ve que tiene un movimiento el agua lo que puede hacer que el láser se mueva

5. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un recipiente transparente lleno de agua como lo muestra la figura. Dibuja la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser y explica el porqué.

Por que el agua es clara y el vidrio transparente, el laser con facilidad traspasa todo sin interrupción.

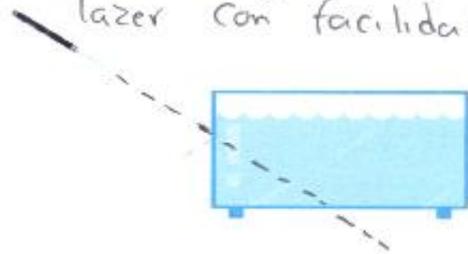


Fig. 4.5. Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de refracción de las ondas.

6. Retomando el ejemplo anterior, ¿Qué sucedería si el recipiente contuviera aceite en lugar de agua? ¿la trayectoria del láser cambiaría? Explica tu respuesta.

No, el aceite es más denso y no permite el paso del láser

6. Retomando el ejemplo anterior, ¿Qué sucedería si el recipiente contuviera aceite en lugar de agua? ¿la trayectoria del láser cambiaría? Explica tu respuesta.

Si claro ya que estaría en un punto fijo y el láser no tendría ningún movimiento

Fig. 4.6. Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de refracción de las ondas.

7. ¿Qué se produce cuando un sonido pasa de un medio a otro?

Cambian las ondas su fango

7. ¿Qué se produce cuando un sonido pasa de un medio a otro?

Se producen ondas, se hacen más fuertes y salen a otro lado.

Fig. 4.7 Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de refracción de las ondas.

8. Cuando emitimos un sonido en un valle se produce un eco. Explica a qué se debe este fenómeno.

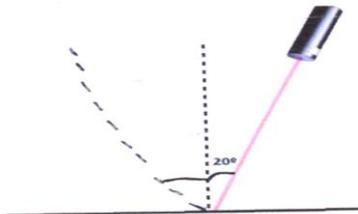
a qué el sonido no es rebotado por algo y tiene mayor alcance por estar vacío.

8. Cuando emitimos un sonido en un valle se produce un eco. Explica a qué se debe este fenómeno.

Como es un lugar cerrado hace que las ondas suene fuerte

Fig. 4.8 Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de reflexión de las ondas.

9. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un espejo plano en un ángulo de 20 grados como lo muestra la figura. Completa la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser en indica el ángulo de reflexión.



9. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un espejo plano en un ángulo de 20 grados como lo muestra la figura. Completa la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser en indica el ángulo de reflexión.

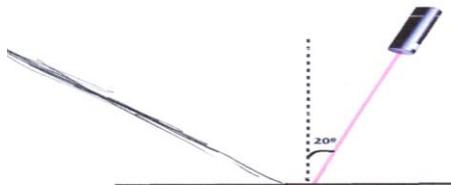


Fig. 4.9 Respuestas de los alumnos acerca la ley reflexión de las ondas.

10. Un altavoz emite una onda sonora y enfrente de él se encuentra unos obstáculos tal como se muestra en la figura. ¿Qué sucede con la onda sonora? Dibuja el comportamiento de la onda.



10. Un altavoz emite una onda sonora y enfrente de él se encuentra unos obstáculos tal como se muestra en la figura. ¿Qué sucede con la onda sonora? Dibuja el comportamiento de la onda.

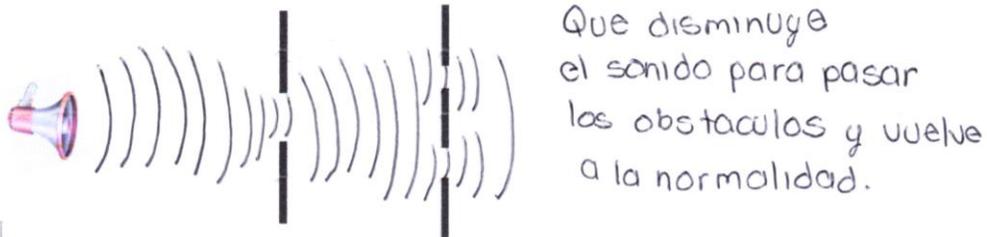


Fig. 4.10 Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de difracción de las ondas

11. Explica porque cuando en cuarto oscuro hay una rendija en alguna pared que da hacia un sitio iluminado. Se observa cómo por esa rendija entra un rayo de luz que se esparce por el cuarto produciendo una iluminación parcial del cuarto.

porque hay un espacio para que entre la luz.

11. Explica porque cuando en cuarto oscuro hay una rendija en alguna pared que da hacia un sitio iluminado. Se observa cómo por esa rendija entra un rayo de luz que se esparce por el cuarto produciendo una iluminación parcial del cuarto.

Por el color rebota, es decir, la iluminación se expande, las ondas de luz rebota

Fig. 4.11 Respuestas de los alumnos acerca del fenómeno de difracción de las ondas

12. ¿Cómo funciona el sonar?

Funciona por las ondas que produce el sonido, indica cosas que se van acercando por el sonido que producen.

12. ¿Cómo funciona el sonar?

Cuando vas detectando algo o una persona bajo el mar o fuera

(los que tienen  
los submarinos)

Fig. 4.12 Respuestas de los alumnos acerca del funcionamiento de un sonar.

13. ¿Qué tienen en común el radar y el sonar, cuales serían sus diferencias?

El radar y el sonar funcionan por las ondas del sonido pero el radar es por aire y el sonar por agua.

13. ¿Qué tienen en común el radar y el sonar, cuales serían sus diferencias?

Radar es del aire, localizador.

Sonar. es del agua, y vas detectando.

Fig. 4.13 Respuestas de los alumnos acerca de las diferencias de un sonar y un radar.

14. Menciona algunas aplicaciones tecnológicas de la reflexión, refracción, difracción de las ondas.

El sonar y radares → Difracción de ondas  
Lentes → Refracción.

14. Menciona algunas aplicaciones tecnológicas de la reflexión, refracción, difracción de las ondas.

Reflexión (el espejo)

Refracción (Agua) (Videos llamados)

Ondas (del sonido, eco).

↳ Radio.

Fig. 4.14 Ejemplos mencionados por los alumnos de aplicaciones tecnológicas de los fenómenos de reflexión, refracción y difracción.

Para realizar el análisis de las respuestas de los alumnos y conocer sus ideas previas acerca de las ondas y los fenómenos ondulatorios las preguntas del instrumento de evaluación se clasificaron en seis categorías: Concepto de onda, ejemplos de fenómenos ondulatorios, refracción, reflexión, difracción, funcionamiento de los sonares y radares, aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios.

A partir de este análisis se realizó una síntesis de las ideas previas más comunes de los alumnos de los tres grupos, relativas a las ondas y los fenómenos de reflexión, refracción y difracción que se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Ideas previas de los alumnos

<b>Pretest GE1</b>	<b>Concepciones erróneas.</b> Las ideas expuestas por los alumnos se contradicen con el significado que la ciencia asigna como correcto a los conceptos.	<b>Concepciones parciales o incompletas.</b> Las ideas expuestas por los alumnos son parciales o incompletas.	<b>Concepciones correctas.</b> Las ideas expuestas por los alumnos no contradicen las teorías científicas.
Concepto una onda. (Preguntas: 1 y 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consideran que las ondas transportan materia o energía y materia al mismo tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asocian a las ondas con la energía.</li> <li>• Relacionan al sonido con las ondas.</li> <li>• Es algo que se mueve.</li> </ul>	
Ejemplos de fenómenos ondulatorios. (pregunta: 3)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonido</li> <li>• Explosiones</li> <li>• Objetos que caen en estanques.</li> </ul>	
Refracción de las ondas (preguntas: 4,5,6 y 7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es cuando se corta la onda.</li> <li>• No identifican el fenómeno</li> <li>• Las "ondas del medio" interfieren con la luz o el sonido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desvía la onda</li> <li>• Cambia de forma la onda</li> </ul>	
Reflexión de las ondas. (preguntas: 8 y 9)		Relacionan el fenómeno del eco a lugares donde se encierra el sonido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos alumnos piensan que una onda incidente sobre una superficie reflectante será reflejada con un ángulo igual al ángulo de incidencia.</li> </ul>
Difracción de las ondas. (preguntas: 10 y 11)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No son capaces de explicar la difracción de la luz a través de una rendija.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las ondas se parten o rompen.</li> <li>• Las ondas se distribuyen.</li> </ul>	
Aplicación del fenómeno de reflexión en sonares y radares. (preguntas: 12 y 13)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confunden ondas electromagnéticas con las ondas mecánicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relacionan al sonar con el sonido.</li> <li>• Relacionan al sonar con aviones y submarinos.</li> </ul>	
Ejemplos de aplicaciones tecnológicas de los fenómenos de reflexión, refracción y difracción. (pregunta: 14)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos alumnos no logran identificar aplicaciones de los fenómenos ondulatorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos alumnos mencionan ejemplos de aplicaciones de los fenómenos ondulatorios, pero no son claros en los ejemplos que mencionan.</li> </ul>	

En la tabla 4.1 se observa que la mayoría de los alumnos relacionan los fenómenos ondulatorios con la energía, sin embargo, la mayoría de ellos considera que las ondas transportan materia y energía al mismo tiempo; no tienen un vocabulario específico para expresar sus ideas sobre las ondas, manifiestan que el sonido es una onda, pero no saben bien por qué, no logran distinguir las diferencias entre las ondas mecánicas y electromagnéticas. En sus respuestas relacionadas a los fenómenos de reflexión, refracción y difracción carecen de un referente concreto para apoyar sus explicaciones, consideran que el eco es un caso de reflexión del sonido, pero no pueden precisar las condiciones en la cual se presenta, pero la mayoría de ellos conoce la ley de reflexión de las ondas. Respecto al fenómeno de refracción solo algunos logran identificar que este fenómeno ondulatorio ocurre cuando la onda experimenta un cambio de medio, pero no hay claridad que características de la onda se modifican. En las preguntas relativas al fenómeno de difracción se observa que la mayoría de los alumnos desconoce el tema o no son capaces de describirlo y respecto a las aplicaciones tecnológicas de los fenómenos de reflexión, refracción y difracción dan ejemplos muy vagos o no logran identificarlas.

De lo anterior se deduce que, la mayoría de los alumnos, conocen algunos fenómenos ondulatorios, pero muestran dificultad en entenderlos, así como identificar las diferencias entre ellos. En cuanto a las preguntas que se refieren directamente al fenómeno de difracción, reflejaron que la mayoría lo desconoce o tienen ideas erróneas acerca de él.

Para valorar y hacer un análisis estadístico del cambio conceptual entre el pretest y postest se implementó una rúbrica que asigna un valor en porcentaje a las respuestas de los alumnos. Esta evaluación se realizó de forma individual para los tres grupos (GE1, GE2 y GC) para después hacer una comparación entre los grupos. A continuación, se presenta la rúbrica:

- 100 las respuestas de los alumnos no contradicen las teorías científicas y hacen uso del lenguaje científico.
- 80 las respuestas de los alumnos son parciales o incompletas y presentan algunas dificultades para expresar sus ideas utilizando conceptos científicos.
- 60 las respuestas de los alumnos son parcialmente correctas, no utilizan conceptos científicos para explicar sus ideas, dan explicaciones muy vagas.
- 30 las respuestas de los alumnos están fundamentadas en experiencias cotidianas de forma incorrecta, confunden conceptos e identifican incorrectamente los fenómenos ondulatorios.
- 0 no responden la pregunta.

En las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 se presentan los resultados del pretest aplicado a los dos grupos experimentales y el grupo de control.

Tabla 4.2 Resultados del pretest del grupo GE1

Resultados pretest Grupo GE1															
Alumnos	Preguntas														Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	30	30	60	100	30	30	30	30	100	30	30	30	30	30	42.14
2	30	30	60	100	100	30	30	60	100	100	60	30	30	60	58.57
3	30	30	0	30	30	30	30	30	100	100	30	30	60	60	42.14
4	30	80	0	30	30	30	30	30	100	100	30	30	30	0	39.28
5	30	30	0	30	30	30	60	30	30	30	30	30	30	0	27.14
6	30	30	30	30	30	30	30	30	30	60	0	0	30	60	30.00
7	30	80	60	30	60	60	30	30	100	60	0	30	60	30	47.14
8	30	30	60	100	30	30	30	30	30	30	0	0	30	30	32.85
Promedio total del grupo															39.90

Tabla 4.3 Resultados del pretest del grupo GE2

Resultados pretest Grupo GE2															
Alumnos	Preguntas														Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	60	60	60	30	30	30	30	30	100	30	30	60	60	30	45.71
2	60	30	60	60	30	30	30	60	30	30	0	60	30	0	45.71
3	0	60	30	60	30	0	30	60	30	30	30	30	30	30	32.14
4	30	30	60	30	30	30	30	60	100	30	30	0	30	0	35.00
5	30	60	30	30	30	30	60	30	30	30	30	30	30	30	34.28
6	30	60	0	30	30	30	30	30	30	30	0	0	30	0	23.57
7	60	60	30	30	30	30	30	30	100	30	0	60	30	30	39.28
8	60	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0	30.00
9	30	30	30	30	30	30	30	30	100	60	30	30	30	30	37.14
10	30	30	0	30	30	30	0	30	30	0	0	30	0	0	17.14
11	30	30	30	30	60	60	60	30	30	30	30	30	30	0	34.28
12	60	30	30	0	30	30	30	30	60	100	0	0	0	0	28.57
13	60	60	30	30	80	80	0	80	100	80	30	60	80	0	55.00
Promedio total del grupo															35.21

Tabla 4.4 Resultados del pretest del grupo GC

Resultados pretest Grupo GC															
Alumnos	Preguntas														Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	30	30	0	30	30	30	30	30	100	30	30	30	30	0	30.71
2	30	30	30	30	60	60	60	30	100	30	30	30	30	30	41.42
3	30	30	60	30	30	30	30	60	100	100	60	30	30	60	48.57
4	60	30	30	0	30	30	30	30	60	100	30	30	30	0	35.00
5	30	60	0	30	30	30	30	30	100	100	30	30	30	30	40.00
6	30	30	0	30	30	30	60	30	30	30	30	30	30	0	27.85
7	60	60	30	30	30	30	30	30	100	60	30	30	30	60	43.57
8	30	30	30	30	30	30	30	30	100	60	0	0	0	30	30.71
9	60	30	60	100	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	39.28
10	30	30	60	30	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	25.71
11	30	30	30	30	30	30	30	60	100	30	30	30	30	30	37.14
12	30	30	30	0	60	30	30	30	100	60	60	30	30	30	39.28
13	60	30	30	60	30	30	60	60	100	60	30	30	30	30	45.7
Promedio total del grupo															37.30

De los datos de las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 podemos observar que la mayoría de los alumnos de los tres grupos tienen ideas erróneas acerca de las ondas y de los fenómenos ondulatorios, aunque la mayoría de ellos relacionan las ondas con la energía, no tienen una idea clara al respecto y piensan que una onda transporta energía y materia al mismo tiempo. En los resultados que se presenta en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 podemos observar que los promedios de los alumnos de los tres grupos son semejantes por lo cual podemos afirmar que las condiciones de inicio fueron iguales para los tres grupos.

Dado que no se encontraron diferencias significativas en las respuestas de los tres grupos, podemos hacer las siguientes observaciones de forma general a las respuestas del pretest de todos los grupos:

- El 24% de los alumnos tuvieron una idea parcial del concepto de onda y sus respuestas están relacionadas con el transporte de energía, pero también de materia y los demás describen este concepto como un tipo de movimiento.
- El 28% de los alumnos relacionó a la reflexión, refracción y difracción como fenómenos ondulatorios, mientras que el resto de los alumnos mencionó al sonido, la caída de una piedra o aplicaciones tecnológicas de las ondas como fenómenos ondulatorios.
- El 14% de los alumnos fueron capaces de identificar hechos cotidianos donde está presente el fenómeno de refracción, pero manifestaron ideas parcialmente correctas acerca de este fenómeno.
- El 17% de los alumnos relacionó directamente al eco con el fenómeno de reflexión, los demás lo relacionaron a lugares vacíos o lugares donde se encierra el sonido.
- El 60% de los alumnos conoce y entiende la ley de reflexión.
- El 24% identifica fenómenos cotidianos donde está presente el fenómeno de difracción, pero no son capaces de explicarlo adecuadamente, plantean ideas como que las ondas se parten o distribuyen al encontrarse con un obstáculo.
- El 8% de los alumnos tuvo una idea muy general acerca del funcionamiento de los sonares y radares, pero no fueron capaces de distinguir en que caso se utilizan ondas mecánicas o electromagnéticas, el resto de los alumnos desconoció su funcionamiento.

- El 14% de los alumnos fue capaz de mencionar aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios, los demás dieron respuestas variadas, pero no relacionadas directamente o de forma clara a las aplicaciones de los fenómenos ondulatorios.

#### **4.5 Resultados de la aplicación de la estrategia.**

Como primera actividad de la secuencia didáctica, el profesor presentó un robot móvil, que se guía por ultrasonido, después de esto se pidió a los alumnos que en equipos de 5 o 6 integrantes contestaran 5 preguntas guía y al final compartieran sus respuestas en plenaria.

Las preguntas que se plantearon y algunas de las respuestas que dieron los alumnos de los dos grupos experimentales son las siguientes:

1. ¿Qué aplicación o aplicaciones le darías a un robot como el que acabas de observar?
  - Rescatar personas en los terremotos.
  - Para llevar a pasear a los niños cuando sus papás no puedan o quieran llevarlos.
  - Como esta pequeño lo podría utilizar la policía para espiar
  - Como un UBER sin chofer
2. ¿Cómo crees que es capaz de detectar los obstáculos en su camino?
  - Sensor laser
  - Sensor de presencia
  - GPS
  - Sonar
  - Con alguna especie de rayo o señal de radio

3. ¿Qué tienen en común las propuestas dadas anteriormente?

- Utilizan alguna especie de luz o rayo
- Sonido
- Señales de radio

4. ¿Qué es una onda?

- Energía
- Materia que se mueve
- Una vibración

5. ¿Qué fenómenos ondulatorios conoces?

- Sonido
- Celulares
- Radio
- Internet
- Una piedra que cae en un estanque formando ondas
- Reflexión

Esta actividad permitió rescatar algunas ideas y experiencias previas de los alumnos acerca de las ondas y los fenómenos ondulatorios y despertar su interés en estos temas.

#### **4.6 Observaciones durante el proceso del cambio conceptual.**

Con el propósito de registrar e identificar los avances y dificultades que presentaron los alumnos durante el proceso del cambio conceptual se elaboró una escala de valoración (tabla 4.5) y a continuación se presenta una síntesis de la información obtenida en cada grupo.

Tabla 4.5 Escala de valoración del proceso del cambio conceptual.

Indicador	Valoración				Observaciones
	Siempre	Frecuentemente	A veces	Nunca	
Todos los miembros de los equipos participan.					
Los integrantes del equipo aportan críticas constructivas y las aceptan.					
Las ideas planteadas durante la etapa de discusión y argumentación permitieron a los alumnos generar una explicación sobre los fenómenos ondulatorios.					
Los alumnos lograron reconocer las implicaciones de los fenómenos de reflexión y difracción en el funcionamiento del robot.					
A través de la lectura y discusión de los textos proporcionados los alumnos alcanzaron una comprensión mínima de los fenómenos de reflexión y difracción de las ondas.					
Durante las exposiciones se expusieron dudas.					
Se dio respuesta a todas las dudas planteadas.					
Las ideas de planteadas por el equipo están integradas por las aportaciones de todos los integrantes.					
Se retomaron las ideas previas y se contrastaron con las nuevas concepciones.					
Los alumnos fueron capaces de predecir el ángulo de reflexión para distintas situaciones.					
Los alumnos fueron capaces de predecir en que caso el ángulo de refracción es mayor.					
Los alumnos generaron sus propias conclusiones con la mínima intervención del profesor.					
Durante las exposiciones los alumnos fueron capaces de aplicar los nuevos conceptos para explicar diferentes situaciones fenomenológicas o tecnológicas.					

**GE1.** En este grupo se conformaron 3 equipos de dos y tres integrantes para trabajar durante toda la secuencia didáctica, lo cual favoreció a que todos los miembros de los equipos participaran y tuvieran oportunidad de expresar sus ideas y escuchar las opiniones de sus compañeros, aunque, en algunas ocasiones, las ideas que planteaban acerca de las ondas y los fenómenos ondulatorios no eran cercanas a las explicaciones científicamente aceptadas. A través de la discusión y argumentación lograban generar nuevas explicaciones que se aproximaban a las científicamente aceptadas.

Durante la actividad dirigida al fenómeno de reflexión, los tres equipos lograron predecir el ángulo de reflexión para distintas posiciones del brazo robot y generaron sus propias conclusiones acerca de este fenómeno.

En la actividad concerniente al fenómeno de refracción, ninguno de los equipos fue capaz de predecir qué sucedería con el láser al pasar de un medio a otro. Después de observar el fenómeno expusieron y discutieron sus ideas para plantear una explicación llegando a la conclusión de que una onda se desvía al experimentar un cambio de medio lo cual es una explicación parcial del fenómeno de refracción que se presenta como un cambio de dirección y velocidad de una onda que pasa de un medio a otro con distinto índice de refracción.

Una situación similar se presentó en la actividad propuesta para la difracción, al momento de exponer sus explicaciones plantearon ideas como que las ondas se parten o dividen, lo cual es una concepción errónea del fenómeno de difracción, que se puede entender como la desviación que sufren las ondas alrededor de los bordes de un obstáculo de dimensiones similares a su longitud de onda.

Durante las exposiciones fue posible evidenciar que hubo una buena organización en los tres equipos, si alguno no dominaba una parte del tema, sus compañeros lo apoyaban, aunque, en algunas ocasiones se les dificultaba explicar los nuevos conceptos y vincularlos a diferentes situaciones fenomenológicas o tecnológicas. Al final de cada exposición, los demás integrantes del grupo planteaban sus dudas las cuales fueron

resueltas en algunas ocasiones por los propios expositores y cuando fue necesario, el profesor completó y/o corrigió las explicaciones.

Durante la etapa de verificación del cambio conceptual, los alumnos de forma individual elaboraron un mapa mental (figs. 4.15 y 4.16) con el fin de que representaran las relaciones que construyeron entre los nuevos conceptos y sus ideas previas, para después compartirlas con sus compañeros y, a través de la discusión grupal, aclarar sus dudas. Este mapa también sirvió como instrumento de evaluación del cambio conceptual ayudando a visualizar las construcciones conceptuales que han alcanzado los alumnos y como organizan los nuevos conceptos. Para evaluar los mapas mentales se elaboró una rúbrica (anexo 3), a continuación, se presenta un breve análisis de la información recabada a través de ésta.

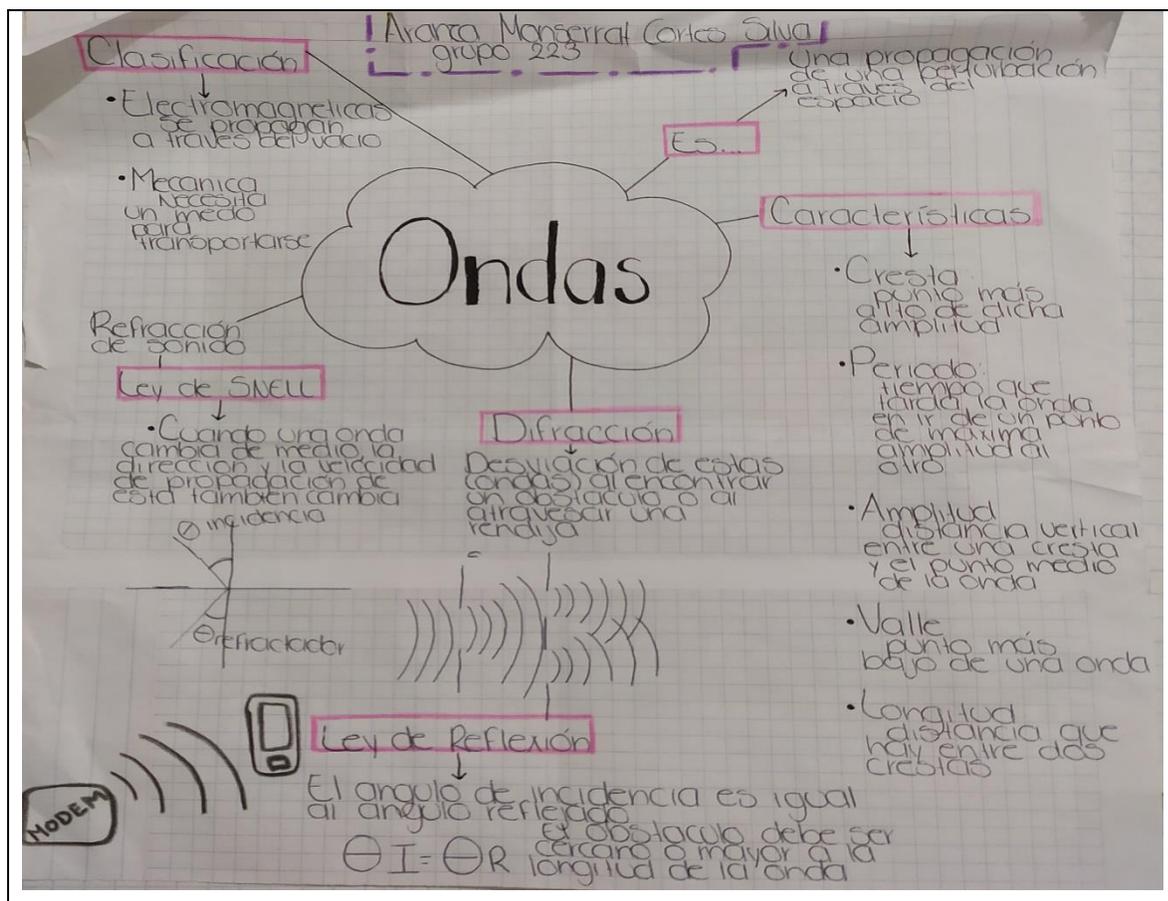


Fig. 4.15 Mapa mental elaborado por los alumnos del grupo GE1

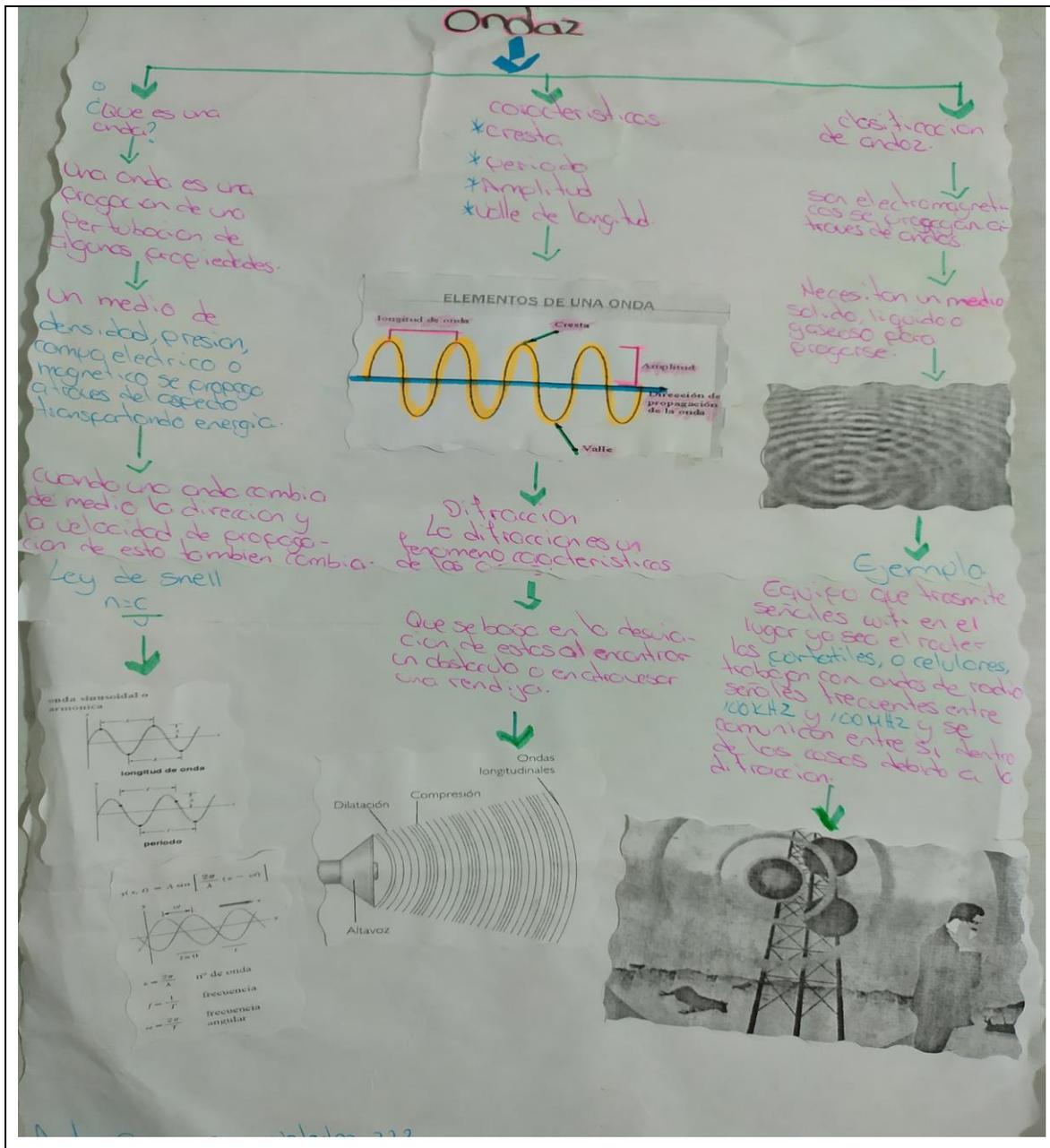


Fig. 4.16 Mapa mental elaborado por los alumnos del grupo GE1

La rúbrica de evaluación se proporcionó previamente a los alumnos para que la utilizaran como guía en la elaboración de sus mapas mentales. Pese a ello, los alumnos tuvieron algunas dudas y dificultades en la elaboración del mapa mental, debido a que no tenían clara la diferencia entre un mapa mental y un mapa conceptual y no estaban acostumbrados a realizar este tipo de actividad, por lo cual recurrían al profesor para aclarar sus dudas, siendo el profesor un guía durante la actividad. De forma general, se

observó que la mayoría de los mapas mentales incluían los conceptos clave, pero en algunos casos, la asociación entre éstos no era la adecuada, además de que, el uso de imágenes fue reducido y en pocos casos utilizaron colores para hacer énfasis entre los diferentes conceptos y sus asociaciones.

En los mapas mentales elaborados por los alumnos también podemos observar que los alumnos incorporaron conceptos como la clasificación de los tipos de onda y las características que describen a una onda, aunque estos no se abordaron durante las sesiones y no habían sido estudiados previamente, pero tuvieron un acercamiento a estos conceptos a través del trabajo de investigación que realizaron para preparar sus exposiciones. Además, se observó que la mayoría de los alumnos relacionaron los fenómenos de reflexión, refracción y difracción con aplicaciones tecnológicas y situaciones de la vida cotidiana. Por lo cual podemos sostener que esta actividad permitió a los alumnos asociar los nuevos conceptos y explicitar sus ideas.

Para dar aplicación a los nuevos conceptos y poner a prueba sus nuevos conocimientos los alumnos, organizados en equipos, programaron un robot móvil que fuera capaz de evadir diferentes obstáculos utilizando un sensor ultrasónico. Antes de poner en funcionamiento el robot y colocarlo enfrente a los distintos obstáculos, los alumnos contestaron un instrumento de evaluación (anexo 4), en el cual tenían que predecir el comportamiento del robot ante diferentes tipos de obstáculos con base en a los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción (Fig. 4.17).



Fig. 4.17 Desarrollo de la etapa aplicación de los nuevos conceptos.

Esta etapa de aplicación de los nuevos conocimientos despertó mucho interés en los alumnos. Pese a ello, solo uno de los tres equipos fue capaz de elaborar predicciones cercanas a lo que observarían más adelante y dar una justificación breve a sus respuestas con base a los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción. Los otros dos equipos tuvieron problemas para identificar en que caso se presentaba la difracción o refracción de las ondas tal como se puede observar en las figuras 4.18 y 4.19.

Janet Urrostegui Leidy Laura  
 Silvia Ibarra Romelio  
 Del Toro Díaz Miguel Angel  
 Carolina Gabriel Jorge Zahu.

El robot que utilizaremos cuenta con un sensor ultrasónico. Recordando los fenómenos ondulatorios, indica en cada caso ¿Cuál o cuáles fenómenos se presentarán? Y si el robot será capaz de evadir el obstáculo.

1.



Fenómenos ondulatorios reflexión

¿Lo puede evadir? si, la onda regresa

¿Sucederá lo mismo si el robot se encuentra con el cuaderno de Costado? si, pero con menos <sup>atracción</sup> Explica porque por que el cuaderno de costado, las ondas que pueda reflejar, seran menos

2.



Fenómenos ondulatorios Difracción

¿Lo puede evadir? si

Explica porque si podra, pero tardio, porque las onda rodearan el obstaculo, pero aun así recibira ondas de retorno

3.



Fenómenos ondulatorios Difracción

¿Lo puede evadir? si

Explica porque si, ya que las aristas harán que las ondas regresen

4. Si entre el robot y el obstáculo existieran distintas capas de aire a distintas temperaturas le afectaría en algo. Argumenta y justifica tu respuesta.

Fig. 4.18 Predicciones de los alumnos del grupo GE1 acerca del comportamiento del robot frente a diferentes obstáculos.

5-Abril-18

El robot que utilizaremos cuenta con un sensor ultrasónico. Recordando los fenómenos ondulatorios, indica en cada caso ¿Cuál o cuáles fenómenos se presentarán? Y si el robot será capaz de evadir el obstáculo.

1.



Fenómenos ondulatorios reflexión

¿Lo puede evadir? Si

¿Sucederá lo mismo si el robot se encuentra con el cuaderno de

Costado? si Explica porque  
revolara de cualquier forma, depende de la  
longitud de la onda

2.



Fenómenos ondulatorios Reflexión

¿Lo puede evadir? Si

Explica porque : X2

3.



Fenómenos ondulatorios Reflexión

¿Lo puede evadir? Si

Explica porque X3

4. Si entre el robot y el obstáculo existieran distintas capas de aire a distintas temperaturas le afectaría en algo. Argumenta y justifica tu respuesta.

Si, aumentaria o decairia dependiendo de la temperatura

Fig. 4.19 Predicciones de los alumnos del grupo GE1 acerca del comportamiento del robot frente a diferentes obstáculos.

**GE2.** En este grupo se conformaron 3 equipos, dos de cuatro integrantes y un equipo de 5 integrantes para trabajar durante toda la secuencia didáctica. En las primeras actividades de la secuencia didáctica, algunos alumnos no lograron integrarse con sus compañeros y su participación fue escasa, provocando que el intercambio de ideas fuese limitado. Conforme se fue desarrollando la secuencia didáctica, la interacción entre los integrantes de los equipos fue mejorando, de tal forma que a la mitad de la secuencia didáctica, la mayoría de los alumnos participaban compartiendo sus ideas y externando sus dudas, es decir, se fomentaron varias competencias entre las que se encuentra el trabajo colaborativo y la comunicación oral permitiendo a los alumnos su participación en clase.

Al igual que en el grupo GE1, en el grupo GE2 ningún equipo tuvo dificultad en predecir el ángulo de reflexión pudiendo generar sus propias conclusiones a cerca de este fenómeno y plantear conclusiones muy cercanas a la ley de reflexión. En cuanto a la actividad relativa al fenómeno de refracción, solo un equipo planteó la idea de que el láser cambiaría su dirección al pasar de un medio al otro, por ejemplo: aire-agua, aire-aceite, aire-alcohol, pero no estaban muy seguros si se observase una diferencia entre el agua, aceite, alcohol. Después de realizar la actividad y observar el fenómeno de refracción utilizando diferentes sustancias, los alumnos plantearon y discutieron sus ideas al respecto de este fenómeno, llegando a la conclusión de que el ángulo de refracción estaba relacionado con la viscosidad y color de los líquidos, aunque este planteamiento es incompleto si representa un acercamiento a la explicación científicamente aceptada.

Los alumnos del grupo GE2 no lograron predecir qué sucedería en la actividad propuesta para el fenómeno de difracción y después de observar el fenómeno, plantear y discutir sus ideas, formularon conclusiones similares a las del otro grupo proponiendo explicaciones a que el fenómeno de la difracción de las ondas se presenta cuando estas encuentran un obstáculo o rejilla dividiéndose para rodear el obstáculo o atravesar la rejilla.

Durante las exposiciones, se evidenciaron problemas en la organización en los tres equipos, en algunas ocasiones les faltaba información, los integrantes del equipo solo conocían una parte del tema y no participaban todos equitativamente, lo cual probablemente, es reflejo de los problemas de integración que se presentaron al principio

de la secuencia didáctica. Al final de cada exposición, se planteaban dudas las cuales en algunas ocasiones fueron resueltas por los expositores y en otras fue necesario que el profesor diera solución a las dudas planteadas.

En el análisis de los mapas mentales elaborados por los alumnos del grupo GE2 durante la etapa de verificación del cambio conceptual, se observaron problemáticas similares a las del grupo GE1, la mayoría de los alumnos desconocía como elaborar un mapa mental y pese a que se les dio una breve explicación y se les proporcionó una rúbrica que les serviría de guía para su elaboración, la mayoría de los trabajos que entregaron fueron más cercanos a un mapa mental. De forma general, la mayoría de los trabajos entregados por los alumnos incorporaban los conceptos principales, aunque en ocasiones la jerarquía de conceptos y la relación entre ellos no era muy clara (Véase figs. 4.20 y 4.21).

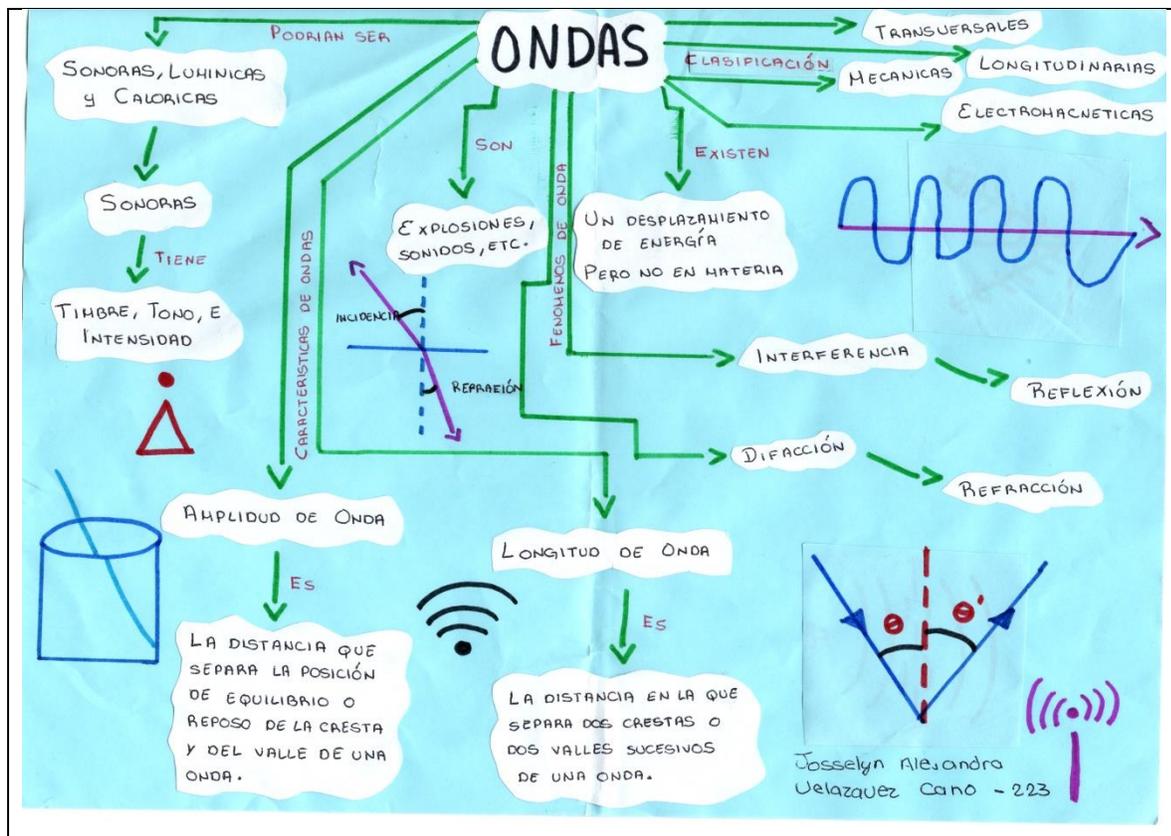


Fig. 4.20 Mapa mental elaborado por los alumnos del grupo GE2.

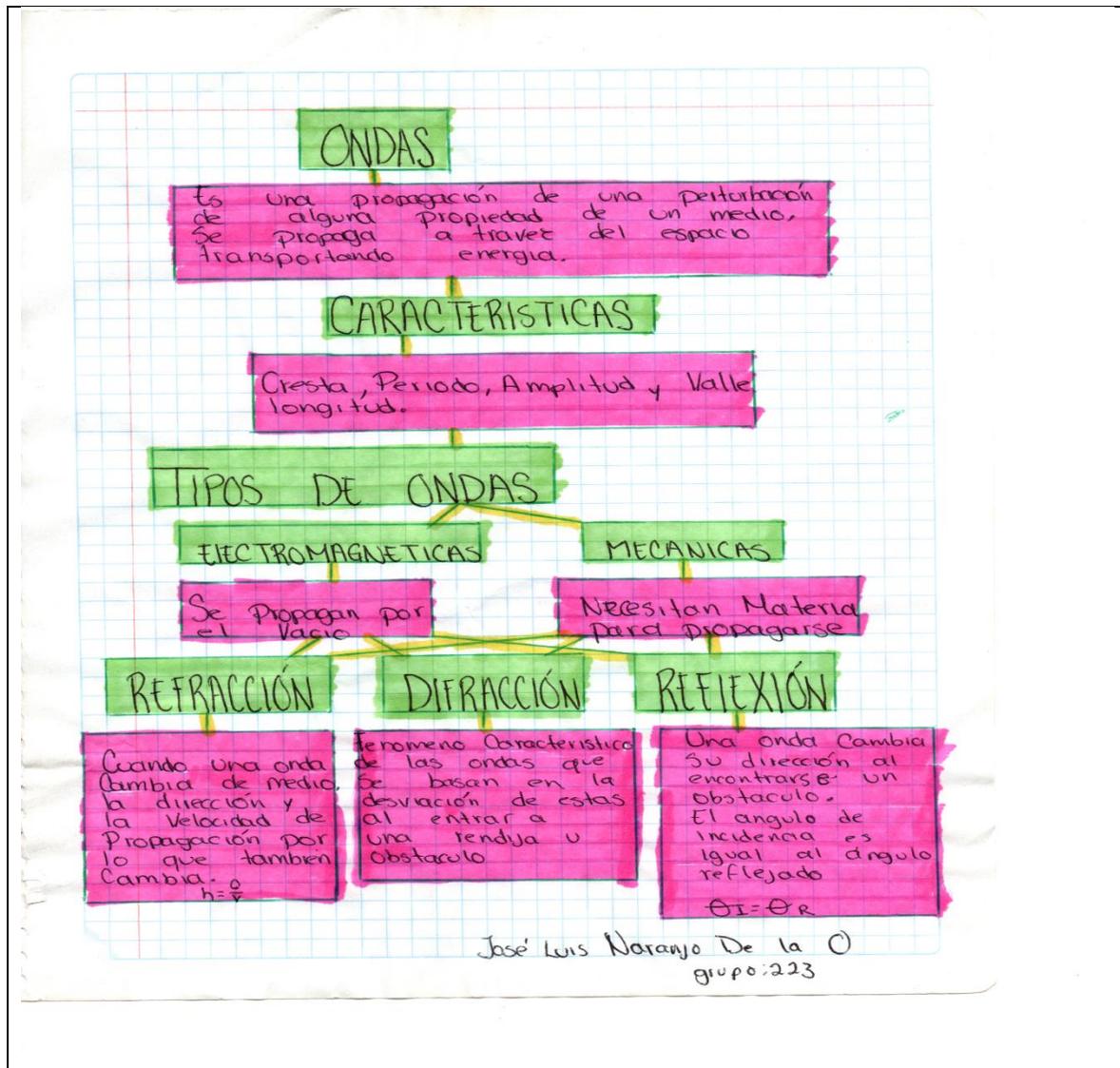


Fig. 4.21 Mapa mental elaborado por los alumnos del grupo GE2.

En la etapa de aplicación de los nuevos conocimientos, los alumnos del grupo GE2 se vieron muy interesados en la programación del robot, sus predicciones del comportamiento del robot fueron muy cercanas a lo que observarían más adelante, aunque, al igual que los alumnos del grupo GE1, tenían dudas de cuando se presentaría el fenómeno de la difracción de las ondas y ningún equipo se planteó la posibilidad de que más de un fenómeno ondulatorio se presentara en el mismo caso. En las figuras 4.22 y 4.23 se presentan algunas de las predicciones realizadas por los alumnos durante esta actividad.

El robot que utilizaremos cuenta con un sensor ultrasónico. Recordando los fenómenos ondulatorios, indica en cada caso ¿Cuál o cuáles fenómenos se presentarán? Y si el robot será capaz de evadir el obstáculo.

1.



Fenómenos ondulatorios Reflexión

¿Lo puede evadir? SI

¿Sucederá lo mismo si el robot se encuentra con el cuaderno de

Costado? SI Explica porque

Se refleja una parte de la onda

2.



Fenómenos ondulatorios Difracción

¿Lo puede evadir? NO

Explica porque Las ondas se desvían y no lo detecta

3.



Fenómenos ondulatorios Difracción

¿Lo puede evadir? NO

Explica porque se pasan las ondas y NO lo detecta

4. Si entre el robot y el obstáculo existieran distintas capas de aire a distintas temperaturas le afectaría en algo. Argumenta y justifica tu respuesta.



Fig. 4.22 Predicciones de los alumnos del grupo GE2 acerca del comportamiento del robot frente a diferentes obstáculos.

Alba Vazquez  
Crisóstomo Mendoza  
Martínez Martínez  
Jimenez Lopez  
Reyes Olmo J.

El robot que utilizaremos cuenta con un sensor ultrasónico. Recordando los fenómenos ondulatorios, indica en cada caso ¿Cuál o cuáles fenómenos se presentarán? Y si el robot será capaz de evadir el obstáculo.

1.



Fenómenos ondulatorios Reflexión

¿Lo puede evadir? Si

¿Sucederá lo mismo si el robot se encuentra con el cuaderno de

Costado? es posible Explica porque porque las ondas logran chocar con el costado

Aquí nuestras predicciones sí fueron aciertas.

2.



Fenómenos ondulatorios Reflexión

¿Lo puede evadir? NO

Explica porque porque las ondas se desvían a diferente ángulo, y no regresan.

Aquí no, pues las ondas no se desvitaron.

3.



Fenómenos ondulatorios Difracción

¿Lo puede evadir? No

Explica porque porque la onda pasa a través de la rejilla por lo tanto no regresa.

→ No fue cierta, pues las ondas sí chocaron.  
4. Si entre el robot y el obstáculo existieran distintas capas de aire a distintas temperaturas le afectaría en algo. Argumenta y justifica tu respuesta.

Pues sí le afecta, a la velocidad de la onda, por lo tanto, la velocidad sería más lenta.

Fig. 4.23 Predicciones de los alumnos del grupo GE2 acerca del comportamiento del robot frente a diferentes obstáculos.

#### 4.7 Resultados del postest

Las respuestas de los alumnos en el postest fueron analizadas con la misma rúbrica utilizada en el pretest a continuación en la tabla 4.6 se presentan los resultados obtenidos.

##### Grupo GE1.

Tabla 4.6 Resultados del postest del grupo GE1

Resultados postest Grupo GE1															
Alumnos	Preguntas														Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	30	80	100	100	60	60	60	100	100	100	60	80	60	30	72.85
2	60	30	100	100	100	60	30	100	100	100	60	80	60	60	74.28
3	60	60	100	30	30	60	80	100	100	100	100	60	80	60	72.85
4	60	80	100	100	60	60	60	100	100	100	100	80	80	80	82.85
5	30	30	100	100	80	60	60	100	100	60	60	80	80	80	72.85
6	60	80	100	100	30	60	100	30	30	60	30	80	60	60	62.85
7	100	100	100	60	60	60	100	100	100	80	80	80	100	100	87.14
8	60	100	60	100	60	60	30	100	30	60	30	60	60	30	60.00
Promedio total del grupo															73.20

De los datos de la tabla 4.6 podemos observar que la mayoría de los alumnos del grupo GE1 modificaron sus ideas previas acerca de las ondas y de los fenómenos ondulatorios. Aunque, la mayoría de los alumnos formuló respuestas parciales o incompletas teniendo dificultades para expresar sus ideas utilizando conceptos científicos. A continuación, se presentan algunas observaciones de las respuestas de los alumnos del grupo GE1 en el postest.

- El 25% de los alumnos modificó sus ideas previas acerca del concepto de onda y sus respuestas se aproximaban a las concepciones científicamente aceptadas, mientras que el 50% solo modificó sus ideas previas de forma parcial y un 25% no presentó ningún cambio en sus ideas previas.
- El 87% de los alumnos logró identificar los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción.

- El 37.5% de los alumnos logró identificar hechos cotidianos donde está presente el fenómeno de refracción dando explicaciones que no contradicen las concepciones científicas, mientras que el 64.5% logró identificar hechos cotidianos donde se presenta este fenómeno, pero sus explicaciones eran parcialmente correctas.
- El 75% de los alumnos comprendió la ley de reflexión y logró identificar fenómenos cotidianos donde está presente y el 25% tuvo dificultades para comprender la ley de reflexión.
- El 62% del alumno fue capaz de modificar sus ideas previas respecto al fenómeno de difracción y reconocer hechos cotidianos donde está presente este fenómeno y el 38% logró identificar este fenómeno, pero sus explicaciones eran parcialmente correctas.
- El 75% de los alumnos comprendió de forma general el funcionamiento de los sonares y radares, pero el 25% aún tenía problemas en reconocer en que caso se utilizan ondas mecánicas o electromagnéticas, dificultad que incluso se presenta en alumnos de nivel superior.
- El 37.5% de los alumnos fue capaz de relacionar aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios, el resto de los alumnos dieron respuestas variadas, pero no relacionadas directamente o de forma clara a las aplicaciones de los fenómenos ondulatorios.

## Grupo GE2.

Tabla 4.7 Resultados del postest del grupo GE2

Resultados postest Grupo GE2															
Alumnos	Preguntas														Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	100	100	100	60	60	30	60	60	100	30	60	60	60	60	67.14
2	100	100	100	60	30	60	60	60	60	60	30	60	60	30	62.14
3	100	100	100	100	100	80	80	80	100	80	100	80	100	30	87.85
4	60	100	60	80	60	60	60	60	100	30	60	60	60	60	65.00
5	100	60	60	60	60	60	60	30	100	60	60	60	30	60	61.42
6	30	60	100	60	60	60	30	30	100	60	60	60	30	60	57.14
7	60	60	80	30	60	30	60	60	100	60	30	60	60	60	57.85
8	100	100	100	100	100	60	100	100	100	60	100	60	60	60	85.71
9	30	100	100	100	60	100	60	100	100	60	60	80	60	30	74.28
10	100	100	100	80	80	80	80	100	100	60	80	80	60	60	82.85
11	80	100	100	100	80	80	80	100	100	60	100	60	30	60	80.71
12	60	100	60	30	100	60	60	60	60	100	80	60	30	30	63.57
13	60	60	100	100	80	80	60	80	100	80	30	60	80	60	73.57
Promedio total del grupo															70.71

De la información recabada en la tabla 4.7 podemos indicar las siguientes observaciones:

- El 69% de los alumnos modificó sus ideas previas acerca del concepto de onda y sus respuestas se aproximaban a las concepciones científicamente aceptadas, mientras que el 31% solo modificó sus ideas previas de forma parcial teniendo dificultades en reconocer que una onda solo transporta energía.
- El 76% de los alumnos logró identificar los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción.
- El 46% de los alumnos logró identificar hechos cotidianos donde está presente el fenómeno de refracción dando explicaciones que no contradicen las concepciones científicas, mientras que el 54% logró identificar hechos cotidianos donde se presenta este fenómeno, pero sus explicaciones eran parcialmente correctas.

- El 69% de los alumnos comprendió la ley de reflexión y logró identificar fenómenos cotidianos donde está presente y el 31% tuvo dificultades para comprender la ley de reflexión.
- El 38% del alumnado fue capaz de reconocer hechos cotidianos donde está presente este fenómeno de la difracción de las ondas y de modificar sus ideas previas respecto a este fenómeno, mientras que el 72% tuvo dificultades para identificarlo y no se presentó algún cambio significativo respecto a sus ideas previas.
- El 31% de los alumnos comprendió de forma general el funcionamiento de los sonares y radares relacionándolos directamente con el fenómeno de reflexión de las ondas e identificando que tipo de ondas se empleaba en cada caso, mientras que el 70% se seguía confundiendo o tenía dudas en cuanto a cuál de estos dispositivos empleaba ondas mecánicas y cuál utilizaba ondas electromagnéticas.
- El 69% de los alumnos mencionaron aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios, pero no las relacionaron con algún fenómeno en específico y el 31% no fue capaz de mencionar o relacionar alguna aplicación tecnológica con los fenómenos ondulatorios o las ondas.

## Grupo GC.

Tabla 4.8 Resultados del postest del grupo GC.

Resultados postest Grupo GC															
Alumnos	Preguntas														Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	100	100	100	60	30	30	30	30	100	30	30	60	60	60	58.57
2	100	100	100	60	60	60	60	60	100	60	30	60	30	30	65.00
3	60	100	60	80	60	60	30	60	100	100	60	60	30	60	65.71
4	60	60	60	30	60	60	60	30	60	100	60	60	30	30	54.28
5	30	60	100	30	60	60	30	30	100	100	60	60	30	30	55.71
6	60	60	80	30	60	30	60	100	100	60	100	60	60	60	65.71
7	60	60	60	100	60	60	60	80	100	60	30	60	60	60	65.00
8	60	80	100	100	30	60	100	60	100	60	60	60	30	30	66.42
9	60	100	60	100	100	60	60	60	60	100	80	60	30	60	70.14
10	60	60	60	30	30	60	80	60	100	100	100	30	60	60	63.57
11	30	60	30	30	60	60	30	60	100	60	30	60	30	30	47.85
12	60	30	100	100	60	60	30	60	100	60	60	60	30	60	62.14
13	60	100	100	60	30	30	60	60	100	60	30	60	60	60	62.14
Promedio total del grupo															61.71

De los resultados obtenidos por el grupo de control que se presentan en la tabla 4.8 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El 38% de los alumnos modificó sus ideas previas acerca del concepto de onda y sus respuestas se aproximaban a las concepciones científicamente aceptadas, mientras que el 30% solo modificó sus ideas previas de forma parcial teniendo dificultades en reconocer que una onda solo transporta energía y el 32% no modificó sus ideas previas.
- El 53% de los alumnos logro identificar los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción.

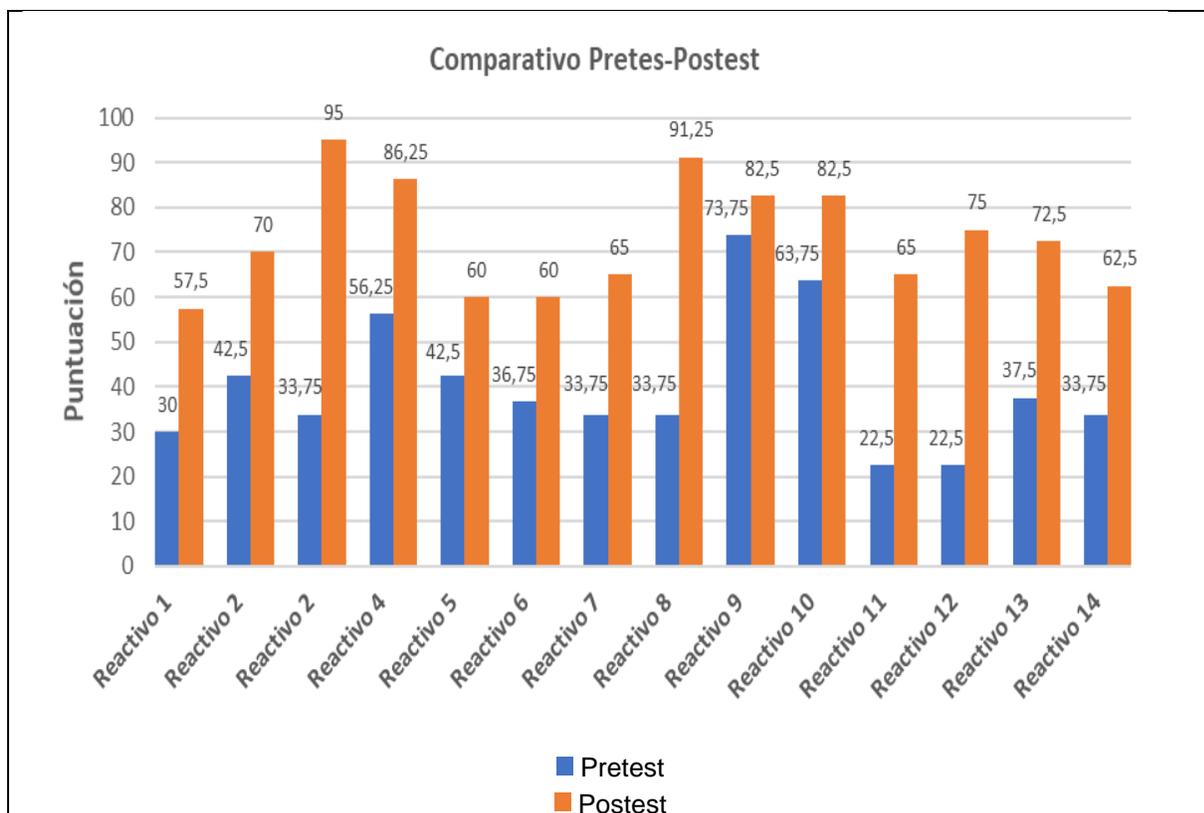
- El 46% de los alumnos logró identificar hechos cotidianos donde está presente el fenómeno de refracción dando explicaciones que no contradicen a las concepciones científicas, mientras que el resto del grupo solo logró identificar algunos hechos cotidianos donde se presenta este fenómeno, pero sus explicaciones eran parcialmente correctas.
- El 69% de los alumnos comprendió la ley de reflexión y logró identificar fenómenos cotidianos donde está presente y el 31% tuvo dificultades para comprender la ley de reflexión.
- El 46% del alumno fue capaz de reconocer hechos cotidianos donde está presente este fenómeno de la difracción de las ondas y de modificar sus ideas previas respecto a este fenómeno, el 15% identificó hechos cotidianos de este fenómeno, pero sus explicaciones eran parcialmente correctas y el 39% no logró identificar hechos cotidianos donde está presente el fenómeno de la difracción de las ondas y no modificaron sus ideas previas.
- El 30% de los alumnos comprendió parcialmente el funcionamiento básico de los sonares relacionándolos con las ondas, pero en muchos de los casos no lo relacionaban con el fenómeno de reflexión y no tenían claro cuál de ellos utilizaba ondas mecánicas y cual ondas electromagnéticas y el 70% dio respuestas incorrectas.
- El 69% de los alumnos mencionaron aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios, pero no las relacionaron con algún fenómeno en específico y el 31% mencionó ejemplos que no relacionaban aplicaciones tecnológicas con los fenómenos ondulatorios.

#### **4.8 Comparativo pretest-postest**

Para poder identificar si se presentó un cambio conceptual y en qué grado se dio, los resultados del pretest y el postest de los dos grupos experimentales y el grupo de control se sometieron a un análisis estadístico con una prueba T pareada. Dicho análisis se realizó a cada reactivo, a los resultados generales del postest y por tema o concepto partiendo de la siguiente hipótesis:

- $H_0: \mu = \mu_0$  y el valor  $p \geq 0.05$ . No existe diferencia estadísticamente significativa en el cambio conceptual acerca del concepto de onda, los fenómenos ondulatorios y las aplicaciones tecnológicas de estos fenómenos.
- $H_1: \mu > \mu_0$  y el valor  $p < 0.05$ . Existe una diferencia estadísticamente significativa en el cambio conceptual acerca del concepto de onda, los fenómenos ondulatorios y las aplicaciones tecnológicas de estos fenómenos.

**Análisis comparativo de datos del grupo GE1.** En la gráfica 4.1 se presentan el comparativo entre el pretest y postest de los resultados obtenidos por reactivo de los alumnos del grupo GE1.



Gráfica 4.1 Comparativo por reactivo de los resultados obtenidos por los alumnos entre el pretest y postest del grupo GE1

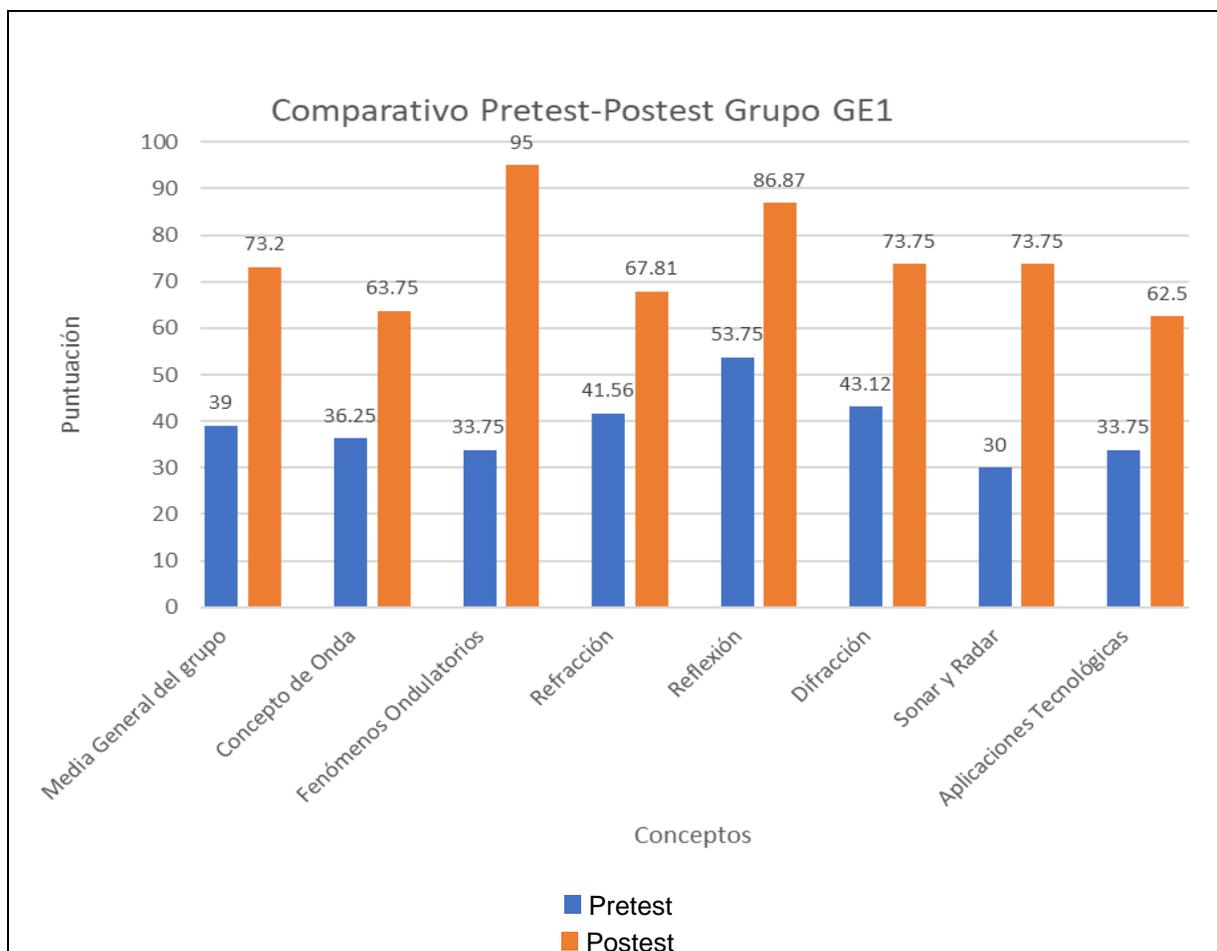
En la tabla 4.9 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de la prueba t pareada de cada reactivo al comparar el pretest con el postest del grupo GE1.

Tabla 4.9 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada de cada reactivo del grupo GE1

Reactivo	Diferencias relacionadas							
	Diferencia de Medias	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza Del 95%		Valor t	Grados De Libertad	Valor p
				Inferior	Superior			
1	27.50	21.88	7.734	9.211	47.79	3.556	7	0.0093
2	27.50	27.12	9.590	4.824	50.18	2.868	7	0.0241
3	61.25	37.20	13.15	30.15	92.35	4.657	7	0.0023
4	30.00	34.64	12.25	1.039	58.96	2.449	7	0.0441
5	17.50	19.82	7.008	0.9295	34.07	2.497	7	0.0412
6	26.25	10.61	3.750	17.38	35.12	7.00	7	0.0002
7	31.25	29.97	10.60	6.194	56.31	2.949	7	0.0214
8	57.50	25.50	9.014	36.19	78.81	6.379	7	0.0004
9	8.750	24.75	8.750	-11.94	29.44	1.000	7	0.3506
10	18.75	24.75	8.750	-1.940	39.44	2.143	7	0.0693
11	42.50	27.65	9.774	19.39	65.61	4.348	7	0.0034
12	52.50	13.89	4.910	40.89	64.11	10.69	7	<0.0001
13	35.00	10.69	3.780	26.06	43.94	9.260	7	<0.0001
14	28.75	39.80	14.07	-4.522	62.02	2.043	7	0.0803

En los datos de la tabla 4.9 observamos que los resultados estadísticos del grupo GE1 indican que en el comparativo entre el pretest y posttest el valor p es menor a 0.05 en la mayoría de los reactivos, indicando que se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las respuestas de los alumnos entre las dos pruebas, a excepción de las preguntas 9, 10 y 14 relacionadas, a la ley de reflexión, el fenómeno de difracción y las aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios donde el valor p fue mayor a 0.05 de tal forma que en estos reactivos no se presentó una diferencia estadísticamente significativa.

Después de hacer el análisis por reactivo, se aplicó un análisis al resultado general de las pruebas y por temas o conceptos tal como se realizó anteriormente en la tabla 4.1. En la gráfica 4.2 se presentan el comparativo de estos resultados obtenidos entre el pretest y posttest del grupo GE1.



Grafica 4.2 Comparativo de los resultados obtenidos por los alumnos entre el pretest y postest del grupo GE1

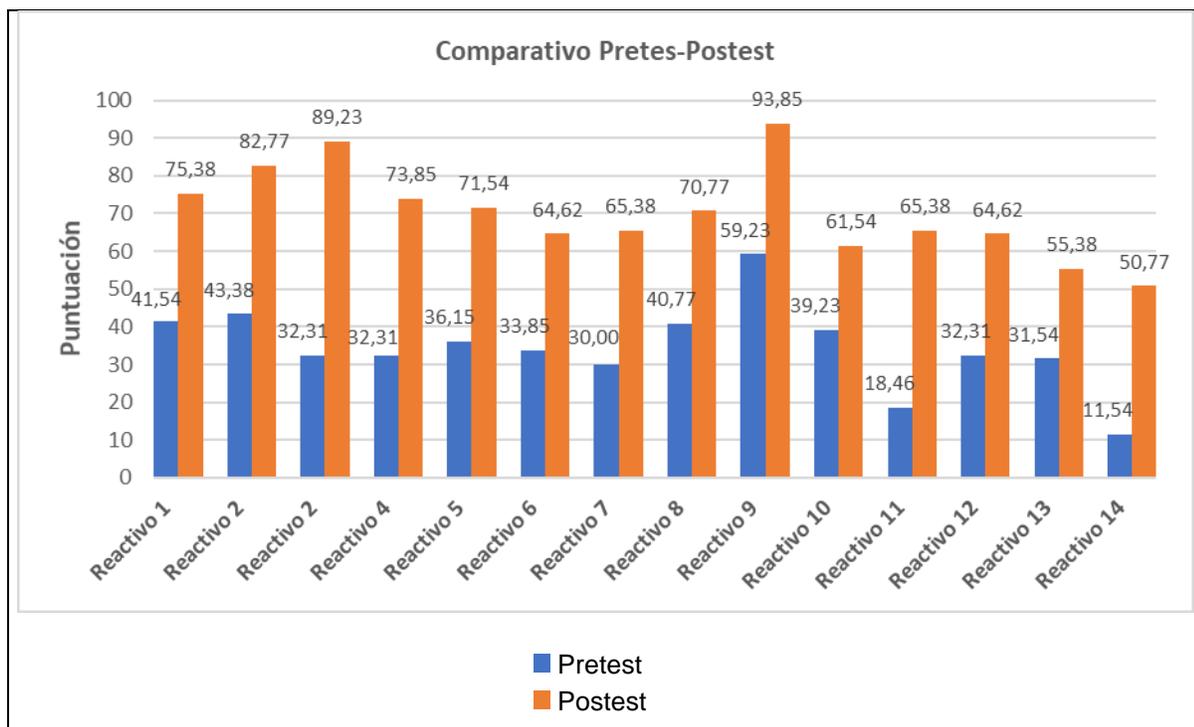
En la tabla 4.10 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de la prueba t pareada al comparar el pretest con el postest del grupo GE1.

Tabla 4.10 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada del grupo GE1

	Diferencias relacionadas							
	Diferencia de Medias	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza Del 95%		Valor t	Grados De Libertad	Valor p
				Inferior	Superior			
<b>Media General del grupo</b>	33.30	9.74	3.44	25.15	41.45	9.66	7	<0.0001
<b>Concepto de onda</b>	27.50	17.11	6.05	13.19	41.81	4.54	7	0.0027
<b>Fenómenos ondulatorios</b>	61.25	37.20	13.15	30.15	95.35	4.65	7	0.0023
<b>Refracción</b>	26.25	12.61	4.45	15.71	36.79	5.88	7	0.0006
<b>Reflexión</b>	33.13	19.45	6.87	16.87	49.38	4.81	7	0.0019
<b>Difracción</b>	30.63	16.78	5.93	16.59	44.66	5.16	7	0.0013
<b>Sonar y Radar</b>	43.75	9.16	3.23	36.09	51.41	13.51	7	<0.0001
<b>Aplicaciones tecnológicas</b>	28.75	39.80	14.07	-4.52	62.02	2.04	7	0.0803

En los datos de la tabla 4.10 observamos que los resultados estadísticos del grupo GE1 indican que, en la media general y en la mayoría de los temas abordados durante la secuencia didáctica, el valor p es menor a 0.05 indicando que se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las respuestas de los alumnos del pretest y postest, a excepción de las preguntas relacionadas con las aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios donde el valor p fue de 0.08 indicando que no se presentó una diferencia estadísticamente significativa en este caso. De forma general podemos afirmar que, al final de la secuencia didáctica, los alumnos se encuentran en proceso de un cambio conceptual, presentándose un cambio mayor al identificar hechos cotidianos donde se manifiestan los fenómenos de reflexión, refracción y difracción, pero aún tienen problemas al relacionar los fenómenos ondulatorios con las aplicaciones tecnológicas.

**Análisis comparativo de datos del grupo GE2.** En la gráfica 4.3 se presentan el comparativo entre el pretest y postest de los resultados obtenidos por reactivo de los alumnos del grupo GE2.



Grafica 4.3 Comparativo por reactivo de los resultados obtenidos por los alumnos entre el pretest y postest del grupo GE2

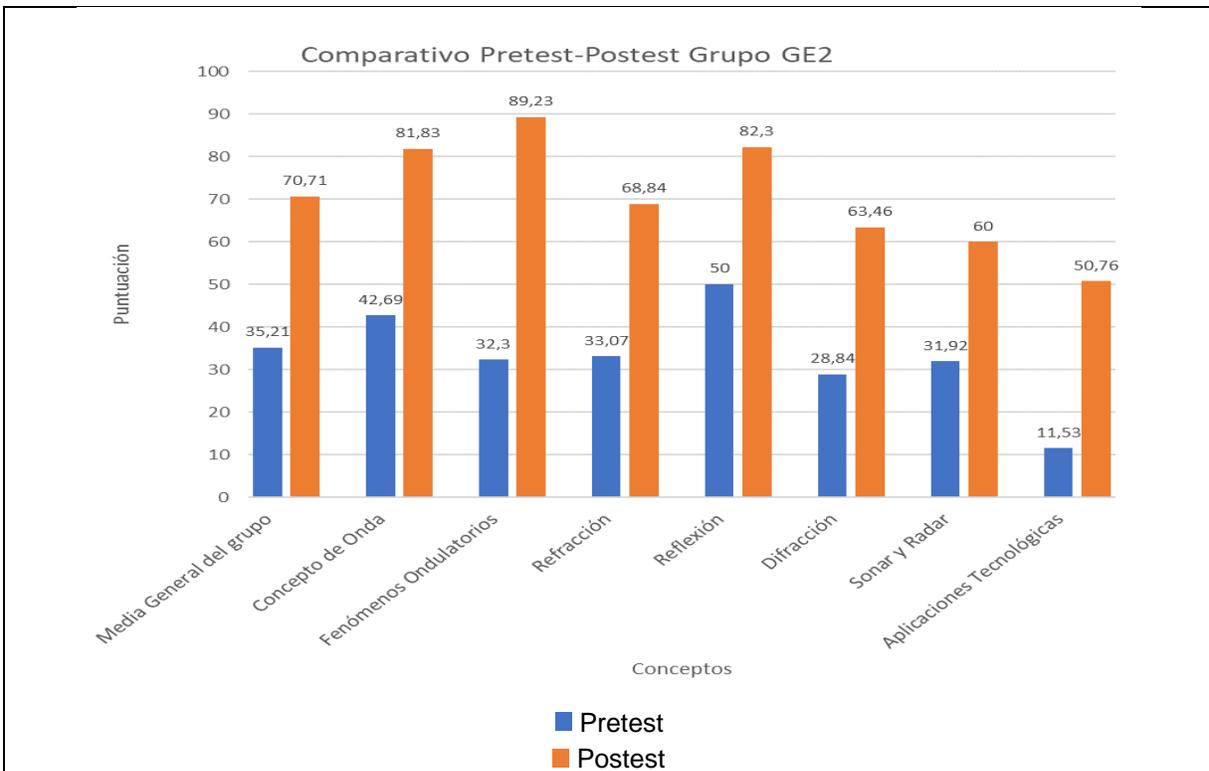
En la tabla 4.11 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de la prueba t pareada de cada reactivo al comparar el pretest con el postest del grupo GE2.

Tabla 4.11 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada de cada reactivo del grupo GE2

Reactivo	Diferencias relacionadas							
	Diferencia de Medias	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza Del 95%		Valor t	Grados De Libertad	Valor p
				Inferior	Superior			
<b>1</b>	33.85	33.05	9.166	13.87	53.82	3.692	12	0.0031
<b>2</b>	43.85	32.28	8.954	24.34	63.36	4.897	12	0.0004
<b>3</b>	56.92	28.69	7.957	7.154	74.26	7.154	12	<0.0001
<b>4</b>	41.54	24.78	6.873	26.56	56.51	6.044	12	<0.0001
<b>5</b>	35.38	23.67	6.565	21.08	49.69	3.390	12	0.0002
<b>6</b>	30.77	24.65	6.837	15.87	45.67	4.500	12	0.0007
<b>7</b>	35.38	24.02	6.662	20.87	49.90	5.312	12	0.0002
<b>8</b>	30.00	30.28	8.397	11.70	48.30	3.573	12	0.0038
<b>9</b>	34.62	35.03	9.715	13.45	55.78	3.563	12	0.0039
<b>10</b>	22.31	20.48	5.679	9.935	34.68	3.928	12	0.0020
<b>11</b>	46.92	25.62	7.106	31.44	62.41	6.603	12	<0.0001
<b>12</b>	32.31	24.88	6.902	17.27	47.35	4.681	12	0.0005
<b>13</b>	23.85	23.29	6.459	9.774	37.92	3.692	12	0.0031
<b>14</b>	39.23	22.53	6.249	25.61	52.85	6.278	12	<0.0001

En los datos de la tabla 4.11 se observa que los resultados estadísticos del grupo GE2 indican que en el comparativo entre el pretest y postest el valor p es menor a 0.05 en todos los reactivos, indicando que se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las respuestas de los alumnos entre las dos pruebas.

En la gráfica 4.4 se presentan el comparativo entre el pretest por temas y del resultado general del pretest y postest del grupo GE2.



Grafica 4.4 Comparativo de los resultados obtenidos por los alumnos entre el pretest y postest del grupo GE2.

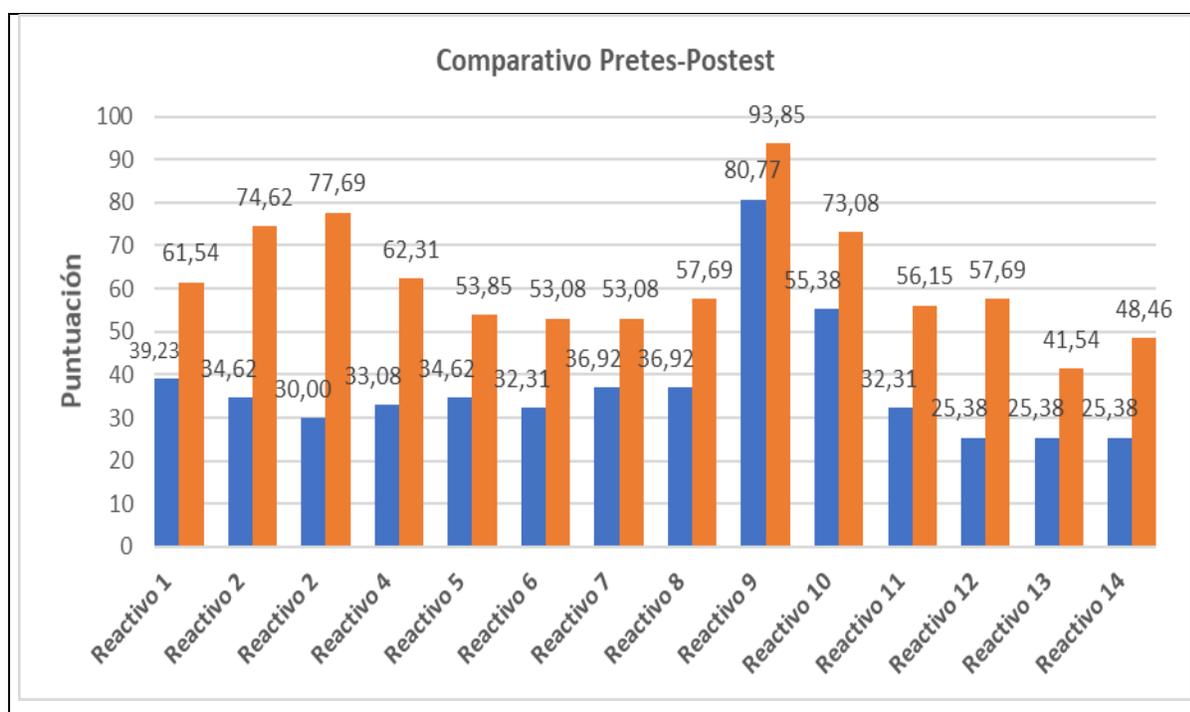
En la tabla 4.12 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de la prueba T pareada al comparar el pretest con el postest del grupo GE2.

Tabla 4.12 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada del grupo GE2

	Diferencias relacionadas							
	Media	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza Del 95%		Valor t	Grados De Libertad	Valor p
				Inferior	Superior			
<b>Media General del grupo</b>	34.84	17.06	4.73	24.53	45.15	7.36	12	<0.0001
<b>Concepto de onda</b>	38.85	25.18	6.98	23.63	54.06	5.56	12	0.0001
<b>Fenómenos ondulatorios</b>	56.92	28.69	7.95	39.59	74.26	7.15	12	<0.0001
<b>Refracción</b>	34.84	17.06	4.73	24.53	45.15	7.36	12	<0.0001
<b>Reflexión</b>	32.31	25.38	7.04	16.97	47.65	4.58	12	0.0006
<b>Difracción</b>	34.62	20.25	5.61	22.38	46.86	6.16	12	<0.0001
<b>Sonar y Radar</b>	33.08	29.83	8.27	15.05	51.10	3.99	12	0.018
<b>Aplicaciones tecnológicas</b>	39.23	22.53	6.24	25.61	52.85	6.27	12	<0.0001

En los datos de la tabla 4.12 observamos que los resultados estadísticos del grupo GE2 indican que, en la media general y en todos los temas abordados durante la secuencia didáctica, el valor p es menor a 0.05, señalando que se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las respuestas de los alumnos entre el pretest y postest, indicando que los alumnos alcanzaron un cambio conceptual.

**Análisis comparativo de datos del grupo GC.** En la gráfica 4.5 se presentan el comparativo entre el pretest y postest de los resultados obtenidos por reactivo de los alumnos del grupo GC.



Gráfica 4.5 Comparativo por reactivo de los resultados obtenidos por los alumnos entre el pretest y postest del grupo GC

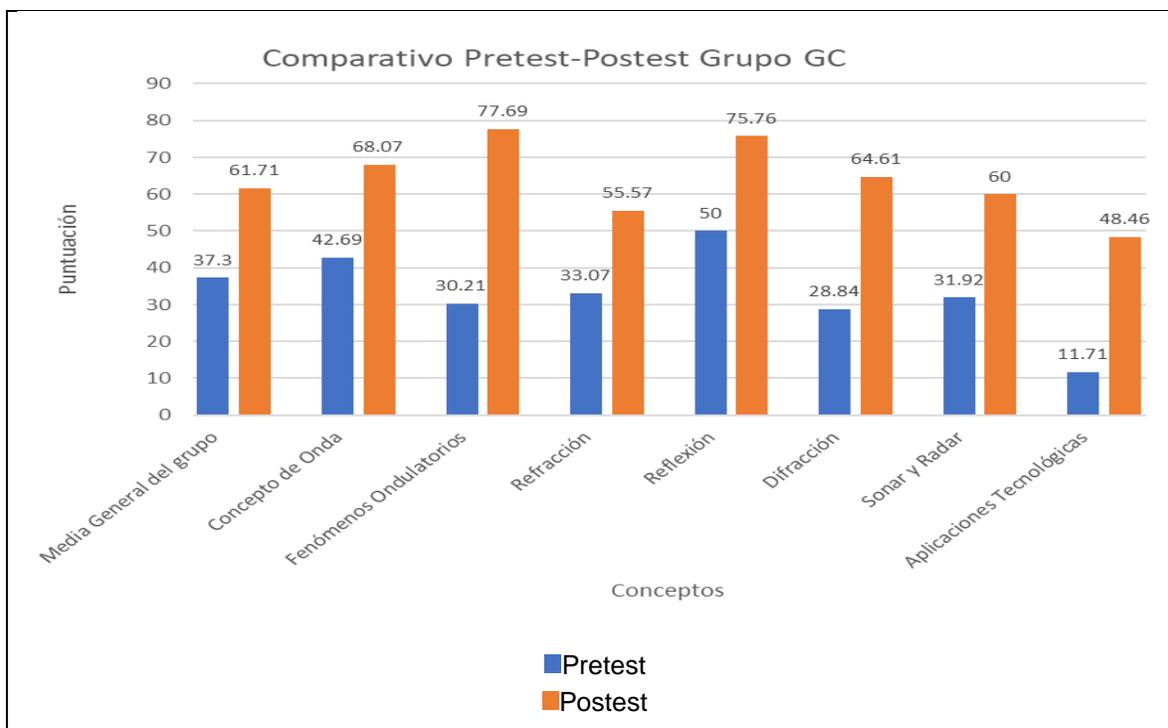
En la tabla 4.13 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de la prueba t pareada de cada reactivo al comparar el pretest con el postest del grupo GC.

Tabla 4.13 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada de cada reactivo del grupo GC

Reactivo	Diferencias relacionadas							
	Diferencia de Medias	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza Del 95%		Valor t	Grados De Libertad	Valor p
				Inferior	Superior			
1	22.31	25.55	7.085	6.871	37.74	3.149	12	0.0084
2	40.00	28.58	7.926	22.73	57.27	5.047	12	0.003
3	47.69	38.98	10.81	24.14	71.25	4.412	12	0.0008
4	29.23	34.02	9.437	8.670	49.79	3.0968	12	0.0092
5	19.23	21.39	5.934	6.303	32.16	3.241	12	0.0017
6	20.77	14.41	3.997	12.06	29.48	5.196	12	0.0002
7	16.15	23.64	6.557	1.867	30.44	2.463	12	0.0298
8	20.77	22.90	6.351	6.932	34.61	3.270	12	0.0067
9	13.08	26.58	7.372	-2.984	29.14	1.774	12	0.1014
10	19.69	26.51	7.351	1.675	33.71	2.407	12	0.0331
11	23.85	29.31	8.129	6.135	41.56	2.934	12	0.0125
12	32.31	8.321	2.308	27.28	37.34	14.00	12	<0.0001
13	16.15	19.81	5.493	2.941	28.12	2.941	12	0.0124
14	23.08	24.96	6.923	7.993	38.16	3.333	12	0.0060

En los datos de la tabla 4.13 se presentan resultados estadísticos del grupo GC del comparativo entre el pretest y posttest, donde el valor p del análisis es menor a 0.05 a excepción del reactivo número nueve, relativo a la ley de reflexión. Cabe mencionar que de acuerdo con el pretest, la mayoría de los alumnos conocía o intuía la ley de reflexión. De tal forma que en el grupo de control también los alumnos tuvieron una transformación conceptual.

En la gráfica 4.6 se presentan el comparativo entre el pretest por temas y del resultado general del pretest y posttest del grupo GC.



Grafica 4.6 Comparativo de los resultados obtenidos por los alumnos entre el pretest y postest del grupo GC.

En la tabla 4.14 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de la prueba T pareada al comparar el pretest con el postest del grupo GC.

Tabla 4.14 Distribución de probabilidad de la prueba t pareada del grupo GC

	Diferencias relacionadas							
	Media	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza Del 95%		Valor t	Grados De Libertad	Valor p
				Inferior	Superior			
<b>Media General del grupo</b>	24.41	8.94	2.48	19.00	29.82	9.83	12	<0.0001
<b>Concepto de onda</b>	31.15	22.74	6.30	17.41	44.9	4.93	12	0.003
<b>Fenómenos ondulatorios</b>	47.69	38.98	10.81	24.14	71.25	4.41	12	0.0008
<b>Refracción</b>	21.37	13.75	3.81	13.03	29.66	5.59	12	0.0001
<b>Reflexión</b>	16.92	22.13	6.13	3.55	30.00	2.75	12	0.0171
<b>Difracción</b>	20.77	24.48	6.79	5.97	35.56	3.05	12	0.0099
<b>Sonar y Radar</b>	24.23	11.52	3.19	17.27	31.19	7.58	12	<0.0001
<b>Aplicaciones tecnológicas</b>	23.08	24.96	6.92	7.99	38.16	3.33	12	0.0060

En los datos de la tabla 4.14 observamos que los resultados estadísticos del grupo GC indican que, en la media general y en todos de los temas abordados durante la secuencia didáctica, el valor  $p$  es menor a 0.05 apuntando que se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las respuestas de los alumnos entre el pretest y postest, indicando que los alumnos alcanzaron un cambio conceptual.

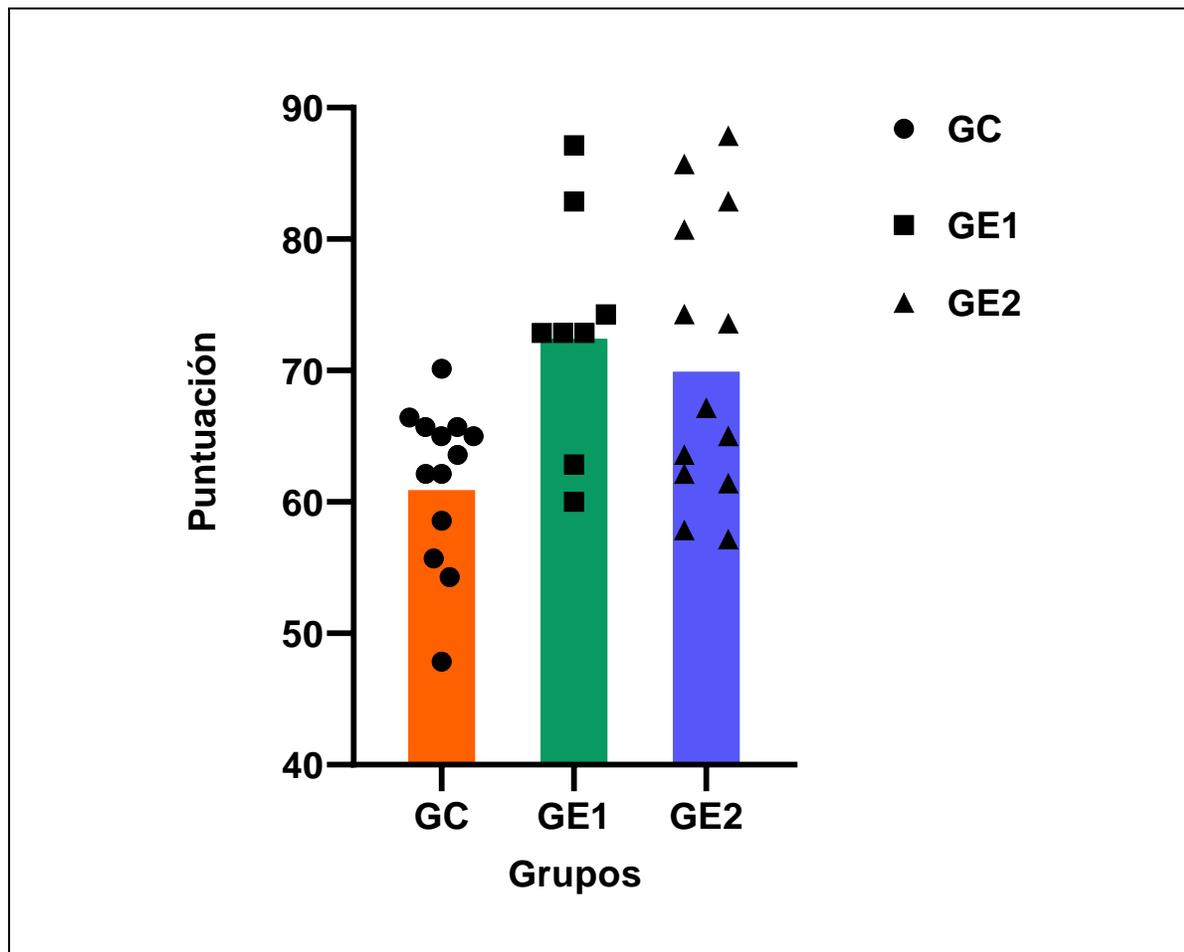
#### **4.9 Comparativo postest: grupos experimentales vs grupo de control.**

Para poder identificar si la secuencia didáctica propuesta, permitió un mejor aprendizaje observable a través de una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos experimentales y el grupo de control, se realizó una comparación múltiple a través de la prueba ANOVA. Dicho análisis se realizó sobre los resultados generales del postest, a cada reactivo y por tema partiendo de la siguiente hipótesis:

- $H_0: \mu = \mu_0 = \mu_1$  y el valor  $p \geq 0.05$ . No existe diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de control y los grupos experimentales GE1 y GE2 por lo cual la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots no presenta una mejora en el proceso de aprendizaje.
- $H_1: \mu > \mu_0, \mu > \mu_1$  y el valor  $p < 0.05$ . Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos experimentales GE1, GE2 y el grupo de control GC, por lo cual la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots si contribuye en el proceso de aprendizaje.

### Resultados de la prueba ANOVA para el postest.

En la gráfica 4.7 se presentan el comparativo de la puntuación obtenida en el postest por los alumnos del grupo de control y los grupos experimentales.



Gráfica 4.7 Comparativo de la puntuación obtenida por los alumnos del grupo GC y los grupos GE1 y GE2.

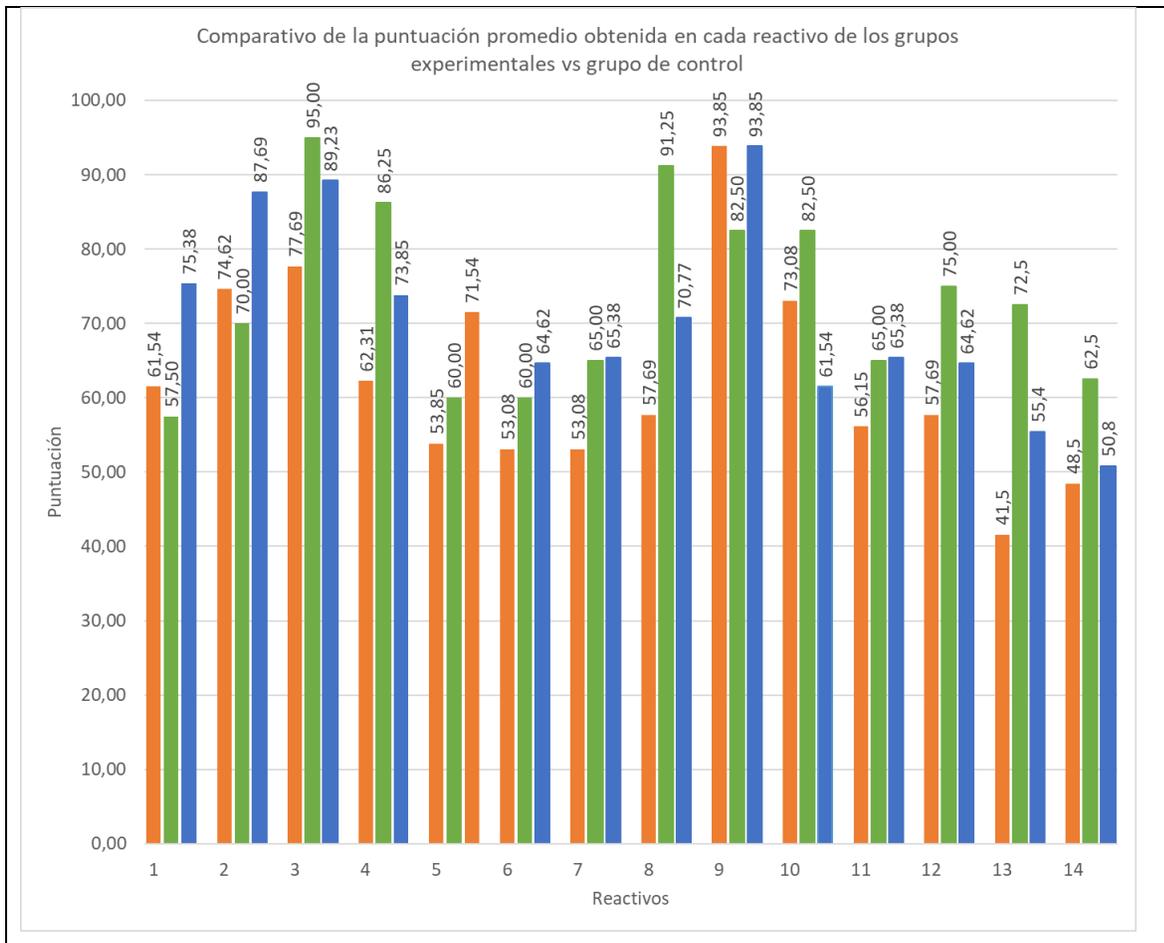
Estos datos se sometieron a la prueba de múltiple comparación ANOVA y en la 4.15 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado de dicha prueba.

Tabla 4.15 Test de múltiple comparación ANOVA del posttest aplicado al grupo de control y los grupos experimentales.

Resultados estadísticos de la prueba ANOVA								
	N		Media		R <sup>2</sup>	Valor P Individual	Valor F	Valor P
<b>Resultado General del postest</b>								
GC vs. GE1	13	8	61.71	73.21	0.255	<b>.0067</b>	5.319	<b>0.0103</b>
GC vs. GE2	13	13	61.71	70.71		<b>0.0140</b>		

De acuerdo con los resultados de la tabla 4.11, podemos decir que, de forma general, la secuencia didáctica implementada y el uso de robots fomentaron un mejor aprendizaje, dado que en los dos casos el ajuste del valor p es menor a 0.05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos experimentales y el grupo de control.

Posterior a este análisis, se aplicó la prueba ANOVA a cada reactivo de forma individual para conocer si, en alguno de ellos, se presentó una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos experimentales y el grupo de control para conocer de forma más detallada en cuáles de estos reactivos, la secuencia didáctica propuesta y el uso de los robots por parte de los alumnos, contribuyó a acercarlos a un cambio conceptual y en cuáles no se presentó una diferencia significativa respecto al grupo de control. A continuación, en la gráfica 4.8 se presenta un comparativo por reactivo entre los grupos experimentales y el grupo de control.



Grafica 4.8 Comparativo por reactivo del postest entre los grupos experimentales y el grupo de control.

En las tablas 4.16 y 4.17 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado prueba ANOVA por reactivo del postest.

Tabla 4.16 Test de múltiple comparación ANOVA de los reactivos 1 al 8 del postest.

Resultados estadísticos de la prueba ANOVA reactivos 1 al 8								
	N		Media		R <sup>2</sup>	Valor P Individual	Valor F	Valor P
<b>Reactivo 1</b>								
GC vs. GE1	13	8	61.54	57.50	0.1041	0.7041	1.802	0.1818
GC vs. GE2	13	13	61.54	75.38		0.1423		
<b>Reactivo 2</b>								
GC vs. GE1	13	8	74.62	70.00	0.1027	0.6579	1.775	0.1863
GC vs. GE2	13	13	74.62	87.67		0.1567		
<b>Reactivo 3</b>								
GC vs. GE1	13	8	77.69	95.00	0.1235	.0586	2.184	0.1296
GC vs. GE2	13	13	77.69	89.23		0.1437		
<b>Reactivo 4</b>								
GC vs. GE1	13	8	62.31	86.25	0.1060	0.0665	1.839	0.3810
GC vs. GE2	13	13	62.31	73.85		0.3018		
<b>Reactivo 5</b>								
GC vs. GE1	13	8	53.85	60.00	0.1319	0.5192	2.356	0.115
GC vs. GE2	13	13	53.85	71.54		<b>0.0397</b>		
<b>Reactivo 6</b>								
GC vs. GE1	13	8	53.08	60	0.1138	0.3063	1.991	0.1536
GC vs. GE2	13	13	53.08	64.62		.0559		
<b>Reactivo 7</b>								
GC vs. GE1	13	8	53.08	65.00	0.7623	0.2275	1.279	0.3505
GC vs. GE2	13	13	53.08	65.38		0.1555		
<b>Reactivo 8</b>								
GC vs. GE1	13	8	57.69	91.25	0.2537	<b>0.0028</b>	<b>5.268</b>	<b>0.0107</b>
GC vs. GE2	13	13	57.69	70.77		<b>0.1574</b>		

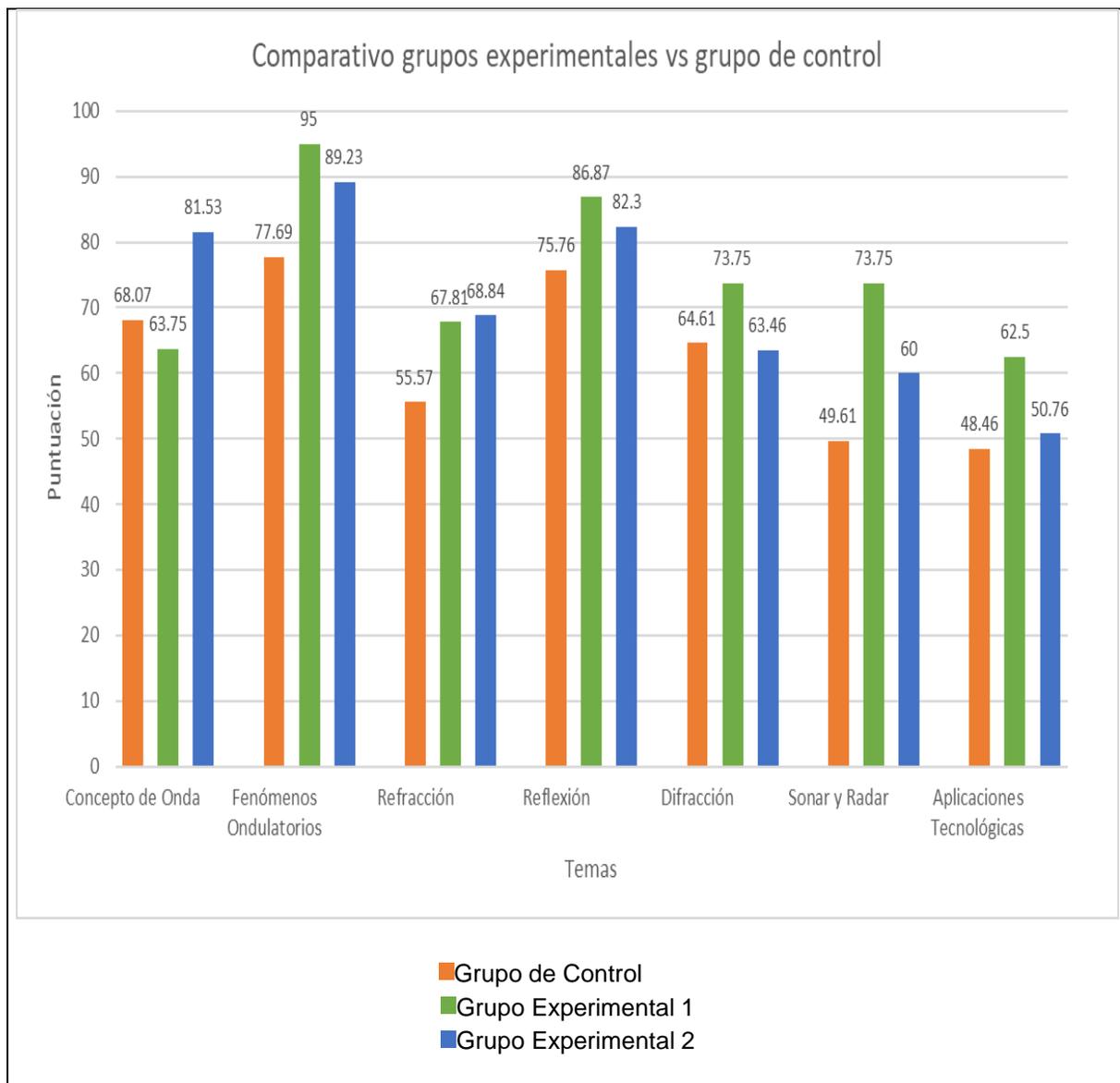
Tabla 4.17 Test de múltiple comparación ANOVA de los reactivos 9 al 14 del postest.

Resultados estadísticos de la prueba ANOVA reactivos 9 al 14								
	N		Media		R <sup>2</sup>	Valor P Individual	Valor F	Valor P
<b>Reactivo 9</b>								
GC vs. GE1	13	8	93.85	82.50	0.5811	0.2227	0.9553	0.3954
GC vs. GE2	13	13	93.85	93.85		0.9999		
<b>Reactivo 10</b>								
GC vs. GE1	13	8	73.08	82.50	0.1435	0.3244	2.596	0.0907
GC vs. GE2	13	13	73.08	61.54		0.1701		
<b>Reactivo 10</b>								
GC vs. GE1	13	8	73.08	82.50	0.1435	0.3244	2.596	0.0907
GC vs. GE2	13	13	73.08	61.54		0.1701		
<b>Reactivo 11</b>								
GC vs. GE1	13	8	56.15	65.00	0.3058	0.4555	0.4189	0.6180
GC vs. GE2	13	13	56.15	65.38		0.3732		
<b>Reactivo 12</b>								
GC vs. GE1	13	8	57.69	75.00	0.3867	<b>0.0001</b>	<b>9.775</b>	<b>0.0005</b>
GC vs. GE2	13	13	57.69	64.62		<b>0.0515</b>		
<b>Reactivo 13</b>								
GC vs. GE1	13	8	41.54	72.50	0.3315	<b>0.0005</b>	<b>7.686</b>	<b>0.0019</b>
GC vs. GE2	13	13	41.54	55.38		<b>0.05541</b>		
<b>Reactivo 14</b>								
GC vs. GE1	13	8	48.46	62.50	0.1004	0.0827	1.730	0.1940
GC vs. GE2	13	13	48.46	50.77		0.7379		

De los resultados de la prueba ANOVA presentados en las tablas 4.16 y 4.17 podemos observar que, sólo en los reactivos, 8, 12 y 13 relativos al fenómeno de reflexión de las ondas y su aplicación en el sonar, los grupos experimentales presentaron una diferencia estadísticamente significativa respecto al grupo de control y, solamente en el GE2, también

se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las respuestas del reactivo 5 relativo al fenómeno de refracción de las ondas. A continuación de esta comparación se realizó un último análisis por temas o conceptos, tomando como referencia el puntaje promedio de las respuestas de los alumnos en los reactivos referentes a un mismo concepto tal como se refiere en la tabla 4.1.

En la gráfica 4.9 se presentan el comparativo entre los grupos experimentales y el grupo de control de los resultados obtenidos por tema en el postest.



Grafica 4.9 Comparativo por tema del postest entre los grupos experimentales y el grupo de control.

En la tabla 4.18 se presentan los valores de la distribución de probabilidad resultado prueba ANOVA por tema del postest.

Tabla 4.18 Test de múltiple comparación ANOVA por tema del postest.

Resultados estadísticos de la prueba ANOVA reactivos 9 al 14								
	N		Media		R <sup>2</sup>	Valor P Individual	Valor F	Valor P
<b>Concepto de Onda</b>								
GC vs. GE1	13	8	68.08	63.75	0.1395	0.6263	2.512	0.0975
GC vs. GE2	13	13	68.08	81.54		0.0895		
<b>Fenómenos Ondulatorios</b>								
GC vs. GE1	13	8	77.69	95.00	0.1235	0.0586	2.184	0.1296
GC vs. GE2	13	13	77.69	89.23		0.1437		
<b>Refracción</b>								
GC vs. GE1	13	8	55.58	67.81	0.1965	<b>0.0488</b>	<b>3.790</b>	<b>0.0337</b>
GC vs. GE2	13	13	55.58	68.85		<b>0.0160</b>		
<b>Reflexión</b>								
GC vs. GE1	13	8	75.77	86.88	0.06095	0.1801	1.006	0.3773
GC vs. GE2	13	13	75.77	82.31		0.3622		
<b>Difracción</b>								
GC vs. GE1	13	13	64.62	73.75	0.0450	0.3179	0.7303	0.4899
GC vs. GE2	13	8	64.62	63.46		0.8842		
<b>Sonar y Radar</b>								
GC vs. GE1	13	8	49.62	73.75	0.4666	<b>&lt;0.0001</b>	<b>13.56</b>	<b>&lt;0.0001</b>
GC vs. GE2	13	13	49.62	60.00		<b>0.0155</b>		
<b>Aplicaciones Tecnológicas</b>								
GC vs. GE1	13	8	48.46	62.50	0.1004	0.0827	1.730	0.1940
GC vs. GE2	13	13	48.46	50.77		0.7379		

Tabla 4.18 Test de múltiple comparación ANOVA por tema del postest.

De los datos presentados en la tabla 4.18 podemos observar lo siguiente:

- En las respuestas relativas al concepto de onda entre los grupos experimentales y el grupo de control no existe una diferencia estadísticamente significativa ya que el valor  $p$  fue mayor a 0.05 por lo cual la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots, en este caso, no representó una mejora en el proceso de aprendizaje de este concepto.
- En las respuestas relativas a los fenómenos ondulatorios entre los grupos experimentales y el grupo de control no existe una diferencia estadísticamente significativa al momento de identificar y relacionar los fenómenos ondulatorios con hechos cotidianos, ya que el valor  $p$  fue mayor a 0.05 por lo cual la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots no representó una mejora en este aprendizaje.
- En las respuestas relativas al fenómeno de refracción, el valor de  $p$  fue menor a 0.05. Por lo cual se presentó una diferencia estadísticamente significativa que indica que la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots mejoró el proceso de aprendizaje en este tema.
- En las respuestas relativas al fenómeno de reflexión entre los grupos experimentales y el grupo de control el valor  $p$  fue mayor a 0.05, por lo cual no existe una diferencia estadísticamente significativa que demuestre que la secuencia didáctica y el uso de robots facilite a los alumnos el proceso de cambio conceptual en este tema.
- En las respuestas relativas al fenómeno de difracción entre los grupos experimentales y el grupo de control, el ajuste del valor  $p$  fue mayor a 0.05, lo que indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos experimentales y el grupo de control por lo cual, la secuencia didáctica y el uso de robots no representó una diferencia que mejorara el proceso de cambio conceptual acerca del fenómeno de difracción.
- En las respuestas relativas a los sonares y radares el valor ajustado de  $p$  fue  $<0.001$ . Por lo cual podemos afirmar que se presentó una diferencia estadísticamente significativa en los dos grupos experimentales respecto al grupo de control que indica que la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots

acercó a los alumnos al cambio conceptual permitiéndoles relacionar el fenómeno de reflexión de las ondas con el funcionamiento de los sonares y radares.

- En las respuestas relativas a las aplicaciones tecnológicas de los fenómenos ondulatorios entre los grupos experimentales y el grupo de control el valor  $p$  fue mayor a 0.05, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa, por lo cual la secuencia didáctica y el uso de robots, no permitió un mejor acercamiento al cambio conceptual en los alumnos que les permitiera relacionar mejor los fenómenos ondulatorios con distintas aplicaciones tecnológicas.

Los resultados de la prueba ANOVA para el posttest, mostraron que la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots para abordar los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción permitió de forma general a los alumnos de los grupos experimentales un mayor acercamiento al cambio conceptual, pero en el análisis por reactivos y temas o conceptos, solo se presentó una diferencia estadísticamente significativa en las preguntas relacionadas al fenómeno de refracción y la aplicación del fenómeno de reflexión en el funcionamiento del sonar y radar mientras que en los demás reactivos y temas, no se presentó una diferencia estadísticamente significativa que indicara que la secuencia didáctica propuesta y el uso de robots mejorara el acercamiento de los alumnos al cambio conceptual, por lo que el tema donde se obtuvo mayor incidencia es en el de refracción.

## Capítulo V. Conclusiones

La enseñanza de la física en la educación medio superior presenta dificultades al intentar acercar a los alumnos a un cambio o transformación conceptual, porque parte de las teorías científicamente aceptadas como si fueran un dogma, sin darle oportunidad a los estudiantes de transformar y construir sus propias concepciones de la ciencia y los fenómenos físicos. Por lo cual es necesario que se propongan y promuevan nuevas estrategias de enseñanza-aprendizaje que motiven a los estudiantes a construir sus propios conocimientos, generando sus propias concepciones a través de la experimentación, discusión, análisis de teorías y modelos, lo cual los acercará al cambio conceptual y a las concepciones científicamente aceptadas.

Para esto, la robótica educativa aplicada a la enseñanza de las ciencias presenta un enfoque alternativo e innovador, permitiendo a los profesores diseñar secuencias didácticas que impulsen el cambio y la transformación conceptual en los alumnos. Esto también implica un gran reto para los docentes ya que, para el diseño de las secuencias y estrategias didácticas, es necesario que el docente tenga clara la posición teórica a partir de la cual van a ser diseñadas éstas, ya sea a partir de la teoría del cambio conceptual o cualquier otra teoría pedagógica.

En este trabajo se propuso una secuencia didáctica a partir de un enfoque del cambio conceptual donde los alumnos, al utilizar robots, tuvieron la oportunidad de enfrentar sus concepciones previas a nuevos contextos, lo cual les permitió modificar, evolucionar y construir conceptos. En esta secuencia didáctica y en las estrategias que la conforman, se consideró que el cambio conceptual es un proceso cognitivo de largo plazo y discontinuo, donde el concepto es una entidad dinámica que evoluciona creando nuevas relaciones dentro la estructura conceptual de los alumnos y que ellos son los que tienen que modificar y construir los conceptos. Por lo cual es importante retomar y ampliar los conceptos a lo largo del curso y relacionarlos con nuevas concepciones.

Durante la aplicación de la secuencia didáctica se tomaron en cuenta las concepciones previas de los alumnos y su transformación a lo largo de las sesiones a través de cuestionarios y mapas mentales para poder conocer sus ideas previas y después analizar

si los alumnos alcanzaron algún grado de cambio conceptual y si este presentó alguna diferencia significativa estadísticamente entre los grupos experimentales (GE1 y GE2) y el grupo de control (GC).

El pretest permitió conocer las ideas previas de los alumnos acerca de las ondas y los fenómenos ondulatorios y que los dos grupos experimentales y el grupo de control compartían ideas comunes acerca de estos conceptos. De este pretest, se pudo observar que los alumnos de los tres grupos relacionaban a las ondas con la energía, pero la mayoría de ellos, también pensaban que las ondas transportaban materia; que identificaban el fenómeno de reflexión y refracción, pero no podían explicar en qué condiciones se presentaban y que, muy pocos de ellos, podían identificar o relacionar con hechos cotidianos el fenómeno de difracción. Además de indicar que las condiciones iniciales de los tres grupos antes de la secuencia didáctica eran similares.

En cuanto a los mapas mentales, éstos permitieron conocer el avance de los alumnos durante el proceso del cambio conceptual y cómo estructuraban los conceptos de onda y de los fenómenos ondulatorios. En la mayoría de los mapas mentales se observó que los alumnos eran capaces de relacionar coherentemente los conceptos. Durante esta actividad también se percibió que, para muchos de los alumnos, esta actividad era desconocida y, aunque se les proporcionó una rúbrica de evaluación que les serviría de guía para la elaboración del mapa mental, algunos de ellos tuvieron dificultades para iniciar esta actividad y no les quedó muy claro en qué consistía esta actividad.

En el análisis comparativo de resultados obtenidos del pretest y postest aplicados a los grupos experimentales y el grupo de control, se observó que, independientemente de la estrategia didáctica utilizada, los alumnos modificaron sus concepciones previas acerca de los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción acercándose a un cambio conceptual, pero los alumnos de los grupos experimentales tuvieron un mejor acercamiento a este cambio.

Al realizar el análisis comparativo estadístico entre los grupos experimentales GE1 y GE2 y el grupo de control GC, se observó una ganancia significativa en los resultados generales del postest, pero en el análisis por temas y reactivos los resultados no fueron tan

favorables. En este último análisis, solamente se presentó una diferencia estadísticamente significativa en algunos reactivos relacionados a los fenómenos de reflexión, difracción y en la relación de los fenómenos ondulatorios en el funcionamiento de los radares y sonares. Estos resultados nos indican que esta secuencia didáctica, basada en el uso de robots, despertó el interés, la motivación de los alumnos y de forma general los aproximó más al cambio conceptual comparativamente respecto al grupo de control, pero no cubrió todos los conceptos contemplados en su planeación, por lo cual es necesario mejorar el diseño y aplicación de esta secuencia didáctica. Debido a ello se proponen las siguientes adecuaciones:

- En cuanto a los mapas mentales, se sugiere que, además de la rúbrica de evaluación que los alumnos utilizaron como guía para elaborar su mapa, el profesor dedique un poco más de tiempo para explicarles en qué consiste la elaboración de un mapa mental y que les muestre a los alumnos algunos ejemplos de estos.
- Hacer una revisión de las actividades que implicaron el uso de robots y ajustarlas, para que, a través de estas, los alumnos se acerquen más al cambio conceptual acerca de las ondas y los tres fenómenos ondulatorios y que no se enfoquen a solo uno o dos de estos fenómenos.
- Hacer un análisis de todas las actividades de la secuencia didáctica y, si es necesario, modificarlas de tal forma que se logre una mayor integración de estas y que en su conjunto, apoyen más a los alumnos en su proceso de cambio conceptual de todos los conceptos contemplados en la planeación de esta secuencia y no se enfoquen más a un concepto en específico.
- En cuanto al tiempo contemplado para la secuencia didáctica, éste fue reducido y, aunque se realizaron todas las actividades planteadas, sería adecuado ampliarlo al menos, dos sesiones más para que los alumnos tengan el tiempo adecuado para realizar todas las actividades y discutir ampliamente sus ideas o extender el uso de la robótica a otros temas del programa de estudios y relacionar los conceptos antes estudiados con nuevas concepciones.

El utilizar la robótica educativa en esta secuencia didáctica permitió a los alumnos iniciarse y adentrarse en el proceso de cambio conceptual acerca de los fenómenos ondulatorios de reflexión, refracción y difracción, permitiéndoles estructurar sus concepciones a través

de la experimentación, el análisis y la discusión. También el uso de robots fue un factor de motivación para los alumnos, ya que les permitió aplicar sus conocimientos y relacionarlos con fenómenos de la vida cotidiana, sus aplicaciones tecnológicas y con otras áreas del conocimiento como la informática.

La implementación y análisis de esta secuencia didáctica demuestra que la robótica educativa puede ofrecer una amplia gama de posibilidades para la enseñanza de la física y las ciencias en general, pudiéndose adecuar a diferentes enfoques pedagógicos, integrando diversas áreas del conocimiento y da la oportunidad de modificar los paradigmas tradicionales que muchos docentes tienen acerca de la enseñanza de la ciencia. De forma personal, considero que la robótica educativa es un medio integrador de conocimientos y, al mismo tiempo, un agente motivador para los alumnos que los impulsa a desarrollar diferentes habilidades como el trabajo colaborativo, la investigación, experimentación y discusión.

Entre los retos a los que se enfrenta el docente que pretende implementar la robótica educativa como medio para alcanzar el cambio conceptual, se encuentra el de diseñar una secuencia y estrategias didácticas coherentes y acordes a los supuestos teóricos en los que se sustenta, así como el tipo y grado de cambio conceptual que se pretende en los alumnos. Otro desafío para los docentes es tener claro, en todo momento, que la robótica y el uso de robots, es el medio y no el fin, de lo contrario, se tiene el riesgo de perder el objetivo principal para lo que fue diseñada la secuencia, regresando a una enseñanza tradicional o a una enseñanza técnica que no es el fin de la inclusión de la robótica educativa. Además de algunos docentes se oponen al cambio, sobre todo por la falta de conocimientos técnicos para construir un robot, por lo cual es importante también diseñar cursos para capacitar a los docentes en el uso de esta tecnología.

Como recomendaciones a los docentes que en un futuro deseen utilizar a la robótica educativa con un medio para la enseñanza de las ciencias sugiero lo siguiente:

- Seleccionar el hardware y software adecuados para los aprendizajes que se quieran abordar, teniendo en cuenta que estos tienen que ser accesibles para los alumnos en cuanto a su complejidad y costo.

- Tener siempre en cuenta que la robótica educativa no es el fin, si no el medio para alcanzar el cambio conceptual.
- Considerar el contexto de los alumnos y de la institución educativa donde se pretenda implementar.
- Diseñar secuencias y estrategias didácticas acordes y coherentes con el tipo de cambio conceptual que se pretenda alcanzar.
- Diseñar secuencias didácticas transversales que involucren conocimientos y conceptos de otras áreas del conocimiento.
- Diseñar los instrumentos de evaluación adecuados para dar un seguimiento del avance de los alumnos a lo largo de toda la secuencia didáctica para poder hacer los ajustes necesarios.

Por último, este trabajo de investigación arrojó algunas respuestas sobre el impacto de la robótica educativa en el proceso del cambio conceptual de los alumnos, pero aún quedan muchas más interrogantes por lo cual, sería interesante conocer, en investigaciones futuras su impacto en un periodo más extenso, que involucren, por ejemplo, una unidad temática o curso completo, contemplar mayor número de alumnos y grupos para contrastar su impacto en diferentes sistemas de educación media superior. Lo cual es posible ya que la robótica es una disciplina que abarca distintas áreas del conocimiento y pudiendo ser utilizada para abordar cualquier tema de física e incluso de otras asignaturas.

## Referencias.

- Acuña, A. (2009). La robótica educativa: un motor para la innovación. Octubre 20, 2016, de Fundación Omar Dengo. Sitio web:  
[http://www.fod.ac.cr/robotica/descargas/roboteca/articulos/2009/motorinnova\\_articulo.pdf](http://www.fod.ac.cr/robotica/descargas/roboteca/articulos/2009/motorinnova_articulo.pdf)
- Akim, F., Maged, I. & Vikram. K. (2012). Using Robotics to Promote Learning in Elementary Grades. Septiembre 6, 2017, de American Society for Engineering Education. Sitio web:  
<https://www.asee.org/public/conferences/8/papers/5480/view>
- Andrés M., Pesa M. & Meneses J. (2006). Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción de estudiantes del profesorado de Física: Ondas Mecánicas. *Revista de Investigación*, 59, 221-247.
- Ansorge, J. & Barker, B. (2007). Robotics as Means to Increase Achievement Scores in an Informal Learning Environment. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(3), pp. 229-243.
- Asencio, M., Carreto, M. & Pozo J. (1989) "Modelos de aprendizaje-enseñanza de la Historia". *La Enseñanza de las Ciencias Sociales*. Madrid, Visor, pp 139-163.
- Asís, R. & Bohórquez, M. (2014). Incidencia de la Robótica Educativa ambiental en las Pruebas Saber de 5º y 9o. Enero 15, 2017, de Asociación Nacional Para el Desarrollo Social ASOANDES. Sitio web:  
<http://www.computadoresparaeducar.gov.co/Paginaweb/images/biblioteca/InvestigaTIC/region%204/ARTICULO%20ROBOTICA%20NOVIEMBRE%2026%20DE%202014.pdf>
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 15, N.º 3, 210-217.
- Bohigas, X. & Periago, M. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de Ingeniería. mayo 15, 2017, de *Revista Electrónica de Investigación Educativa* Sitio web:  
<http://redie.uabc.mx/vol7no2/contenido-periago.html>
- Calderón, E., García, A. & Gallegos L. (2007). Estrategia de enseñanza y cambio conceptual. En: Flores, F. y Pozo, J., eds., *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid España: Editorial A. Machado, pp.239-252.

- Caramazza A, Green B., & McCloskey M. 1981. Naive beliefs in sophisticated subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, 117-123
- Castaño, I. & Esperanza G.. (julio-diciembre, 2007). Enseñar y aprender: Un proceso fundamentalmente dialógico de transformación. *Revista Latinoamericana de Estudios educativos*, Volumen 3, número 2, 29-40.
- Cielniak, G., Gyebi, E. & Hanheide, M. (2015). Educational Robotics for Teaching Computer Science in Africa - Pilot Study. Diciembre 20, 2016, de School of Computer Science, University of Lincoln, UK Sitio web: <http://www.lincoln.ac.uk/home/socs/>
- Chang, C., Lee J., Chao, P., Wang, C. & Chen G. (2010). Exploring the Possibility of Using Human aid Robots as Instructional Tools for Teaching a Second Language in Primary School. *Journal of Educational Technology & Society*, 13, pp. 13-24.
- Chi, M. (1992). Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. En: Giere, R, (Ed.), Volume XV *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press Minneapolis, pp.129-196.
- Docktor, J. & Mestre, P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. Junio 10, 2017, the American Physical Society Sitio web: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>
- Driver R. & Easley J. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in science education*, vol. 10, pp 37-70.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2008). *Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates. Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers pp 1-37.

- Diario Oficial. (2015). CONVENIO de Coordinación para la implementación del Proyecto de Innovación en el marco del Programa Escuelas de Calidad, denominado Programa de Robótica Educativa como Estrategia Didáctica en la Enseñanza de Habilidades de Comunicación, Matemáticas y Pensamiento Científico-Tecnológico en la Educación Secundaria, incluido dentro del diverso Proyecto de Innovación denominado Estrategia de Financiamiento e Impulso a Proyectos de Innovación Estatales para la Reforma Educativa, que celebran la Secretaría de Educación Pública y el Estado de Nuevo León. Enero 1, 2017, Secretaría de Gobernación, México. Sitio web:[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5411110&fecha=09/10/2015](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5411110&fecha=09/10/2015)
- DIGETE. (2011). Marzo 20, 2017, Ministerio de Educación, Perú. Sitio web: <http://www.minedu.gob.pe>
- Ershov, M., Iljin, I. & Ospennikova, E. (junio 2015). Educational Robotics as an Innovative Educational Technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 214, 18-26.
- Escalante, M., García M., González, C., Montañez, T., Tec, B. & Uc, J. (2014). Análisis Comparativo de dos Formas de Enseñar Matemáticas Básicas: Robots LEGO NXT y Animación con Scratch. Marzo 15, 2017, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas-Unidad Tizimín. Sitio Web: [https://www.researchgate.net/profile/Michel\\_Garcia3/publication/228355851\\_Analisis\\_comparativo\\_de\\_dos\\_formas\\_de\\_enseñar\\_Matemáticas\\_Básicas\\_Robots\\_LEGO\\_NXT\\_y\\_animación\\_con\\_Scratch/links/542c25330cf29bbc126b834d/Analisis-comparativo-de-dos-formas-de-enseñar-Matemáticas-Básicas-Robots-LEGO-NXT-y-animación-con-Scratch.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michel_Garcia3/publication/228355851_Analisis_comparativo_de_dos_formas_de_enseñar_Matemáticas_Básicas_Robots_LEGO_NXT_y_animación_con_Scratch/links/542c25330cf29bbc126b834d/Analisis-comparativo-de-dos-formas-de-enseñar-Matemáticas-Básicas-Robots-LEGO-NXT-y-animación-con-Scratch.pdf)
- Flores, F. (2004). El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química*, 15, número 3, pp. 256-2.
- Flores, F. & Gallegos, L. (2008). El cambio conceptual, su origen, desarrollo y significado en la enseñanza de la ciencia. En: Bello, S, (Ed.), *Hacia el cambio conceptual en el enlace químico*. México: Facultad de Química, UNAM, pp.17-34.
- García M., González, C. & González, S. (2014). Electrónica interactiva con niños de educación primaria del estado de Yucatán. *Pistas Educativas*, 35, 449-470.

- Gil P. & Guzmán O. (Ed.) (1993). Enseñanza de las Ciencias y la Matemática Tendencias e Innovaciones. Organización de Estados Iberoamericanos. 15 de octubre de 2017. CEI Para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Ciencias. Editorial Popular, Universidad de Valencia. Sitio web: <http://www.oei.es/oeivirt/ciencias.htm#Indice>.
- History of robotics in Finnish schools. (2016). History of robotics in Finnish schools. Octubre 30, 2016, Robotics and coding in Finland Sitio web: <http://roboticsforschools.eu/blog/183-robotics-and-coding-in-finland>
- Jiménez, M. & Cerdas, R. (2014). La robótica educativa como agente promotor del estudio por la ciencia y la tecnología en la región atlántica de Costa Rica. Octubre 28, 2016, Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Sitio web: [www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/381.pdf](http://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/381.pdf)
- Kapila, V. & Iskander, M.. (2012). Using Robotics to Promote Learning in Elementary Grades. Noviembre 10, 2016, American Society for Engineering. Sitio Web: <https://www.asee.org/conferences/papers/download>
- Kolb, D. A. (1984) “*Experiential Learning*”, Englewood Cliffs, NJ.: Prentice Hall.
- La evolución de LEGO® MINDSTORMS (2013). La evolución de LEGO® MINDSTORMS. Enero 30, 2017, HispaBrick Magazine. Sitio web: <http://www.hispabrickmagazine.com/node/763>
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1962).
- Las Tic y la Robótica Educativa. (2005). Las Tic y la Robótica Educativa. Diciembre 20, 2016, Fundación Omar Dengo. Sitio web: <http://www.fod.ac.cr/robotica/index.php/proyectos/robotica-en-educacion>
- Lo Cascio, V. (1998). *Gramática de la argumentación: estrategias y estructuras*. Madrid, España: Alianza.
- Monsalves, S. (2011). Estudio sobre la utilidad de la robótica educativa desde la perspectiva del docente. *Revista de Pedagogía*, vol. 32, núm. 90, 81-117.

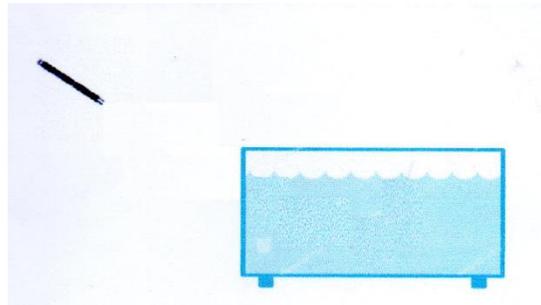
- Nuevo Modelo Educativo. (2016). Nuevo Modelo Educativo. Enero 15, 2017, Secretaría de Gobernación. Sitio web: <https://www.gob.mx/modeloeducativo2016>
- Osborne R. & Wittrock M., 1983. Learning science: a generative process. *Science Education*, 67, 490-508
- Park, J. (2015). Effect of Robotics enhanced inquiry-based learning in elementary Science education in South Korea. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 34(1), 71-95.
- Peralta, J. (2016). Robótica educativa. Noviembre 30, 2016, PERÚEDUCA Sistema digital para el aprendizaje. Sitio web: <http://www.perueduca.pe/robotica/>
- Pettibone, J., Stephen, M., Stein, C., Thomas, S. & Weinberg, J. (2006). The Impact of Robot Projects on Girls' Attitudes Toward Science and Engineering. Diciembre 10, 2016, The National Science Foundation. Sitio web: <https://www.nsf.gov>
- Posner, G., Strike, K., Hewson, W & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Pozo, J., & Flores, F. (2007). Introducción: el cambio conceptual y representacional desde la epistemología, la psicología y la educación. En: Flores, F. y Pozo, J., (Eds.), *Cambio Conceptual y representacional en el aprendizaje y enseñanza de las ciencias*. Madrid España: Editorial A. Machado, pp.7-20
- Policies-and-development-general-education. (2016). Policies-and-development-general-education. Marzo 12, 2017, Ministry of Education and Culture, Finland. Sitio web: <http://minedu.fi/en/general-education>
- Puntos México Conectado. (2015). Miscelánea Digital. Enero 10, 2017, Punto México Conectado, Centro de inclusión digital. Sitio web: <http://pmc.gob.mx/cursos/robotica-basica-para-ninos>
- Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories*. Illinois, Estados Unidos de Norteamérica: University of Illinois Press.
- Tecnología Educativa. (S/F). Tecnología Educativa. Diciembre 15, 2016, Departamento de Tecnología Educativa, Gobierno de México. Sitio web: <http://www.dtsepyc.gob.mx/>

Vosniadou, S. (1994). *Capturing and modeling the process of conceptual change*, *Learning and Instruction*. Vol. 4, 45-69.

Vosniadou, S. (2003). Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. En G. M. Sinatra y P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change*, New Jersey: Erlbaum, (pp. 377-406).



5. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un recipiente transparente lleno de agua como lo muestra la figura. Dibuja la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser y explica el porqué.

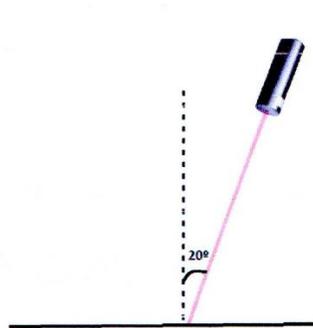


6. Retomando el ejemplo anterior, ¿Qué sucedería si el recipiente contuviera aceite en lugar de agua? ¿la trayectoria del láser cambiaría? Explica tu respuesta.

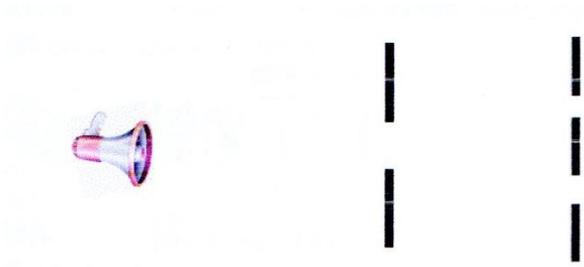
7. ¿Qué se produce cuando un sonido pasa de un medio a otro?

8. Cuando emitimos un sonido en un valle se produce un eco. Explica a qué se debe este fenómeno.

9. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un espejo plano en un ángulo de 20 grados como lo muestra la figura. Completa la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser e indica el ángulo de reflexión.



10. Un altavoz emite una onda sonora y enfrente de él se encuentran unos obstáculos tal como se muestra en la figura. ¿Qué sucede con la onda sonora? Dibuja el comportamiento de la onda.



11. Explica porque cuando en un cuarto oscuro hay una rendija en alguna pared queda a hacia un sitio iluminado, se observa como por esa rendija entra un rayo de luz que se esparce por el cuarto produciendo una iluminación parcial del cuarto.

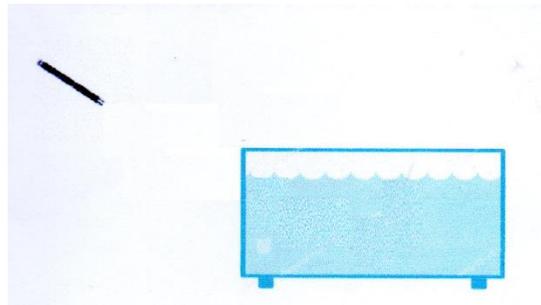
12. ¿Cómo funciona un radar?

13. ¿Qué tienen en común el radar y el sonar, cuales serían sus diferencias?

14. Menciona algunas aplicaciones tecnológicas de la reflexión, refracción y difracción de las ondas.



5. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un recipiente transparente lleno de agua como lo muestra la figura. Dibuja la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser y explica el porqué.



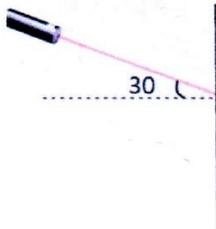
6. Retomando el ejemplo anterior, ¿Qué sucedería si el recipiente contuviera aceite en lugar de agua? ¿la trayectoria del láser cambiaría? Explica tu respuesta.

7. Un helicóptero explora el fondo marino con un sonar. ¿Qué sucede con la onda sonora? Dibuja su trayectoria y explica el porqué de esta.



8. En un lago de aguas tranquilas se puede ver el paisaje sobre la superficie del agua. ¿A qué fenómeno se debe es

9. La luz de un apuntador láser se hace incidir sobre un espejo plano en un ángulo de 30 grados como lo muestra la figura. Completa la trayectoria que crees que seguirá el haz del láser e indica el ángulo de reflexión.



10. Un altavoz emite una onda sonora y enfrente de él se encuentran unos obstáculos tal como se muestra en la figura. ¿Qué sucede con la onda sonora? Dibuja el comportamiento de la onda.



11. Explica porque en una habitación cerrada, el sonido puede atravesar por las rendijas de puertas y ventanas.

12. ¿Cómo funciona un radar?

13. ¿Qué tienen en común el radar y el sonar, cuales serían sus diferencias?

14. Menciona algunas aplicaciones tecnológicas de la reflexión, refracción y difracción de las ondas.

### Anexo 3 Rúbrica mapa mental.

#### Rubrica de evaluación mapa mental de los conceptos de reflexión y refracción.

Esta rúbrica tiene como objetivo evaluar los mapas mentales elaborados para la exposición presentada por los alumnos después de leer y analizar los textos que explican los fenómenos de reflexión y refracción. La rúbrica será utilizada por el profesor.

Criterios de evaluación	Evaluación			
	Excelente	Bien	Regular	Deficiente
Se utiliza un mínimo de palabras posibles, de preferencia "palabras clave".				
Se resaltan las palabras clave.				
La idea central está representada con que sintetiza el tema general del Mapa Mental.				
Por medio de ramas enlaza la idea central con ideas relacionadas o subtemas.				
Las imágenes son acordes a las ideas o conceptos				
Contiene el tema central y todas las ideas primarias y secundarias relevantes.				
Se establecen de forma correcta las relaciones entre la idea central y las ideas primarias y secundarias.				
Se establecen conexiones entre las ideas propias de los estudiantes y las concepciones científicamente aceptadas.				
El mapa mental es fácil de entender e interpretar.				
El Mapa Mental es creativo.				

**Observaciones.** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## Anexo 4 Instrumento de evaluación para predecir el comportamiento del robot ante distintos obstáculos

El robot que utilizaremos cuenta con un sensor ultrasónico. Recordando los fenómenos ondulatorios, indica en cada caso ¿Cuál o cuáles fenómenos se presentarán? Y si el robot será capaz de evadir el obstáculo.

1.



Fenómenos ondulatorios \_\_\_\_\_

¿Lo puede evadir? \_\_\_\_\_

¿Sucederá lo mismo si el robot se encuentra con el cuaderno de Costado? \_\_\_\_\_ Explica porque

2.



Fenómenos ondulatorios \_\_\_\_\_

¿Lo puede evadir? \_\_\_\_\_

Explica porque

3.



Fenómenos ondulatorios \_\_\_\_\_

¿Lo puede evadir? \_\_\_\_\_

Explica porque

4. Si entre el robot y el obstáculo existieran distintas capas de aire a distintas temperaturas le afectaría en algo. Argumenta y justifica tu respuesta.

## Anexo 5 Programa del robot para evadir obstáculos.

### //Declaración de constantes

```
int motorIA=5;
```

```
int motorIR=6;
```

```
int motorDA=9;
```

```
int motorDR=10;
```

```
//-----
```

```
#include <Ultrasonic.h>
```

```
Ultrasonic ultra_f(2,3); // (Trig PIN,Echo PIN)
```

```
unsigned long medida_mm_f;
```

```
// Inicialización del sistema. -----
```

```
void setup() {
```

```
  pinMode(motorDA,OUTPUT);
```

```
  pinMode(motorDR,OUTPUT);
```

```
  pinMode(motorIA,OUTPUT);
```

```
  pinMode(motorIR,OUTPUT);
```

```
  medida_mm_f =12;
```

```
}
```

```
//-----
```

```
void avanza(){
```

```
  analogWrite(motorDA,50);
```

```
  analogWrite(motorDR,0);
```

```
  analogWrite(motorIA,50);
```

```
  analogWrite(motorIR,0);
```

```
}
```

```
//-----  
void distancia()  
{  
  medida_mm_f = (ultra_f.Ranging(CM));  
  delay(1);  
}  
//-----  
void gira_izquierda()  
{  
  analogWrite(motorDA,50);  
  analogWrite(motorDR,0);  
  analogWrite(motorIA,0);  
  analogWrite(motorIR,50);  
}  
//-----  
void gira_derecha()  
{  
  analogWrite(motorDA,0);  
  analogWrite(motorDR,50);  
  analogWrite(motorIA,50);  
  analogWrite(motorIR,0);  
}  
//-----
```

```
void loop()
// comprueba si no hay obstáculos
{
  distancia();
  //Si no hay obstáculos al frente.
  if (medida_mm_f>15)
  {
    avanza();
  }
  // si hay obstáculos-----
  else if (medida_mm_f<15)
  {
    gira_izquierda();
    delay(1200);
  }
}
```