

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y LAS ARTES



**LA FORMACIÓN EN FÍSICA DESDE LA SINERGIA ENTRE LA EDUCACIÓN
FORMAL Y LOS MUSEOS DE CUARTA GENERACIÓN**

Tesis para obtener el título de Licenciado en Matemáticas y Física

DIEGO ALEXANDER ACOSTA ÁLVAREZ
GIOVANNI AUGUSTO TORRES ARANGO
DIEGO ESNEIDER OLAYA PAREJA

Dirigida por los profesores:
M.Sc. Óscar Meneses Cardona
Ph.D. Ángel Enrique Romero Chacón

Medellín – Colombia

2009

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín

Fecha

DEDICATORIA

A nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional.

Diego Alexander Acosta Álvarez

Giovanni Augusto Torres Arango

Diego Esneider Olaya Pareja

AGRADECIMIENTOS

A nuestras estudiantes por su excelente disposición y participación en todas las actividades propuestas, que fue en última instancia lo que condujo a los resultados obtenidos. Para ellas, nuestro más sincero agradecimiento. Así mismo, a La Institución Educativa Centro Formativo de Antioquia (CEFA) por permitir a los autores realizar una práctica docente acorde con los objetivos planteados; en especial, a las maestras Lucila Medina, Luz Stella Mejía, Yolanda Suárez y Nohelia Ospina por su comprensión y apoyo.

A nuestros asesores de monografía, Ángel Romero Chacón y Óscar Meneses Cardona por su dedicación y los aportes que influenciaron la consolidación de nuestro trabajo.

Al Grupo de Educación en Ciencias Experimentales y las Matemáticas (GECM) de la Universidad de Antioquia, encabezado por su el doctor Carlos Arturo Soto Lombana, por el apoyo brindado a los autores en la participación de diferentes eventos académicos en distintas regiones del país.

Al Parque Explora por vincularse con el proyecto y facilitar la visita de las estudiantes al parque bajo condiciones específicas; en especial agradecemos la ayuda intelectual brindado por Pablo Moreno y Alejandra Casas.

Índice general

Resumen	XV
Planteamiento del problema	XVII
Objetivos	XIX
1. Introducción	1
2. Marco teórico	3
2.1. Importancia de la enseñanza de la ciencia	3
2.2. Fundamentos pedagógicos de los museos de cuarta generación	7
2.2.1. Clasificación de los museos por generaciones	7
2.2.2. Relación entre los museos de cuarta generación y la educación formal	10
2.2.3. Propuesta educativa desde los museos de cuarta generación	11
2.2.4. Pertinencia desde las estrategias de enseñanza-aprendizaje	13
2.2.5. Pertinencia desde la concepción de usuario (educando)	14
2.2.6. Pertinencia desde lo social	15
2.3. Aspectos generales de la teoría de modelos	17

2.3.1.	La teoría de modelos como tendencia contemporánea en la enseñanza de las ciencias	17
2.3.2.	Modelos mentales	18
2.3.3.	Modelos conceptuales	19
2.3.4.	Modelización o modelado	21
2.3.5.	La enseñanza por explicación y contrastación de modelos	22
2.4.	Teoría de modelado de Ibrahim Halloun	29
2.4.1.	Sistemas	30
2.4.2.	Esquemas de modelado	32
2.4.3.	Dominio del modelo	34
2.4.4.	Composición del modelo	35
2.4.5.	Estructura del modelo	37
2.4.6.	Organización del modelo	42
2.4.7.	Viabilidad del modelo	44
2.5.	Principios de conservación en física clásica	48
3.	Metodología	55
3.1.	Esquema general de la investigación	56
3.2.	Primera visita al Parque Explora	62
3.2.1.	Análisis de los datos obtenidos en el informe	62
3.3.	Segunda visita al Parque Explora	86
3.3.1.	Diseño de la visita	86
3.3.2.	Análisis de los datos obtenidos en el informe	93
4.	Conclusiones	117
	Bibliografía	123
	Anexos	127
	Anexo 1. Introducción a los principios de conservación	129

Anexo 2. Laboratorio de física: Principios de conservación	131
Anexo 3. Actividad de trabajo independiente: Tipos de energía	135
Anexo 4. Guía de la primera visita al Parque Explora	137
Anexo 5. Los principios de conservación en mecánica	139
Anexo 6. Guía de la segunda visita al Parque Explora	147

Índice de figuras

2.1. Ilustración de la configuración de un sistema físico	31
3.1. Representación de la sinergia entre la educación formal y los museos de cuarta generación	55
3.2. Esquema de modelado desde la perspectiva de Halloun	57
3.3. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 1	66
3.4. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 2 (semejanzas)	70
3.5. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 2 (diferencias)	74
3.6. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 3	79
3.7. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 4	80
3.8. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 5	84
3.9. Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 6	85
3.10. Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 1 (semejanzas)	95
3.11. Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 1 (diferencias)	100
3.12. Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 2	103

3.13. Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 3 . . . 116

Resumen

Desde la perspectiva de Paulo Freire se asume que “*Ahora nadie educa a nadie; así como tampoco nadie se educa a sí mismo; los hombres se educan en comunidad y el mundo es el mediador*” (Freire, 1985). Considerando la influencia de la cultura y el entorno físico en este sentido, se espera que los cambios que en éstos se están produciendo sean acogidos por la educación y se manifiesten en modificaciones curriculares y estrategias de formación; abriendo así la posibilidad de establecer un nuevo campo de reflexión pedagógica.

No cabe duda que los avances tecnológicos y científicos en el último siglo han modificado la manera de interactuar con el mundo y en especial con la ciencia. Recientemente, como consecuencia de esta vorágine, se han consolidado los denominados museos de cuarta generación¹ como una alternativa para que las personas tengan acceso al conocimiento científico sin importar si éstas pertenecen o no al sistema educativo formal.

Con el objetivo de sacar el mayor provecho de estos cambios culturales se estableció una relación sinérgica entre los museos de cuarta generación y la educación formal, relacionando los modelos conceptuales estudiados en la escuela con los modelos físicos que propone el museo para favorecer el proceso de aprendizaje de los principios de conservación de la física clásica por parte de los estudiantes.

¹Este tipo de museos también son conocidos como museos interactivos de ciencia y tecnología, entre otros

En la escuela se estudiaron los modelos conceptuales que dan cuenta de los principios de conservación de la energía, del momentum lineal y del momentum angular para luego relacionarlos con los modelos físicos (experiencias interactivas del museo de cuarta generación) que constituyen referentes de los modelos conceptuales estudiados.

Después de establecer relaciones entre los espacios educativos mencionados y analizar la información obtenida se concluye que tal relación fue sinérgica favoreciendo la formación en física, en especial el estudio de los principios de conservación en mecánica.

Todas las actividades realizadas están sustentadas desde la teoría de *esquemas de modelado* de Ibrahim Halloun, en donde se asume que los modelos son los mayores componentes del conocimiento de una persona y la conformación de estos requieren unos procesos cognitivos mayores para la construcción y empleo del conocimiento en el mundo real. Desde la perspectiva de este autor, el aprendizaje de la física será más significativo cuanto mayor sea la capacidad de modelar del estudiante. Esto se justifica en el hecho de que la física es una ciencia de modelos y, a su vez, el modelado es una actividad sistemática que utilizan los físicos para construir y aplicar los conocimientos científicos.

Planteamiento del problema

Diferentes autores, como Guisasola et al (2005) y Orozco (2004,a 2004b), se han preocupado por la manera de implementar estrategias que tengan en cuenta los aportes que hacen los museos de cuarta generación en la formación en ciencias, en particular en física, procurando darle un sentido pedagógico y educativo a las actividades que estos proponen. Como consecuencia de esto se ha generado un interés por establecer las reflexiones pedagógicas en torno a la relación que se puede establecer entre estos espacios educativos.

En aras de aclarar este panorama particularmente enfocado hacia la enseñanza de la física y en correspondencia con la teoría de modelos propuesta por Halloun (2006), las reflexiones en torno a la formación en física se centran en conceptos denominados estructurantes en su conglomerado teórico. El objetivo es articular varios conceptos de la física pertenecientes a diferentes ramas a través de los principios de conservación de la mecánica clásica.

Considerando todo lo anterior surge entonces una necesidad que nos conduce a plantearnos la siguiente pregunta:

¿Cómo se puede establecer una sinergia entre la educación formal y los museos de cuarta generación, que promuevan la enseñanza y el aprendizaje de la física en aspectos relacionados con los principios de conservación?

El imperativo del establecimiento de relaciones sinérgicas entre la educación formal y los museos de cuarta generación para procurar el aprendizaje de los principios de con-

servación de la mecánica clásica, debe considerar varios aspectos que involucren ambos espacios educativos.

Para los intereses de esta propuesta, los autores consideran que en los espacios de educación formal, los contenidos deben estar organizados a partir de conceptos estructurantes como los principios de conservación. Después de cumplido este requisito, se estudia en la escuela los modelos conceptuales que la ciencia reconoce frente a la explicación de los fenómenos de la naturaleza.

Mientras esto acontece, se indaga en el museo de cuarta generación, aquellas experiencias interactivas, entendidos aquí, desde la perspectiva de Halloun, como modelos físicos, que pertenecen a la clase de referencia de los modelos conceptuales estudiados. Esta es la tarea que los autores desarrollaron en el momento preliminar a la investigación.

Cuando estas tareas investigativas están establecidas, la fase siguiente consiste en construir el material de apoyo, para implementar las actividades en el museo, específicamente, el diseño de guías que nos permita recolectar información útil y pertinente. Con esta información, se indaga luego de un análisis cualitativo y cuantitativo, la efectividad de la propuesta.

Objetivos

Para dar solución al problema planteado, se propone el siguiente objetivo general:

Establecer una relación sinérgica entre los museos de cuarta generación y la educación formal, que permita relacionar los modelos conceptuales estudiados en la escuela con los modelos físicos que propone el museo para favorecer el proceso de aprendizaje de los grandes principios de conservación de la mecánica clásica por parte de los estudiantes.

Para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Justificar la conveniencia de establecer relaciones sinérgicas entre educación formal y los museos de cuarta generación, por medio del rastreo bibliográfico y de las conclusiones derivadas del análisis de los datos obtenidos en la investigación.
- Relacionar los modelos conceptuales estudiados en el ámbito formal con los modelos físicos propuestos por el museo de cuarta generación, mediante el diseño y ejecución de actividades didácticas.
- Establecer la pertinencia de centrar los procesos de formación en el área de la física en el concepto estructurante de conservación en la mecánica clásica.
- Conocer las opiniones de las estudiantes respecto a las características de las actividades propuestas en el museo de cuarta generación y su relación con las realizadas en la escuela.

- Realizar un análisis comparativo entre las dos visitas hechas al Parque Explora, una de exploración libre y otra enfocada a los principios de conservación en mecánica clásica.

CAPÍTULO 1

Introducción

Existe una nueva tendencia respecto a la enseñanza de las ciencias que se ha centrado en el trabajo con modelos. Diversos autores reconocen la importancia de los modelos como agentes de la naturaleza representacional del conocimiento científico y ven en ellos una valiosa herramienta para mejorar la manera tradicional en que se ha enseñado la ciencia.

Gran parte de estas investigaciones se han centrado en el trabajo con los modelos mentales de los estudiantes (Duit y Glynn, 2005) en donde se pretende establecer su influencia en la comprensión de las teorías científicamente aceptadas. Sin embargo, existe también una nueva tendencia respecto al trabajo con modelos que excluye a los modelos mentales no por ser menos importantes, sino por su difícil control. Halloun es uno de los principales autores que ha reflexionado en torno a esta nueva posibilidad y hace un especial énfasis en la importancia de relacionar los modelos físicos (naturales o artificiales) con los modelos conceptuales (teoría científicamente aceptada). Es en este contexto donde la sinergia entre la educación formal y los museos de cuarta generación adquiere pertinencia pues es la escuela la principal proveedora de los modelos conceptuales y el museo de cuarta generación un novedoso espacio que ofrece modelos físicos, pertenecientes a la clase de referencia de los modelos conceptuales, a una escala tecnológica y científica que la escuela difícilmente puede alcanzar.

El gran reto de los educadores consiste en aprender cómo y en qué forma participar en los diferentes contextos sociales de la construcción del conocimiento. El museo de cuarta generación está consolidándose como uno de estos espacios, por lo cual, al sistema educativo le compete establecer criterios para vincularlo adecuadamente a los intereses de la educación científica.

Para atender a lo anterior con lucimiento, el presente trabajo en su etapa inicial pretende justificar la importancia de la enseñanza de la ciencia, en particular la física, en el contexto de la educación formal. Así mismo, se sustenta la importancia de establecer relaciones pedagógicas entre la escuela y los museos de cuarta generación en términos de beneficios formativos para los estudiantes.

Seguidamente se expone la importancia que tiene actualmente la teoría de modelos respecto a la investigación en la enseñanza de la ciencia, profundizando en los **esquemas de modelado** de Ibrahim Halloun, que es la posición asumida por los autores. Esto se complementa con un modelo de enseñanza de las ciencias que recoge algunos de los aspectos abordados en las secciones anteriores.

Se argumenta la importancia que tiene para la física el estudio de los principios de conservación en mecánica clásica, mostrando su protagonismo en todos los ámbitos de la física.

En el tercero de los capítulos se muestra la metodología seguida en el desarrollo de las actividades, justificándolas con la teoría expuesta en el capítulo anterior.

En el capítulo cuatro se consignan las conclusiones que se derivan de los resultados de esta investigación. La mayoría fueron extraídas de la información brindada por las estudiantes en la presentación de trabajos escritos y en argumentaciones orales durante las visitas en el museo y los encuentros en el aula de clase.

Por último se encuentran los anexos, donde están las actividades que se hicieron con las estudiantes del grupo al que se le aplicó la propuesta.

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1. Importancia de la enseñanza de la ciencia

Antes de emprender cualquier empresa educativa es necesario hacerse la pregunta acerca del por qué se hace lo que se hace, antes de cuestionarse por el cómo. Particularmente en este trabajo se plantea la pregunta ¿Por qué enseñar física?, ¿De qué se privarían los estudiantes si la física no se enseñara en las escuelas? Tratar de responder a este tipo de preguntas puede llevar la reflexión pedagógica en torno a la enseñanza de las ciencias hacia una nueva propuesta de formación, donde los resultados de la enseñanza sean los esperados.

En esta búsqueda surge entonces la pregunta acerca de la importancia y la pertinencia que tiene la ciencia, y particularmente la física, en la escuela y en el contexto colombiano. En este sentido se afirma que *debe aprenderse física como una contribución para comprender el mundo, transformarlo y enriquecerlo con el propósito fundamental de hacer nuestras vivencias y las de nuestros semejantes más humanas y satisfactorias* (Segura, 2005).

Así mismo Vigil (2004) asevera que se debe concebir la enseñanza de la ciencia *como un proceso de construcción social que busca la adquisición de capacidades conceptuales, procedimentales y actitudinales en los jóvenes a fin de formarlos como ciudadanos alfa-*

betizados en el conocimiento científico con capacidad de respuesta crítica a las ventajas y desventajas de la ciencia en la sociedad.

Para comprender la importancia de estas afirmaciones, Segura (2005) propone considerar lo siguiente:

1. Una mayor comprensión del mundo permitirá a los estudiantes tener menos incertidumbres y reemplazar una mirada inspirada en la superstición, por otra en donde los acontecimientos se articulan comprensivamente en un todo racional. Aquellas personas que afronten este reto estarán mejor preparadas para transformar la realidad que aquellos eclécticos que simplemente aprueban lo que les dicen y aceptan lo que sucede.
2. La formación científica puede ser una contribución importante para tomar decisiones que correspondan ética y cognitivamente con lo que exige la sociedad de todas las personas. Esto es, propendiendo a la transformación de la cultura mediante conductas y formas de proceder irrigadas por una cultura científica, en donde la teoría científica se utilice para comprender el mundo de la experiencia
3. El aprendizaje de las ciencias es por sí mismo un reto cognitivo grande para los estudiantes, pues los contenidos que se afrontan demandan niveles altos de razonamiento y el avance paulatino en tal aprendizaje exige la articulación de nuevos elementos conceptuales y cognitivos. En la clase de ciencias el estudiante debe desarrollar habilidades para construir modelos de explicación que les permita generar confianza y seguridad en sí mismos y en sus posibilidades.
4. La educación científica y en particular la enseñanza de las ciencias es un proceso de culturización social que trata de conducir a los estudiantes más allá de las fronteras de su propia experiencia con el objetivo de familiarizarse con nuevos sistemas de explicación, nuevas formas de lenguaje y nuevos estilos de desarrollo de conocimiento. Así, la ciencia es concebida como una construcción social, y nunca debe ser

presentada como un producto final, acabado e incuestionable. Esto quiere decir, que la ciencia siendo una reflexión objetiva del mundo que nos rodea es sobre todo el resultado de un proceso colectivo de construcción de conocimientos y los objetivos de su enseñanza, no deberán ser confundidos con los objetivos de la propia ciencia.

En gran medida, estos ideales no logran alcanzarse a causa de que los modelos mentales, es decir, los modelos que supuestamente se desarrollan con la participación intencional de la educación y las experiencias que tienen los estudiantes con el mundo que los rodea no son necesariamente articulados en beneficio de un óptimo aprendizaje, en tanto no coinciden necesariamente con los modelos conceptuales presentados.

Tradicionalmente, la dinámica de la escuela se ha sustentado en las interacciones existentes entre el estudiante, el maestro y el conocimiento; donde surge el problema para los estudiantes de encontrarle sentido a la teoría que se estudia en las aulas. Si esta triada, por el contrario, se conformara por el maestro, el estudiante y el problema de la experiencia en torno al cual se hacen las indagaciones, sería posible acortar la distancia existente entre la realidad de los estudiantes y la teoría. Incluso, *los fenómenos y objetos que se estudian en una disciplina, no pertenecen al mundo en que vivimos, sino al mundo de la disciplina, por ejemplo, al mundo de la física* (Segura, 2005). Así, los fenómenos que muestra la experiencia son, por lo general, más complejos que los fenómenos estudiados por la disciplina.

Esta consideración es de suma importancia cuando, por ejemplo, se diseña una actividad experimental para demostrar las conclusiones que se derivan de un determinado razonamiento teórico; pues si no se tiene esto en cuenta, puede no demostrarse nada en absoluto. Lo que se estudia en la disciplina no son los fenómenos de la experiencia cotidiana. Sin embargo, la teoría física y la experiencia no son totalmente antagónicas, pues, lo que se busca al formalizar alguna teoría, no es sólo explicar los fenómenos cotidianos, sino también tratar de predecir y anticipar algunos resultados. La clave para superar las diferencias entre estos dos contextos es utilizar al lenguaje como portador de significados para el estudio de la teoría física.

La importancia que en este contexto adquieren los fenómenos reales y cotidianos que se le presentan a los estudiantes muestra que cuando la enseñanza de la física se restringe a la presentación de los modelos conceptuales, no solo se está impidiendo una comprensión de los mismos, sino que se está asumiendo una idea per se de la enseñanza de las ciencias como un acontecimiento insulso, banal o prosaico que no trasciende la instrucción. En este sentido Chevallard (Citado por Segura, 2005) afirma que *toda ciencia debe asumir, como primera condición, pretenderse ciencia de un objeto, de un objeto real, cuya existencia es independiente de la mirada que lo transformará en objeto de conocimiento.*

Esto es lo que Fernando Savater (2005) ha denominado “educar para la razón”, que no es más que aquella concepción de la educación que traspasa la transmisión de información pues, según él, la información es tan amplia, cambia tanto, existen cada vez más diferentes formas de acceder a ella, que sería absurdo pensar que la función educativa consista simplemente en transmitir contenidos informativos. Lo que hace falta es formar pautas de comportamiento que permitan utilizar y rentabilizar al máximo la información que se posee y no solamente memorizarla y manejarla desde lo que abarca la disciplina y no la vida. La racionalidad científica busca que las opiniones sean argumentadas y sustentadas para erradicar aquellas que carecen de fundamentos. En este sentido Savater (2005) afirma que *una persona que dice que dos y dos son cinco, no puede ser encarcelada, pero lo que es evidente es que la idea de que dos y dos son cinco no es tan respetable como la idea de que dos y dos son cuatro.*

La educación científica debe procurar que los estudiantes conciban la física no como una colección de datos, sino como una actividad, en donde se enfrentan a problemas mediante el modelado o para refutar una propuesta mediante argumentos lógicos y propios de la física. *Si queremos que los estudiantes sientan que la vida es una construcción individual y no un permanente choque azaroso con la realidad, debemos construir en la escuela situaciones y actividades que posibiliten la construcción de este mundo* (Segura, 2005).

2.2. Fundamentos pedagógicos de los museos de cuarta generación

2.2.1. Clasificación de los museos por generaciones

Los museos contemporáneos se interesan por conocer las características de las relaciones sociales que se establecen entre sus visitantes, a través de los objetos, imágenes, etc. que se encuentran en sus instalaciones. En la actualidad, para encontrar sentido a sus objetos, el museo rompe con el perfil del museo convencional: el museo almacén. Comienza a concebirse el museo como un medio de comunicación masiva, un instrumento al servicio de la comunidad y su patrimonio.

El museo de ciencias constituye un caso excepcional para la museología, ya que en estos espacios se presentan tres tipos de enfoques museológicos distintos (Beyer, 2004):

- La museología del objeto.
- La museología de la idea.
- La museología del enfoque o punto de vista.

La exposición que del objeto hacen los museos de ciencias ha cambiado drásticamente a lo largo del tiempo, llegando al límite con la aparición de centros de ciencias que carecen de colecciones de objetos y fabrican, en su lugar, meta-objetos que representen al objeto. Al partir de la evolución del objeto dentro de las planteadas “cuatro generaciones” del museo de ciencias, Beyer (2004) expone las siguientes apreciaciones:

En la **primera generación** predomina la museología del objeto, puesto que es un espacio en donde la importancia se centra sobre la colección de los objetos (de historia natural principalmente). En este tipo de museos el visitante es un sujeto pasivo y el objeto se encuentra fuera de su alcance mediante herramientas museográficas como los pedestales y las vitrinas. Son los elementos rituales los que predominan en estos espacios. La infor-

mación necesaria para comprender la importancia del objeto está dada por la museografía más que por la interpretación del visitante.

En la **segunda generación** el museo es un espacio donde el visitante tiene acceso a la interacción con determinados objetos, directa o indirectamente; es decir, la relación visitante-objeto puede establecerse mediante la participación del visitante, o mediante una demostración de ciencia por parte del equipo del museo. Este tipo de museos promueve mediante elementos lúdicos el aprendizaje de contenidos educativos.

Para la **tercera generación** podemos analizar al museo como un espacio que promueve la participación activa del visitante, mediante la desacralización del objeto y las colecciones. En estos museos predomina la museología de la idea, aunque empieza a trabajarse la museología de enfoque o punto de vista. No se prescinde completamente del objeto, pero se le contextualiza de tal modo que esté al servicio de la idea o del concepto que se busca transmitir. El equipo del museo se interesa por los contenidos educativos y pretende inducir en el visitante la búsqueda de respuestas y significados mediante la exposición de objetos que inviten a la acción (experiencias interactivas, por ejemplo). Sin embargo, todavía pueden encontrarse elementos rituales que permiten establecer puntos cognoscitivos de conexión entre el sistema de objetos que se exhibe. Hay una fuerte tendencia dentro de la exposición para implementar un recorrido particular o un hilo conductor temático.

En la **cuarta generación** la museología de la idea se equilibra con la museología del enfoque o punto de vista del visitante; es un espacio abierto para la experimentación y la reflexión en donde el objeto pierde importancia como signo y es el visitante el actor principal de la experiencia museográfica. El objeto funge como intermediario de una información que responde a preguntas abiertas; de esto se deriva que el visitante pueda leer diversos significados y relacionar el sistema de objetos a su gusto. El recorrido es libre y se apela al sentido del descubrimiento de cada individuo. No hay elementos rituales, y los elementos educativos se encuentran inmersos o en consonancia con los elementos lúdicos.

En cuanto a la planta física, los museos de cuarta generación cuentan con total interactividad material y virtual, tecnología de punta en su despliegue museográfico y un

proyecto pedagógico explícito. Los museos de cuarta generación se encuentran en un estado permanente de renovación y crecimiento acoplándose diariamente a las exigencias que les plantea la sociedad en la cual se encuentran inmersos. Es por esto, que están abiertos a todo tipo de aportes y sugerencias: de los docentes que los conciben como espacios pedagógicos, de los estudiantes que se divierten y aprenden en ellos y de los usuarios en general. Estos museos desarrollan reflexiones y evaluaciones constantes, con ayuda de especialistas que los asesoran sobre la pertinencia de introducir otros principios y postulados científicos y técnicos que reúnan las condiciones de lo que actualmente tienen y sean coherentes con los criterios de relevancia fijados, según los objetivos educativos propios de cada sala (Orozco, 2004a).

Es importante señalar que la cuarta generación no es necesariamente una mejor generación que las otras tres. Cada una tiene un sentido, un uso del objeto y provoca diferentes respuestas por parte del visitante. Mientras que la restauración y resguardo de patrimonio natural material corresponde prioritariamente a los museos de primera y segunda generación, la apertura de espacios para priorizar la comunicación será competencia de los museos de tercera y cuarta generación.

El Parque Explora de la ciudad de Medellín puede ser considerado como un museo de cuarta generación, dado que esta institución reconoce la necesidad de que la ciencia y la tecnología sean divulgadas y apropiadas, como fundamento del desarrollo social y cultural del país. El Parque Explora es un lugar para suscitar la curiosidad y motivar en el visitante nuevos interrogantes sobre la naturaleza, buscando respuestas a través de su exploración. *Es un espacio de inclusión social que exalta la creatividad y brinda a toda la población la oportunidad de experimentar, de aprender divirtiéndose y de construir un conocimiento que posibilite el desarrollo el bienestar y la dignidad* (Aubad, 2007).

Los principales atributos del Parque Explora pueden resumirse de la siguiente manera (Aubad, 2007):

- **Un espacio lúdico:** A través de experiencias de gozo, se puede tener acceso a experiencias del conocimiento.

- **Un espacio de comunicación:** Aunque es necesario informar, educar y motivar hacia el conocimiento; también es importante desatar procesos de intriga, de asombro, de conmoción, a través de interacciones sociales.
- **Un espacio facilitador del proceso educativo:** Si bien no es un centro de educación formal, conecta conocimientos especiales con situaciones cotidianas, apuntando al desarrollo de competencias científicas que se ha propuesto el país en su sistema educativo.
- **Un espacio de socialización:** Un espacio insertado en la cotidianidad de la gente que propicia diálogos estimulantes y no convencionales, respecto a temas de ciencia y tecnología, que afectan a toda la ciudadanía.

2.2.2. Relación entre los museos de cuarta generación y la educación formal

Uno de los objetivos de la educación formal es facilitar el desarrollo e implementación de nuevas estrategias educativas en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Pérez-Tornero (citado por Orozco, 2004b) asegura que: *Si algo distingue la educación contemporánea de la de otras épocas es, por una parte, la creciente multiplicación de fuentes y escenarios de aprendizaje y, por otra, la explosiva transformación de sus procesos y estrategias de producción de conocimiento y saberes.* Dentro de esta tendencia podemos contar a los museos de cuarta generación como uno de estos nuevos escenarios de aprendizaje, posibilitando la elaboración de propuestas que enfatizan al museo como un mediador pedagógico, generador de nuevos métodos formativos y tratamientos pedagógicos, en beneficio de la labor educativa formal que realiza la escuela.

Estas propuestas contribuyen a una formación integral del educando, complementando, afianzando y profundizando los contenidos o actividades escolares, o en palabras de Guisasola (2005), las visitas a los museos de cuarta generación *pueden constituir un complemento al aprendizaje de las ciencias realizado en la Escuela.* Así mismo, Pérez (citado

por Varela y Stengler, 2004) afirma que *lo que se hace se retiene más y mejor que lo que simplemente se ve. Y esta ventaja se puede utilizar para potenciar y consolidar el conocimiento que se adquiere*, lo cual es coherente con las actividades que se realizan en los museos de cuarta generación, donde se puede acceder a una selectiva, pero variada carta de opciones encontrando salas de diversos tipos y grados de interactividad. Así el usuario-educando antes de ser acogido como alguien pasivo y meramente contemplativo, es asumido como un sujeto activo y pensante, que interactúa con los distintos módulos del museo, permitiéndole ser artífice y constructor de su conocimiento.

Los museos de cuarta generación son importantes en el diseño e implementación de propuestas que promuevan la enseñanza y el aprendizaje en ambientes distintos a los de la escuela. En consecuencia, el sentido educativo de los museos debe ser explícito y, por lo tanto, evidente en cada dispositivo museográfico. El aspecto educativo, es lo que otorga a los museos de cuarta generación una racionalidad intrínseca (Orozco, 2004b).

La escuela en su papel formativo puede aprovechar las ventajas que le ofrece el museo, viéndolo como espacio educativo en el cuál sea posible implementar nuevos enfoques y estrategias centradas en el aprendizaje de los estudiantes, y diseñando materiales didácticos para la visita al museo que integren el aprendizaje en la escuela, que estimulen el interés y la curiosidad de los estudiantes promoviendo un aprendizaje autónomo mediante trabajo en equipo orientado por el profesor. (Guisasola et al, 2005)

2.2.3. Propuesta educativa desde los museos de cuarta generación

Desde los inicios de los museos de cuarta generación se ha tenido la preocupación respecto a la función educativa que desarrollan en nuestra sociedad. Es de reconocerse que el currículo plantea la necesidad de acceder al mundo de las ciencias fuera de los dominios del recinto escolar y los museos de cuarta generación son los ideales para asociarse con la escuela y los docentes, para crear experiencias educativas acordes con las necesidades que plantean los estudiantes.

Estas experiencias que facilitan el aprendizaje deben cumplir básicamente con tres principios: Deben integrar el aprendizaje en la Escuela y en el Museo, además orientar a los estudiantes hacia el desarrollo y contrastación de sus propias ideas y al final facilitar estrategias apropiadas para el contexto del Museo (Guisasola et al, 2005).

El primer principio trata sobre la integración de las visitas dentro del programa curricular del área de física. Situándolas dentro de una o varias unidades didácticas programadas para el período escolar, esto beneficia que se alcancen los objetivos de aprendizaje de una forma más eficaz, planteando preguntas en la guía los estudiantes podrán comparar y contrastar las actividades realizadas en la clase con las efectuadas en el museo, haciendo que este espacio posibilite la adquisición por parte de los estudiantes de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. *En los módulos interactivos los estudiantes pueden manipular y analizar las distintas variables que intervienen de acuerdo con preguntas previas planteadas en las unidades didácticas o bien, en el material de la visita al Museo* (Guisasola et al, 2005)

El segundo principio trata sobre la independencia que deben desarrollar los estudiantes para que su proceso de formación llegue al punto que no dependa de un tutor en particular, sino que sea cada uno de ellos su propio maestro. Se puede estimular a los estudiantes para que realicen sus propias investigaciones *sobre la base de la información que tienen de las preguntas planteadas en clase antes de la visita y sobre las hipótesis que han formulado* (Guisasola et al, 2005). Unos interrogantes que desafíen al estudiante, que no le parezcan simples o imposibles, para que requieran de *su inventiva, creatividad y de sus conocimientos conceptuales y metodológicos para la búsqueda de soluciones. Se deben plantear de modo que requieran acciones intelectuales y operativas no muy sencillas* (Guisasola et al, 2005).

El tercer principio trata sobre la orientación ambiental de los estudiantes. En esta instancia es indispensable que los estudiantes conozcan la estructura física que compone el museo, las salas interactivas, los nombres de las experiencias incluidas dentro del reco-

rrido. Esto se concreta, haciendo una conversación previa en el aula antes de ir al museo, donde pueda indicárseles como se efectuará el recorrido.

De acuerdo a Sánchez (2004), al cumplir con estos tres parámetros las Instituciones Educativas formales pueden, visitar el museo con el objetivo de que sus estudiantes se afiancen en el aprendizaje de determinados aspectos de sus programas curriculares y al mismo tiempo se acerquen al museo como espacio cultural y educativo. Así, pueden aprovechar tanto las exposiciones permanentes del museo, como las exposiciones temporales, para aumentar la efectividad de los métodos de aprendizaje habitualmente aplicados a los programas que marcan las instancias educativas oficiales.

2.2.4. Pertinencia desde las estrategias de enseñanza-aprendizaje

Los seres humanos adquirimos nuestros conocimientos, gracias a la vía de la exploración, el ensayo y error, por lo que en la educación, *lo sustantivo no es la transmisión del conocimiento sino su construcción conjunta* (Orozco, 2004b). Entonces, se trata de facilitar la construcción múltiple de aprendizajes, trascendiendo la mera instrucción y buscando ampliar los horizontes en conocimientos y, ante todo, en procesos, estrategias y métodos de aprendizaje, pero sin olvidar que *el aprendizaje es un proceso largo y complejo en el que se van tejiendo, problematizando y discutiendo nociones y saberes, creencias y afectos a partir de la interacción con el dispositivo museográfico* (Orozco, 2004b).

En consecuencia, los criterios de legitimación de conocimientos están cambiando. Por lo que el criterio racionalista de la lógica clásica está siendo reemplazado por criterios en donde la percepción y los sentidos se tornan los últimos reductos de legitimidad del conocimiento. Este hecho es lo que ha posibilitado que emerjan en esta sociedad contemporánea nuevas fuentes y escenarios de aprendizaje no convencionales que usan metodologías y estrategias pedagógicas distintas a las que son implementadas por la educación formal, unos cuántos de estos espacios los vienen a llenar los museos de cuarta generación que se conciben como espacios de educación no formal.

El valor agregado de los museos de cuarta generación es que nos presentan el conocimiento de una forma más objetiva acorde con nuestras inquietudes y necesidades. Ciertamente se han encargado de que las experiencias interactivas ilustren de la forma más sencilla los fenómenos físicos que suceden en la naturaleza.

Ahora, para entender los procesos que los estudiantes ponen en acción cuando se enfrentan a una experiencia interactiva que amerita implementar mecanismos de razonamiento y deducción para su solución, no basta sino traer del campo de la metodología científica los mecanismos o procedimientos que los científicos utilizan al momento de solucionar problemas, pues estos en esencia son iguales. Entre estos procedimientos se encuentran: la exploración y familiarización con fenómenos y objetos, la emergencia de preguntas, la construcción de posibles vías de solución a modo de hipótesis, la contrastación y validación, así como la aplicación de ideas en nuevas situaciones, la observación, el análisis de las evidencias de manera lógica y crítica, la comunicación de información de manera apropiada y de diferentes formas.

2.2.5. Pertinencia desde la concepción de usuario (educando)

Para Orozco (2004b), un usuario de un museo de cuarta generación es finalmente comprendido como un ser social activo, en permanente interacción consigo mismo, con los otros y con su entorno, capaz de construir conocimientos y de hacer interpretaciones a partir de esa interacción.

Debido a que cada usuario es distinto y viene con intenciones particulares al museo de acuerdo a sus intereses personales, este dispone de oportunidades para que las personas aprendan independientemente y a su manera. Por tal circunstancia, los museos reconocen la necesidad de distribuir la información de forma que esté bien conectada con los intereses, actitudes y comportamientos de sus visitantes. Presentando a los visitantes una amplia gama de módulos y temas, ofrecen variedad de métodos que posibilitan el aprendizaje individual: expositores tridimensionales, videos, módulos interactivos, módulos multimedia,

experiencias reales manipulables, conferencias de expertos, exposiciones temáticas y talleres.

Los museos proporcionan a los usuarios-educandos, fuentes de experimentación e información que van más allá de las aulas escolares. Exhibiendo la progresión de las ideas científicas a través de “objetos reales” o de experiencias interactivas. Es así como los estudiantes pueden realizar observaciones detalladas, comparaciones y descifrar patrones de datos, comprobando sus suposiciones y teorías mediante la observación directa.

De acuerdo a lo anterior los procesos de aprendizaje que realizan los estudiantes en los museos pueden ser establecidos e incorporados relacionando ideas, para comunicarlas y contrastarlas con preguntas relacionadas con las experiencias. Además, ayudan a ampliar percepciones acerca de la realidad, fortaleciendo a un nivel cognoscitivo, la adquisición de conceptos científicos ligados a fenómenos físicos que suceden en la naturaleza y que son modelados por las ciencias.

En consecuencia *la aspiración de un museo desde la concepción de usuario es contribuir a la ampliación de los repertorios culturales y científicos transformando sus guiones* (Orozco, 2004b) (secuencias significativas de acción y reflexión, aprendidas por las personas para su supervivencia cultural y para guiar su actividad en el mundo) *en comportamientos, actitudes y disposiciones mucho más propicias para la experimentación y evaluación de conocimientos, fortaleciendo sus habilidades de comprensión, selección y análisis de la información con la que interactúan y en última instancia reflejándolo todo en la comunicación* (Orozco, 2004b).

2.2.6. Pertinencia desde lo social

Un museo de cuarta generación entiende que lo cognoscitivo es un compuesto por lo menos de cuatro elementos: razón, acción, comunicación y cultura; de donde se deriva un vínculo profundo entre lo racional y lo emocional, entre la curiosidad y la motivación por conocer y la gratificación por conocerlo, entre la comunicación y la acción, la acción con la reflexión y la creatividad con los valores universales y estilos locales.

Cuando el proceso que se lleva a cabo en el museo además de hacerse lúdico se realiza simultáneamente a través de la razón y los sentidos, el aprendizaje resultante es más profundo y permanente, más significativo, que si sólo se emplea la razón y el proceso se desenvuelve en una dimensión abstracta (Orozco, 2004a). Desde la comunicación se sabe que cada sentido otorga un conocimiento complementario y un matiz distintivo a la totalidad del objeto en cuestión.

Desde este punto de vista, el museo de cuarta generación puede incentivar la capacidad comunicativa de los estudiantes en términos de la explicación de los fenómenos físicos. *Sólo hasta que el conocimiento sea expresado por los sujetos podemos saber que se ha producido un aprendizaje* (Orozco, 2004b). En consecuencia no es solamente la comprensión de los modelos conceptuales mediados por los modelos mentales de los estudiantes lo que determina el nivel de conocimiento del estudiante sino la calidad de su expresión oral lo que determina su potencial de aprendizaje.

Los museos ofrecen una gran cantidad de nuevas posibilidades para las Instituciones educativas. El beneficio educativo del museo no dependerá del museo mismo sino de las estrategias desarrolladas para que su mediación pedagógica sea más efectiva. Los museos así concebidos, no son lugares de contemplación u observación pasiva, sino escenarios para permitir *el desarrollo educativo a través de situaciones comunicativas que propicien una interacción lúdica, una exploración creativa y una experimentación dirigida que a su vez posibiliten un involucramiento intelectual, físico y emocional de los usuarios* (Orozco, 2004a).

Si el museo se acoge a estas intenciones que pretenden el crecimiento intelectual, cultural y humano de sus visitantes es prioritario desarrollar un proyecto educativo integral, que lo convierta en un escenario innovador de aprendizaje. Este proyecto ha de tener un sustento pedagógico que le dé sentido educativo a todo lo que compone el museo. De este modo el museo definirá el perfil y las expectativas cognoscitivas y culturales de los usuarios, así como de los fines educativos para sustentar hipótesis de investigación y trabajos que hagan realidad su misión general.

2.3. Aspectos generales de la teoría de modelos

2.3.1. La teoría de modelos como tendencia contemporánea en la enseñanza de las ciencias

Los modelos pedagógicos utilizados para la enseñanza de las ciencias pocas veces están en resonancia con las demandas de la sociedad y con los continuos cambios que en ésta se producen. Esto muestra que los procesos educativos utilizados para la enseñanza de la ciencia son anacrónicos. ¿Será que la escuela es moderna mientras los estudiantes son postmodernos? (Segura, 2005).

La escuela se ha preocupado más por los complejos mecanismos por los que se aprende, que por las metas explícitas del proceso de enseñanza. Esto se revela en las diversas investigaciones realizadas sobre los modelos mentales que crean los estudiantes para explicar los fenómenos de la naturaleza (Gilbert, 2005; Duit y Glynn, 2005; Sutton 2005). La escuela debe centrar sus esfuerzos en objetivos mucho más trascendentes que sirvan como fundamento para la configuración de un modelo pedagógico más pretencioso y pertinente para la enseñanza de las ciencias. Tal modelo debe considerar los continuos cambios de la sociedad en que vivimos, en donde surgen nuevos espacios de aprendizaje, nuevos artefactos tecnológicos, nuevas formas de comunicación.

Ante esta demanda, en los últimos años, las investigaciones realizadas en diferentes contextos sobre la enseñanza de la ciencia apuntan hacia un enfoque basado en la teoría de modelos. Por ejemplo, se reconoce que los modelos tienen un gran aporte que hacer a la consolidación de una educación en ciencia más “auténtica” pues tienen un rol importante en la conducta de las ciencias, son ellos mismos el producto de las ciencias, y son de uso crucial en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Gilbert, 2005). Los modelos permiten ofrecer a los estudiantes una mejor comprensión de la naturaleza de las ciencias, y especialmente del papel del lenguaje en la percepción de las ciencias (Sutton, 2005).

También se considera que la capacidad que adquieren los estudiantes para entender las discusiones, las evidencias, la estrategias de solución de problemas, los símbolos y las

representaciones en un dominio dado de la ciencia depende del desarrollo y la adquisición de herramientas cognoscitivas, que en gran medida están influenciadas por el desarrollo de los modelos que los docentes emplean para planear las tareas y actividades educacionales (Duschl y Erduran, 2005). La posición básica es que los profesores, para hacer frente a los procesos de formación, condicionan los ambientes de aprendizaje y los modelos con los que se construye la realidad, y que los dirigen en tomar decisiones pedagógicas.

Duit y Glynn (2005) plantean que el aprendizaje de las ciencias tiene que hacerse con el modelado y que el aprendizaje en general se puede ver como el modelado mental. Según estos autores, el proceso de modelado se da a través de las analogías y sus émulos (Duit y Glynn, 2005). Así mismo, Duschl (2005) plantea que los procesos por los cuales modelos y teorías son producidos en ciencia, son similares a los empleados en la enseñanza de la ciencia.

Boulter y Gilbert (2005), establecen que los modelos se crean a menudo para que el complejo e intrincado conocimiento científico puedan ser comprendidos por los principiantes y los no expertos de cualquier edad. Además los modelos pueden ser utilizados como ayudas para la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia (Boulter y Gilbert, 2005).

Las recientes investigaciones mencionadas tienen en común la consideración de las teorías científicas como una serie de representaciones lógicas de la naturaleza, por ello es razonable que uno de los temas de mayor interés en la actualidad sea el estudio de la naturaleza representacional del conocimiento científico, marcando los ejes teóricos de las nuevas tendencias de la educación en ciencias, donde los términos *modelos mentales*, *modelos conceptuales* y *modelado* suelen aparecer con mucha frecuencia en publicaciones relacionadas con la enseñanza de las ciencias (Greca y Moreira, 1998). Veamos en que consiste cada una de estas acepciones de la amplia teoría de modelos.

2.3.2. Modelos mentales

Son el conocimiento que las personas desarrollan sobre fenómenos físicos, sin representar una teorización unificada al respecto. En este sentido, Duit y Glynn (2005) siguen

a Norman (1983) al afirmar que *los modelos mentales son lo que tiene la gente en sus cabezas y qué guía su uso de cosas*. Su principal función es la de permitir a su constructor explicar y hacer previsiones respecto al sistema físico representado, es decir, debe ser funcional para la persona que lo construye. Dichos modelos se caracterizan por:

- Ser incompletos e inestables: las personas olvidan detalles de sus modelos o los descartan.
- No tienen fronteras bien definidas.
- Son no científicos: reflejan las creencias de las personas sobre el sistema representado.
- Son parsimoniosos: las personas construyen modelos con una complejidad mental mínima.

Se considera además que los modelos mentales son representaciones analógicas de la realidad frente a una determinada situación, creando una representación mental interna que actúa como sustituto de esa situación y permiten actuar según las predicciones que resultan de estos modelos (Greca y Moreira, 1998).

2.3.3. Modelos conceptuales

En general, un modelo conceptual es una representación externa creada por investigadores, profesores, ingenieros, etc. que facilita la comprensión o la enseñanza de sistemas o estados de cosas del mundo. Los modelos conceptuales son representaciones precisas completas y consistentes con el conocimiento científicamente compartido, es decir, mientras los modelos mentales son representaciones internas, personales, idiosincráticas, incompletas, inestables, y básicamente funcionales, los modelos conceptuales son representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. Estas representaciones externas pueden materializar-

se tanto en la forma de formulaciones matemáticas o analogías. Los modelos conceptuales son una representación simplificada de objetos, fenómenos o situaciones reales.

Según Duit y Glynn (2005), el aprendizaje significativo resultaría de la evolución de los modelos mentales de los estudiantes hacia los modelos conceptuales que se les presenta en su proceso de formación, de forma que al final la evolución de los modelos mentales converjan a los modelos conceptuales (Greca y Moreira, 1998). Muchas dificultades de aprendizaje en la enseñanza de la ciencia son causadas por el hecho de que los modelos mentales de los estudiantes y los modelos conceptuales que se aprenderán son perceptiblemente diversos y son a menudo contradictorios. El aprendizaje de la ciencia entonces significa desarrollar los modelos mentales pre-instruccionales hacia los modelos post-educacionales, que comparten por lo menos ciertas facetas dominantes con el modelo conceptual enseñado (Duit y Glynn, 2005).

Cuando las personas intentan comprender un modelo conceptual, toman de él aquellos elementos que consideran importantes, lo relacionan (si es que esto es posible) con aquello que ya conocen y generan modelos mentales que no necesariamente son similares a los modelos conceptuales presentados.

Según Nersessian (1992), cuando los científicos comunican sus resultados, lo hacen a través de la lógica de sus fórmulas matemáticas y de los modelos conceptuales que han creado, sin hacer mención de los modelos mentales que le sirvieron de niveles de análisis intermedios para la comprensión del fenómeno físico en cuestión, o como dice Norman (1983), *Los modelos conceptuales se idean como herramientas para la comprensión o la enseñanza de sistemas físicos.*

Es incorrecto establecer un isomorfismo entre la estructura de un modelo conceptual y la de un modelo mental. Esto se ve claramente en los libros de texto, donde se presentan exclusivamente los modelos conceptuales acabados y lógicamente organizados, sin hacer mención a las representaciones mentales que los científicos emplearon para pensar la teoría.

Los modelos mentales y los modelos conceptuales entonces son ambos representaciones de procesos o de cosas del mundo real (Duit y Glynn, 2005).

2.3.4. Modelización o modelado

A pesar de sus esfuerzos, los profesores de ciencias no logran que sus estudiantes construyan modelos mentales que sean consistentes con los modelos conceptuales y con las teorías científicas compartidas y que les permitan comprender los fenómenos físicos de acuerdo con ellas. Estos se limitan a aprender de memoria largas listas de fórmulas y definiciones que no comprenden, pues los fenómenos que ellas describen no están siendo interpretados de acuerdo a los modelos mentales que deberían ser construidos.

La modelización se presenta como una solución a la construcción de representaciones internas coherentes con el conocimiento científicamente compartido. Siendo la modelización la principal actividad de los científicos y en particular de los físicos, para generar y aplicar teorías científicas. En este sentido afirma Halloun (citado por Greca y Moreira, 1998) que aprender física implica aprender a modelar.

El modelado, el proceso de formar y de construir modelos es siempre una actividad mental, de un individuo o de un grupo. Incluso si el producto de un proceso de modelado es un objeto concreto como un modelo concreto del Sistema Solar.

De acuerdo a lo expuesto en estos tres acepciones podemos afirmar que los estudiantes, comprender el mundo que los rodea y sus fenómenos, construyen representaciones internas (modelos mentales) que les permiten aprehenderlo, explicarlo y predecirlo. Estos modelos son particulares, incompletos, cualitativos, no son consistentes con los científicamente aceptados y tampoco precisan ser consistentes entre ellos, sino que deben ser básicamente útiles (funcionales) para permitirles manejarse en su vida cotidiana, constituyen el conocimiento previo con el cual llegan al aula. Allí le son presentados los modelos conceptuales. Los estudiantes al recibir esa información tienen varias posibilidades (Moreira y Greca, 1998). Una de ellas es intentar interpretarla de acuerdo al conocimiento que tienen, generando modelos híbridos. Esta es la que Sutton (2005) llama *etapa de persua-*

sión que se da cuando algún otro modelo es revalorizado. Otra es memorizarla en listas inconexas a través de representaciones internas proposicionales para aprobar las evaluaciones. Una tercera, y al parecer la más remota, es formar modelos mentales consistentes con la información recibida.

Según Moreira, aún no se sabe cómo identificar cuáles son los modelos mentales que los estudiantes tienen en un determinado dominio ni cuales los modelos mentales que construyen.

Particularmente en la enseñanza de la física, se suelen utilizar modelos conceptuales y físicos para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje, y el modelado para establecer relaciones semánticas entre las teorías y los fenómenos u objetos de estudio.

Teniendo presentes los aportes de Segura según los cuales la educación en ciencia contemporánea no debe centrar sus esfuerzos en la manera en que se aprende sino en las metas que se persiguen, y considerando las características de los modelos mentales ya mencionadas; sería complejo centrar los esfuerzos investigativos en ellos pues si no están bien definidos, son cambiantes, personales e inestables, es muy difícil ejercer control y seguimiento sobre ellos. Por el contrario, si pretendemos buscar una educación científica con metas más pertinentes para la sociedad en la que nos encontramos, debemos centrarnos en los modelos conceptuales que son los que dan cuenta de las metas que se pretenden al explicar los fenómenos de la naturaleza.

2.3.5. La enseñanza por explicación y contrastación de modelos

Considerando las tendencias contemporáneas de la investigación en la enseñanza de la ciencia y las demandas educativas que la sociedad exige, debemos entonces pensar en nuevos espacios de aprendizaje distintos al aula de clase. Una de estas posibilidades la ofrecen los museos de cuarta generación, especialmente para el campo de la física. En este tipo de museos se pretende que los estudiantes exploren las diversas actividades que se ofrecen y descubran los principios físicos que subyacen a cada una de ellas.

Para lograr establecer relaciones sinérgicas entre la escuela y el museo interactivo de ciencias, es necesario buscar una manera metodológica de alcanzar los objetivos educativos que se pretenden desarrollar en física, que permita diseñar un esquema general de trabajo en el que se aproveche al máximo (en términos educativos formales) los materiales ofrecidos por el museo de ciencia sin la necesidad de numerosas visitas.

Es por esto que es necesario reflexionar acerca de la manera más práctica y efectiva de relacionar los museos de ciencia con el proceso de formación en física y que esto se traduzca en resultados más efectivos de aprendizaje en los estudiantes. Por consiguiente, se considera que es preferible estudiar en ambos espacios educativos conceptos físicos generales que puedan considerarse *estructurantes* dentro de esta ciencia, de modo que se puedan presentar diversas temáticas consideradas en el plan de estudios a partir de un concepto general. Tal es el caso del estudio de los grandes principios de conservación, pues el concepto de conservación está presente en varios ámbitos de la física como: mecánica clásica, termodinámica, electromagnetismo, relatividad, teoría cuántica.

Esto es conveniente para ambos espacios educativos. En el caso de la escuela, se busca una meta mucho más trascendente pues se proyecta un conocimiento más general de la física en el que los diversos temas estudiados no se presenten de forma inconexa, sino que conformen un sistema estructurado desde un concepto físico general. Para el caso del museo interactivo de ciencia, se hace posible diseñar una exposición flexible y dinámica, que tenga en cuenta diferentes espacios del mismo, de modo que en la visita escolar se aproveche al máximo las experiencias que el museo ofrece.

Un modelo de enseñanza de las ciencias que está en resonancia con estas ideas y permite tener elementos de diseño de secuencias didácticas fundadas en ámbitos conceptuales generales que abarcaran diversos temas específicos de la física es *la enseñanza por explicación y contrastación de modelos* (Pozo y Gómez, 1998).

La idea de que el aprendizaje de la ciencia implica una continua contrastación entre modelos, más que la superación empírica de un modelo por otro, se acerca más a la hipótesis de la integración jerárquica que al supuesto de la sustitución de unos por otros.

Desde este enfoque se asume que la meta de la educación científica debe ser que el estudiante conozca la existencia de diversos modelos alternativos en la interpretación y comprensión de la naturaleza y que la explicación y contrastación de esos modelos le ayudará no solo a comprender esos fenómenos estudiados. El proceso de formación en física no debe entonces restringirse a la pretensión de que los estudiantes conozcan y manejen los modelos conceptuales, sino que también conozcan los modelos físicos y que los contraste con los primeros para lograr explicarlos.

La educación científica debe ayudar al estudiante a construir sus propios modelos, pero también a interrogarlos y a reescribirlos a partir de los elaborados por otros, ya sean en las instituciones formales o no-formales. Este modelo de enseñanza de las ciencias se caracteriza por lo siguiente:

- **Criterios para seleccionar y organizar los contenidos**

El núcleo organizador de este enfoque didáctico son los modelos, es decir la forma en que se representa el conocimiento existente en un dominio dado. En este modelo hay un interés implícito por los contenidos conceptuales, pero estos se organizarían no tanto a partir de los contenidos conceptuales específicos (fuerza, calor, carga, energía, etc.) sino de las estructuras conceptuales o modelos que dan sentido a esos conceptos (interacción, equilibrio, conservación, etc.).

Es importante no confundir la meta del currículo con el método, esto es, si la meta es la comprensión de los grandes principios de conservación, el método consistirá en introducir conceptos específicos relacionados con este, tales como: magnitudes escalares (masa, temperatura, calor, energía potencial) y vectoriales (velocidad, posición), energía, momentum lineal, momentum angular. El método da cuenta del logro de objetivos a corto plazo. Por ejemplo, el entendimiento de la forma de operar con magnitudes vectoriales será determinante al momento de introducir el momentum angular.

En algunas ocasiones se aprenden contenidos que tienen que ser integrados en esquemas más generales y abstractos; en otras, se aprenden precisamente conceptos integrados que aglutinan o subsumen cuestiones que se conocen. También se da el caso del aprendizaje de contenidos del mismo nivel de inclusión, abstracción y generalidad (Díaz-Barriga y Hernández, 2003).

■ **Actividades de enseñanza y evaluación**

Las propuestas basadas en la enseñanza mediante modelos consiste en la presentación del concepto general en la escuela (para este caso los principios conservación), relacionándolo con diferentes conceptos específicos (energía, calor, velocidad, masa, posición) y contrastando los modelos conceptuales elaborados en la escuela con los modelos físicos propuestos por los museos interactivos de ciencia (experiencias interactivas), de modo que los modelos presentados por los dos espacios educativos se complementen sinérgicamente y permitan a los estudiantes explicar situaciones cotidianas.

En este modelo de enseñanza de la ciencia el conocimiento no es abordado de manera lineal y secuencial estricta, sino que contempla la posibilidad de organizarlo alrededor de conceptos estructurantes. Aquí el conocimiento se obtiene a partir de unos contenidos conceptuales generales que son la columna vertebral de los demás conceptos específicos. Estos son conceptos muy importantes que, si son comprendidos, favorecen el proceso de aprendizaje y una comprensión amplia del comportamiento de la naturaleza del conocimiento científico.

La enseñanza por explicación y contrastación de modelos no debe confundirse con la investigación científica y su conocido método, pues esta no pretende construir el conocimiento en el contexto científico en el que surgió, más bien, promueve una reflexión constante sobre las teorías físicas ya elaboradas. El conocimiento se construye no en el contexto científico, sino en el escolar; por ello, los métodos y los procesos educativos han de ser especificados según las condiciones del entorno. A

medida que el conocimiento se construye, los modelos que se trabajan no se descartan, sino que pueden complementar los venideros.

■ **Papel del docente**

Si Newton decía que sus descubrimientos fueron posibles porque actuaba “subido a hombros de gigantes” en alusión a todas las aportaciones de los científicos que le precedieron, la función social del profesor es ayudar a sus estudiantes a subirse a los hombros de esos mismos gigantes, asimilando y reconstruyendo, a nivel social e individual, el acervo de la cultura científica. Para ello el profesor debe exponer a sus alumnos modelos conceptuales y modelos físicos que se deben contrastar con el fin de comprender las relaciones conceptuales que hay entre ellos y, de esta forma, ser capaces de relacionarlos e integrarlos (Pozo y Gómez, 1998).

El papel del docente en este modelo consiste en ayudar a los estudiantes a contrastar los modelos conceptuales con los modelos físicos. El docente debe presentar los modelos proponiendo enfrentar situaciones problemáticas que despierten en los estudiantes la necesidad de encontrar respuestas. En el proceso de solución de estas situaciones los estudiantes buscan la contrastación de los diferentes modelos favoreciendo el debate entre los propios estudiantes y entre estos y el docente.

Entre estos papeles que debe ejercer el profesor se recupera, como una de sus tareas más relevantes y complejas, la necesidad de presentar a sus estudiantes los modelos físicos y los modelos conceptuales, pero desde estas posiciones la explicación ya no sería un monólogo sino una conversación en la que el profesor crea diversos escenarios explicativos para hacer dialogar a los diversos modelos asociados a los fenómenos estudiados, contrastándolos entre sí y relacionando unos con otros, es decir haciendo que se expliquen mutuamente con el fin de integrar unas explicaciones con otras.

Es importante que el docente conozca el nivel jerárquico de los contenidos que enseña, las interrelaciones que éstos guardan entre sí, y que ayude a los alumnos a

entender ese entramado o tejido conceptual existen en la disciplina que enseña. Precisamente uno de los mayores problemas de los estudiantes es que tienen que aprender “cabos sueltos” o fragmentos de información inconexos, lo que los lleva a aprender repetidamente, casi siempre con la intención de pasar un examen y sin entender mucho del material de estudio (Díaz-Barriga y Hernández, 2003).

El docente se encarga de generar la discusión mediante situaciones problemáticas e integra los diversos modelos planteados por los distintos escenarios educativos. El docente puede organizar los diálogos o explicaciones mutuas entre los diversos modelos adoptando diversos roles:

- El profesor plantea la situación problemática y procura que los estudiantes las resuelvan relacionando los modelos conceptuales y los modelos físicos.
- Los estudiantes deben describir sus propias ideas e interpretaciones, utilizando con precisión el lenguaje y los códigos explicativos de esos modelos, pero también la concepción alternativa de un compañero, para comprender la diferencia entre distintas perspectivas.

Esta multiplicidad e integración de modelos debe reflejarse también en la evaluación, donde los estudiantes suelen percibir que esos múltiples modelos acaban por reducirse a uno: el que resulta de la relación sinérgica de todos los demás. Se trata de promover la relación conceptual y el contraste de modelos, utilizando tareas y criterios de evaluación que fomenten en los estudiantes la capacidad de explicar, reescribir y argumentar sobre los modelos y sus relaciones.

■ **Papel de los estudiantes**

Integrar los múltiples modelos conceptuales ofrecidos por la escuela y el modelo físico del museo interactivo de ciencia le permitirán al estudiante entender y aprender las características propias de los fenómenos físicos de una forma más general y significativa. El hecho de que el estudiante deba integrar varios modelos conceptuales

acerca de un mismo objeto de estudio le exige comprensión y dominio eficaz del tema, por tanto, se hacen presentes factores que pueden propiciar un buen aprendizaje.

En este modelo de enseñanza el estudiante cumple un papel fundamental en el desarrollo de la clase y de las actividades pedagógicas debido a que, a diferencia con otros modelos, él debe ser un agente activo y participativo en la medida, que debe discutir, proponer, plantear, escuchar, e investigar dentro del aula o en los diferentes espacios de aprendizaje.

El estudiante además de conocer los modelos conceptuales presentados en la escuela y el museo, deberá estar presto a discutirlos, compararlos y cuestionarlos de tal manera que con la comprensión del concepto estudiado tenga bases teóricas suficientes que le permitan estructurar y manifestar sus propias ideas y concepciones, dándolas a conocer con argumentos claros y permitiendo la socialización con sus compañeros. Además deberá ser un interlocutor claro no solo para todos los que participan de la clase aportando en los debates y asumiendo las situaciones planteadas por el profesor como problemas para el mismo, motivándose para encontrar una solución o una explicación coherente y bien fundamentada.

■ **Dificultades previsibles del modelo**

Este enfoque está más centrado en la comprensión de modelos conceptuales y los contenidos procedimentales y actitudinales quedan un poco relegados. Por ello será preciso destacar la importancia de los procedimientos necesarios para alcanzar esa construcción, tanto los específicamente relacionados con hacer ciencia como aquellos otros, de carácter más general, necesarios para aprender ciencia.

Como conclusión, se puede decir que la enseñanza por explicación y contrastación de modelos tiene como propósito fundamental que el estudiante conozca la teoría acerca de los hechos de la naturaleza desde diferentes espacios educativos, sin condicionarlo con alguno en particular, sino mostrándole las posibilidades y alternativas que le permiten

ampliar su visión acerca del conocimiento. De esta forma se busca que el estudiante no asuma la ciencia como un cúmulo de información, sino como una construcción que se va estructurando con los aportes que diferentes espacios educativos pueden proporcionar desde sus intereses particulares. Estas tendencias también comprometen a los maestros, quienes deben adoptar una postura epistemológica particular sobre la naturaleza del conocimiento científico y sobre los objetivos que se persiguen con su enseñanza. Los maestros realizan elecciones pedagógicas que apoyan o limitan las experiencias de los estudiantes en la clase de ciencias y selecciona los ideales científicos y pedagógicos que quiere lograr con ellos.

2.4. Teoría de modelado de Ibrahim Halloun

La teoría de modelado está siendo reconocida por científicos, filósofos de la ciencia y especialmente por educadores de ciencias, pues los **modelos** y los **procesos de modelado** son importantes en ciencias, matemáticas y otras disciplinas concernientes a la educación. Los modelos permiten organizar los conceptos que surgen de nuestras experiencias. Además, son considerados herramientas pedagógicas que posibilitan el aprendizaje eficiente de la ciencia.

Hay diferentes formas de modelar, entre ellas se encuentra lo que Halloun (2006) denomina **esquemas de modelado**, considerados como las herramientas más genéricas y más importantes para la construcción de modelos, pues presentan de manera explícita y comprensiva el contenido de modelos científicos.

Los aspectos teóricos que se enuncian a continuación se encuentran circunscritos dentro de la teoría propuesta por Halloun (2006), en el tercer capítulo de su libro *Modelling theory in science education*, en el cual se encuentran las principales conclusiones de este autor respecto a la teoría de modelos tras más de 20 años de investigación. A menos que se diga lo contrario, se entenderá que el sistema conceptual que se desarrolla está enmarcado en lo propuesto por este autor, mientras que las ilustraciones de estos conceptos por

medio de ejemplos en el dominio de la física o de los museos de cuarta generación, son interpretaciones de los autores a luz de esta teoría. La exposición de esta teoría, puede ser entendida como un sistema conceptual compuesto, donde cada uno de los conceptos es un objeto o un agente del sistema, organizados de tal modo que para comprender la estructura, el alcance y la viabilidad de la teoría, cada concepto definido es parte esencial del sistema, aunque algunos de ellos son subordinados y otros superordinados en la teoría.

2.4.1. Sistemas

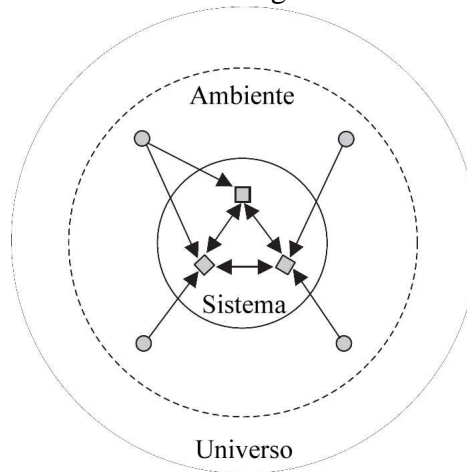
Los paradigmas científicos están sustentados en realidades físicas, es decir, en sistemas y fenómenos del mundo real. Los paradigmas naturales se refieren principalmente a la investigación exploratoria e inventiva que hacen los científicos sobre los fenómenos manifestados por tales realidades. Esta investigación se hace por medio de modelos conceptuales que se desarrollan para representar los fenómenos que se estudian. Un modelo científico se basa en un fenómeno específico siguiendo reglas explícitas de la teoría científica a la que el modelo pertenece.

Un sistema físico puede estar constituido de un solo objeto (**sistema simple**) o de varios objetos que interactúan entre sí (**sistema compuesto**). Los sistemas físicos pueden interactuar con objetos físicos que se encuentran fuera del sistema. Esto conforman lo que se conoce como el **ambiente** del sistema. Para distinguir objetos constitutivos del sistema de los del ambiente, se conoce a los primeros como **objetos** y a los últimos como **agentes**. Los límites del sistema y en consecuencia de los objetos que lo conforman se eligen por conveniencia, dependiendo del objeto de estudio del fenómeno y de algunas cuestiones teóricas. Lo mismo sucede entonces con el ambiente y por tanto de los agentes de interés.

La línea de demarcación del sistema-ambiente puede ser trazada lo más convenientemente posible de acuerdo a la naturaleza de la interacción entre varios cuerpos de interés. Dos objetos se incluyen como **objetos** de un sistema, si es necesario considerar las acciones mutuas de ambos objetos. Cuando sólo es necesario considerar la acción de un cuerpo

sobre un objeto, pero no la acción recíproca, dicho cuerpo se incorpora al ambiente del sistema y por tanto es incluido como agente (ver Figura 2.1)¹.

Figura 2.1: Ilustración de la configuración de un sistema físico



Los sistemas físicos pueden ser naturales o artificiales. Los **sistemas naturales** son aquellos desarrollados sin la intervención humana. Los **sistemas artificiales** son sistemas de fabricación humana. Un sistema artificial se llama **modelo físico** cuando se construye para representar aspectos específicos de un fenómeno, comunes a varios sistemas físicos (experiencias interactivas en un museo de cuarta generación). Un modelo físico no representa todos los aspectos de un sistema determinado, sino que por lo general es una **representación parcial** de los sistemas que representa.

Las ciencias naturales están relacionadas especialmente con **sistemas conceptuales** que corresponden a realidades físicas, de modo que pueden considerarse como teorías de modelos. Los paradigmas y por tanto las teorías, son los sistemas conceptuales más complejos de la ciencia y los modelos conceptuales son los más fundamentales. Al igual que un modelo físico, un modelo conceptual es un sistema artificial. Sin embargo, está compuesto de conceptos y no de componentes físicos y constituyen siempre una representación parcial de las realidades físicas asociadas. Los modelos conceptuales siempre preceden a

¹La presente ilustración es una traducción de la que se encuentra en la obra citada

los modelos físicos. En efecto, un modelo físico es la materialización de cierto modelo conceptual.

2.4.2. Esquemas de modelado

Según Halloun, los filósofos de la ciencia sostienen que los científicos y la gente “común” se diferencian no tanto en la naturaleza y cantidad de conocimiento que abarcan sus paradigmas, sino por la forma en que se organiza este conocimiento en tales paradigmas. Los paradigmas de los científicos se organizan mejor, lo que los hace más productivos y eficientes que el sentido común de los demás. Los científicos utilizan unas plantillas, a veces implícita o inconcientemente, en la disposición de cualquier concepto y en su integración con el resto de su sistema conceptual. Estas plantillas son denominadas esquemas. Se estudian principalmente los esquemas de modelado, esto es, esquemas usados para la construcción de modelos y de sus componentes conceptuales.

Un esquema de modelado es una plantilla organizacional utilizada para asegurar que cualquier concepto, especialmente un modelo, estén contruidos de forma comprensiva, sin la falta de ninguna característica primaria, e integrado con un teoría dada, de la manera más eficiente, compacta y coherente posible. También ofrece las reglas bien definidas para evaluar y emplear el concepto científico correspondiente. En cierto modo, los esquemas de modelado son, junto con otras herramientas, al aprendizaje significativo de la ciencia como la gramática y la sintaxis son al aprendizaje de un idioma.

Un esquema de modelado es una herramienta genérica para organizar y desplegar explícitamente una clase particular de conceptos (modelos o conceptos), es decir, una clase de plantilla conceptual sin contenido específico, pero con una serie de celdas (dimensiones) y de guías asociadas al desarrollo del contenido, que se encuentra en la interfaz entre una realidad física (o el tema particular) y la idea correspondiente, entre muchas realidades físicas que exhiben cierto fenómeno y el concepto correspondiente del modelo relacionado.

Los esquemas de modelado son provechosos tanto para los profesores de ciencias como para los estudiantes. Se utilizan en la planificación y puesta en práctica de las actividades de enseñanza. Por lo general, el contenido de una unidad de enseñanza se organiza generalmente en torno a un modelo específico. Sin embargo, Halloun dirige su discurso a los profesores y no a los estudiantes, porque los esquemas de modelado sirven especialmente para dirigir la planeación, la metodología y la evaluación, en la presentación coherente y estructurada de modelos, leyes y conceptos en una teoría científica. Los estudiantes necesitan construir sistemáticamente sus conceptos siguiendo estos esquemas, pero no necesitan conocer explícitamente cada una de las cuatro dimensiones de un esquema dado.

Segura propone el siguiente procedimiento para la elaboración de un modelo, es decir, para el modelado. Se tiene como punto de partida un problema, lo cual puede sintetizarse diciendo que existe algo que requiere explicación. Este problema puede ser la explicación del funcionamiento de una experiencia interactiva de un museo de cuarta generación o una experiencia cotidiana para los estudiantes. En la ciencia, la explicación se logra cuando se construye un modelo conceptual cuyo funcionamiento tiene consecuencias similares al fenómeno o modelo físico que se quiere explicar. En este sentido, Maturana y Varela (citados por Segura, 2005) afirman que el proceso consiste en proponer un fenómeno en el ámbito disciplinar que funciona o se comporta de manera similar al que motivó las búsquedas y que pertenece al mundo de las experiencias. Este modelo conceptual es un reflejo de la situación que se estudia.

Luego de esto se establecen las relaciones entre las variables que se han introducido en el modelo conceptual y sus comportamientos y esas relaciones son las que se denominan las reglas de correspondencia (por ejemplo cuando se afirma que el momentum angular de una rueda de bicicleta se conserva si se cumple que no actúan torques externos sobre el sistema se está estableciendo una regla de correspondencia). Si no se establecen estas reglas, la teoría que se había construido no sirve para explicar lo que se pretendía, pues no se establecen relaciones entre lo que se enseña y lo que se aprende.

2.4.3. Dominio del modelo

Un modelo científico se traza en consideraciones específicas sobre un fenómeno particular en el mundo real. El **dominio** del modelo se confina a este fenómeno particular en el mundo real, y entonces se dice que el modelo **corresponde** a todas las realidades físicas que manifiestan el fenómeno. Cada sistema físico que corresponde al modelo se llama un **referente** del modelo, y el conjunto entero de sistemas que exhiben el fenómeno constituye la **clase de referencia** del modelo. Se dice que el modelo **representa** sus referentes en los aspectos específicos que son particulares al fenómeno y se explican en el modelo. Por ejemplo, las experiencias interactivas de un museo de cuarta generación son modelos físicos que constituyen referentes de algún sistema físico y por tanto, las diferentes experiencias interactivas construidas en torno a un concepto específico corresponden a la clase de referencia del modelo y las realidades físicas análogas hacen parte del dominio del modelo

Los referentes del modelo pueden existir dondequiera y en cualquier momento en el universo. Sin embargo, ningún modelo puede representar cualquiera de sus referentes de una manera exhaustiva. Un modelo científico representa aspectos primarios de sus referentes importantes en el estudio del fenómeno correspondiente. Sin embargo, no puede representar todos los aspectos primarios posibles de cualquier referente, ni puede contestar a todas las preguntas sobre la estructura o el comportamiento de tal sistema. Como tal, la representación del modelo de su clase de referencia es siempre **parcial**, y está gobernada por reglas de correspondencia apropiadas.

Las **reglas de correspondencia** explican las condiciones para que un sistema sea el referente de un modelo, es decir, sea representado parcialmente por el modelo. Algunas de estas reglas son comunes a todos los modelos que pertenecen a la misma teoría científica y provienen de las leyes genéricas de la teoría y los correspondientes límites de precisión, como por ejemplo lo que Feynman llama Grandes principios de conservación.

La clase de referencia de un modelo científico no es exclusiva, es decir, el mismo sistema físico puede manifestar más de un fenómeno, y sería así el referente de los varios

modelos, que puede o no pertenecer al mismo paradigma científico. Sin embargo, dos modelos no pueden representar el fenómeno de la misma manera, aunque ambos pueden pertenecer a la misma clase de referencia. Así mismo, a menos que un fenómeno pueda ser considerado como un caso particular de otro más complejo, ningún modelo puede representar dos fenómenos en los mismos aspectos, incluso cuando los dos fenómenos son exhibidos por las mismas realidades físicas. En consecuencia, el dominio de un modelo, es restrictivo y exclusivo.

2.4.4. Composición del modelo

Un modelo científico se compone de conceptos. Más específicamente, la composición de un modelo consiste de los conceptos que representan propiedades **primarias** del fenómeno modelado (posición, masa, velocidad). Éstas son características que son comunes a todos los sistemas en la clase de referencia del modelo y son responsables de producir el fenómeno. Incluyen objetos y agentes en la construcción de los referentes del modelo, y ciertas características estructurales y de comportamiento compartidas por tales entidades y sistemas a los que pertenecen. Las entidades destacadas y las características primarias se representan en el modelo con entidades y propiedades conceptuales apropiadas, respectivamente.

Una entidad conceptual, o **depictor**, representa a los **cuerpos** físicos, objetos o agentes, en la constitución de los referentes del modelo, los cuerpos que contribuyen perceptiblemente a la existencia del fenómeno. Una entidad conceptual es a menudo un concepto geométrico que representa aspectos morfológicos primarios de cuerpos representados. Al igual que los sistemas, un modelo es **simple** cuando consiste en un solo depictor, y **compuesto** cuando consiste en muchos depictores.

Una propiedad conceptual, o **descriptor**, representa una propiedad primaria común a la estructura y/o el comportamiento de los sistemas que exhiben el fenómeno. Todos los descriptores en las ciencias físicas son cuantitativos y llevan a menudo los mismos

nombres de las características que representan. Los descriptores se encuentran clasificados en dos categorías, descriptores de objeto y descriptores de interacción.

Un **descriptor de objeto** representa una propiedad característica del cuerpo físico, y pueden ser un descriptor intrínseco o un descriptor de estado. Un **descriptor intrínseco**, designado a menudo como un parámetro en el lenguaje matemático, representa una propiedad que es generalmente inafectada por el comportamiento del cuerpo correspondiente (o del sistema) o por su interacción con otros cuerpos. La masa, y las dimensiones geométricas son ejemplos de descriptores intrínsecos en la teoría clásica. Un descriptor de estado, designado a menudo una variable en el lenguaje matemático, representa una característica que determina el comportamiento de un cuerpo físico y que puede variar por la interacción con otros cuerpos. La velocidad y el momentum lineal de un determinado cuerpo son ejemplos de descriptores de estado.

Un descriptor de **interacción** representa las acciones mutuas que ejercen dos o más cuerpos físicos. La fuerza y la energía son ejemplos de descriptores de interacción en física. Los descriptores de interacción son necesarios para representar acciones mutuas de objetos dentro del sistema (interacciones **internas**), y la acción de los agentes sobre los objetos (interacciones **externas**). En el caso de modelos simples, teniendo presente que un objeto no puede interactuar consigo mismo, no se incluye ningún descriptor de interacción interno, pero si descriptores de interacción externos.

Si hubiera un referente ideal, un sistema físico que consista solamente en los cuerpos que sean necesarios y suficientes para reproducir el fenómeno modelado y que posea apenas las características requeridas, habría un trazado unívoco entre ese referente y el modelo correspondiente. En el caso de un referente tan ficticio, y solamente en este caso, el isomorfismo modelo-referente sería comprensivo. Los descriptores del modelo representarían todos los objetos físicos y agentes relativos al referente ideal, y serían divididos a lo largo de la misma línea de demarcación que fija típicamente los límites entre un sistema y su ambiente). Los descriptores del modelo representarían todas las características físicas del referente ideal. Como en el caso de un modelo, cada concepto tiene un sistema de

reglas de correspondencia que establecen lo que el concepto realmente representa en el mundo real y bajo qué condiciones.

la composición del modelo está siempre limitada a esos depictores y descriptores que serían trazados en el referente ideal. Así, cuando el modelo se despliega en una situación física que exhibe el fenómeno modelado, es necesario concentrarse exclusivamente en esas características primarias de la situación que tengan relevancia en la composición del modelo y por consiguiente las represente. Cualquier otra característica sería secundaria y debe ser omitida. En otro caso, el modelo no podría responder a su propósito.

2.4.5. Estructura del modelo

La composición del modelo fija los bloques conceptuales constitutivos que son necesarios para la construcción del modelo. La estructura del modelo es la dimensión esquemática que convierte dichos bloques en un sistema conceptual coherente con funciones bien definidas. Esto lo hace relacionando varios componentes del modelo con leyes o principios apropiados y otras declaraciones teóricas como axiomas, teoremas y definiciones.

La característica esencial de un modelo es su papel funcional. La **función** de un modelo se refiere a las preguntas que puede contestar sobre el fenómeno correspondiente. La descripción y la explicación del fenómeno son las dos funciones principales de los modelos científicos.

La estructura del modelo se puede definir a lo largo de cuatro dimensiones, o facetas, cada una de las cuales se ocupa de un aspecto específico de los referentes del modelo en lo concerniente a la formación del fenómeno. Éstas son la faceta topológica, la faceta de estado, la faceta de interacción, y la faceta causal. Cada faceta es distinguida conceptualmente por la naturaleza de los descriptores implicados y de las maneras que se relacionan en el espacio-tiempo.

En la **faceta topológica** de la estructura del modelo, se fijan las posiciones relativas de varios depictores en un sistema coordinado apropiado para representar convenientemente la **configuración espacio-temporal** de los objetos primarios y de los agentes que son

responsables de la producción del fenómeno en un sistema de referencia dado. La topología de los depictores del objeto es relevante solamente en modelos compuestos pero no en modelos simples. La topología de los agentes importará solamente para cuantificar la acción de los agentes sobre los objetos que obran. Por lo tanto, solamente la posición de un agente concerniente a un objeto será considerada, y las demás no.

La **faceta de estado** se refiere a la descripción del fenómeno. Las leyes de estado apropiadas expresan cómo se estructuran los referentes del modelo y/o cómo se comportan en un sistema de referencia específico para producir el fenómeno en cuestión. Una ley de estado expresa cómo un descriptor de estado dado relacionado con un objeto físico específico (o un sistema físico) varía con el tiempo. Éstas son leyes físicas designadas a menudo en forma de ecuaciones. La faceta de estado es el aspecto de la estructura que más distingue un modelo de otro, independientemente de si los dos modelos pertenecen a la misma teoría científica, e independientemente de si representan el mismo fenómeno.

Las leyes de estado que pertenecen a diversos modelos conducen al mismo resultado cuando los modelos pertenecen al mismo paradigma, y a diferentes (pero no contradictorios) resultados al pertenecer a diversos paradigmas. Este es el caso de los principios de conservación. Desde la mecánica clásica, pueden ser tratados desde los modelos de Lagrange, Hamilton o Newton, obteniendo resultados equivalentes en su interpretación física, aunque la formulación matemática sea diferente. Por otra parte, dichos principios son válidos también en los modelos de Einstein de la teoría relativista, pero no conducen a los mismos resultados de los modelos clásicos, pues la ley de conservación de la energía se convierte en la ley de conservación de la masa-energía y el momentum lineal relativista incluye una modificación sustancial en su expresión matemática.

Dentro de la **faceta de interacción** de la estructura modelo, los descriptores de interacción se expresan sobre todo con leyes de la interacción. Una **ley de interacción** expresa un descriptor de interacción particular en términos de descriptores de objeto relacionados con cuerpos que interactúan.

La **faceta causal** se refiere a la **explicación** del fenómeno. Las **leyes causales** apropiadas afirman porqué los referentes del modelo tienen una estructura común, y/o porqué se comportan de la manera que lo hacen en un sistema de referencia específico. Especifican las condiciones para que los referentes del modelo estén en un estado según lo descrito por las facetas topológica y de estado.

La estructura de un modelo no consiste siempre de todas las cuatro facetas, y su función con respecto al fenómeno correspondiente es entonces determinada por la naturaleza de las facetas incluidas. Según lo observado al principio de esta sección, la descripción y la explicación son las dos funciones principales de un modelo. Estas dos funciones dependen específicamente de la faceta de estado y de la faceta causal, respectivamente.

Un modelo se llama un modelo descriptivo, cuando su estructura consiste solamente de la faceta de estado (y quizás de la faceta topológica). Un **modelo descriptivo** es así un modelo referido exclusivamente a la descripción del fenómeno. Este responde al “qué” y “cómo” sobre la estructura y/o el comportamiento de los referentes modelo. Un modelo se llama un modelo explicativo, cuando su estructura incluye solamente la faceta causal (junto con la faceta de interacción). Un **modelo explicativo** es un modelo referido exclusivamente a la explicación del fenómeno. Responde al “porqué” sobre la estructura y/o el comportamiento de los referentes del modelo.

El modelo se llama **comprendivo** cuando asume ambas funciones e incluye las cuatro facetas de la estructura descritas arriba. Un modelo comprendivo surge al unir un modelo descriptivo y un modelo explicativo que se ocupa del mismo fenómeno bajo las mismas condiciones teóricas y empíricas. Esto no significa que un modelo comprendivo pueda contestar a cualquier pregunta sobre sus referentes.

Algunas de las leyes y declaraciones en la estructura del modelo son genéricas; son proporcionadas por la teoría científica que contiene el modelo o por el paradigma correspondiente, y son comunes a todos los modelos en la teoría. Estas incluyen las leyes de interacción y las leyes causales así como otras leyes que se apliquen exitosamente en la estructura del modelo. Algunas de estas leyes son superordinadas o leyes dominantes en el

sentido que se aplican a cualquier paradigma científico, y gobiernan la derivación de leyes genéricas referentes a teorías individuales. Éste es el caso del principio de conservación de la energía cuya restricción a la mecánica clásica, conduce al principio de conservación de la energía mecánica. Así mismo, el principio de superposición se usa en la faceta de interacción, en la faceta causal y la faceta de estado de todos los modelos de partícula de la mecánica clásica, por ejemplo para componer o descomponer descriptores como el momentum lineal o el momentum angular en sistemas compuestos.

Hay que distinguir inequívocamente la faceta de interacción y la faceta causal de la estructura de un modelo. La faceta de interacción se refiere a la elección de descriptores convenientes, como fuerza (variación temporal del momentum lineal), para representar y cuantificar la interacción entre los cuerpos físicos que contribuyen a la formación del fenómeno. Las leyes de interacción explican las características, como magnitud y dirección, de los descriptores de interacción elegidos. La faceta causal se refiere a la identificación del efecto de la interacción sobre el estado de las realidades físicas implicadas en el fenómeno. Las leyes causales pueden así especificar el efecto, por ejemplo, de la fuerza ejercida por un agente dado en el momentum de un objeto sobre el cual el agente actúa. Desde un punto de vista funcional, una ley de interacción relaciona un descriptor de interacción con los descriptores intrínsecos referentes a un agente y a un objeto, mientras que una ley causal relaciona el descriptor de interacción con los descriptores de estado que pertenecen solamente al objeto.

Un modelo se traza en aspectos específicos sobre el fenómeno físico que representa. El **alcance** del modelo (dominio y función), así como su viabilidad, depende de la clase de trazado implicada, es decir, en el nivel de isomorfismo entre el modelo y sus referentes. Es determinado sobre todo por lo que Hempel (Citado por Halloun, 2006) llama **isomorfismo nómico** entre las leyes en la estructura modelo y las relaciones reales entre las características físicas de los referentes. La similaridad relevante (analogía) entre un modelo y el tipo de fenómeno modelado consiste en un **isomorfismo nómico**, esto es, un **isomorfismo sin-**

táctico entre dos sistemas correspondientes de leyes. Un sistema de leyes pertenece a la estructura del modelo, y el otro es inherente a las realidades físicas del modelo análogo.

El isomorfismo nómico entre un modelo conceptual y un fenómeno físico se modela sobre la suposición de trazado selectivo, en el nivel de composición y de estructura, entre el modelo y sus referentes. En el nivel de composición, los **depictores** del modelo corresponden a los cuerpos físicos destacados, y los **descriptores** del modelo corresponden a las características físicas primarias. En el nivel de estructura, cada relación expresada entre ciertos descriptores del modelo (leyes y otras declaraciones teóricas) corresponden a una relación específica entre características físicas del fenómeno. La semántica apropiada (reglas de correspondencia) establece la correspondencia modelo-fenómeno en todos los aspectos, para que el isomorfismo entre los dos pueda ser expresado explícitamente.

El isomorfismo nómico de Hempel en el nivel de leyes es el más importante para establecer la función de un modelo. Sin embargo, las leyes naturales, esto es, las leyes inherentes a las realidades físicas son independientes del escrutinio humano y por tanto, el isomorfismo no es directo. El isomorfismo nómico entre el modelo y el fenómeno se puede establecer así: (a) indirectamente, a través de la viabilidad del modelo si da respuestas aceptables sobre el correspondiente fenómeno físico, y especialmente, si da buenas predicciones sobre las realidades físicas que exhiben el fenómeno, y/o (b) directamente, y à-posteriori, con la materialización del modelo, por ejemplo, en la invención de nuevas realidades físicas, principalmente las tecnológicas, que exhiban el fenómeno de la manera representada por el modelo, como con la construcción de experiencias interactivas en un museo de ciencias de cuarta generación.

El isomorfismo nómico entre el modelo científico y el fenómeno físico permite afirmar, que el modelo **representa** todas las realidades físicas en aspectos exhibidos por el fenómeno y descritos y/o explicados por el modelo hasta cierto punto de precisión. La representación se establece según la **semántica** bien definida que incluye las reglas de correspondencia del modelo y la semántica particular asociada a conceptos individuales y estableciendo qué concepto representa en el mundo real, es decir, a qué cuerpos físicos

se refiere un depíctor y qué propiedad física representa un descriptor. La semántica nos ayuda a interpretar el modelo en el mundo real, como los resultados empíricos y racionales obtenidos en el despliegue modelo. Se asocia al modelo la semántica apropiada, la cual permite que todos los científico interpreten el modelo en cuestión virtualmente de la misma manera, en el establecimiento de su correspondencia al mundo real o al desplegarlo en una situación determinada.

La representación del modelo no va hasta el positivismo, donde los conceptos científicos son “espejos objetivos” de la realidad. El trazado modelo-fenómeno ni implica necesariamente una correspondencia biunívoca, en el sentido clásico, entre los componentes conceptuales del modelo y los componentes de sus referentes. Por ejemplo, los principios de conservación no se representan de igual forma en los paradigmas clásico y moderno de la física. En consecuencia no corresponden al mundo real de la misma manera en ambos paradigmas.

2.4.6. Organización del modelo

Las cuatro dimensiones de un esquema de modelo pertenecen a la organización, es decir, al estado de un modelo dado en la correspondiente teoría científica. Pertenecen particularmente a la relación del modelo con otros modelos, y a lo que puede ofrecer para ampliar el alcance de la teoría. Los modelos ocupan el nivel intermedio en una jerarquía conceptual básica, que pone la teoría en el tope de la jerarquía (nivel superordinado), los modelos en el centro, y los conceptos en la parte inferior (nivel subordinado). Las teorías proporcionan, con sus modelos, el **contenido** conceptual de un paradigma científico, con conceptos como los bloques estructurales más elementales, y leyes de varios órdenes como reguladores del proceso de construcción.

Los modelos son fundamentales y su rol va más allá de la modelación de fenómenos. Los modelos ofrecen las lentes conceptuales a través de las cuales se observa el mundo real, describiendo, explicando y prediciendo la constitución y el comportamiento de sus sistemas. Una vez que se desarrolla un modelo, los científicos lo despliegan cada vez que

investigan cualquiera de sus referentes, fijando la clase de preguntas que pueden responder acerca de estos referentes, averiguando qué necesitan hacer para contestar a esas preguntas, y determinando las respuestas subsecuentes.

Según su alcance, y el nivel de su complejidad conceptual, el sistema de modelos incluidos en una teoría científica se puede también distribuir en una jerarquía media (que consiste en modelos solamente) que pone la familia de lo que llamamos los modelos básicos en el medio de la jerarquía. En el nivel superordinado de la jerarquía está la familia de modelos emergentes y en el nivel subordinado está un repertorio de modelos subsidiarios. La familia de **modelos básicos** incluye los modelos de la teoría que cubren virtualmente todos los conceptos fundamentales (depictores, descriptores, y varias declaraciones teóricas), reglas y herramientas que son necesarios para construir y desplegar cualquier modelo en la teoría. Un modelo emergente es un modelo cuya composición y, especialmente, su estructura se puede obtener al combinar la composición y estructura de dos o más modelos (sobre todo modelos básicos). Un modelo subsidiario es una versión simplificada de un modelo básico y sirve como escalón importante en el desarrollo comprensivo del modelo básico en cuestión.

Por ejemplo, cada uno de los principios de conservación aquí estudiados pueden constituir un modelo básico. Es posible que en la descripción de un referente del modelo, como una experiencia interactiva, de los principios de conservación (colisiones elásticas) sea necesario unir dos de estos modelos (conservación de la energía y conservación del momentum lineal), de modo que el resultado de dicha unión sea un modelo emergente en la teoría. Por otra parte, algunos referentes pueden ser versiones simplificadas de uno de estos modelos básicos, los cuales representan sólo algunas características básicas del modelo básico, como la relación entre velocidad angular y la posición en el principio de conservación del momentum angular (inercia rotacional, giróscopo de equilibrio y giróscopo descolgado), constituyéndose cada uno en un modelo subsidiario de la teoría.

Una teoría científica es un sistema conceptual que se ha corroborado y que consiste en: (a) un sistema de modelos científicos, y (b) un sistema de reglas y de declaraciones

teóricas para la construcción y despliegue de dichos modelos. La teoría permite describir y explicar confiablemente un sistema de fenómenos físicos, cada uno representado por un modelo apropiado, y, por lo tanto, predecir y controlar esos fenómenos, y reproducirlos en realidades físicas alteradas o inventadas.

2.4.7. Viabilidad del modelo

Los méritos de un paradigma natural generalmente se determinan por su viabilidad en el mundo real, es decir, por: (a) su validez para hacer preguntas específicas acerca de ciertas realidades físicas, (b) la confiabilidad y el grado de precisión que permiten contestar a esas preguntas, (c) la eficacia con la cual las preguntas pueden ser hechas y las respuestas pueden ser obtenidas, y (d) el grado de cobertura en el mundo real, es decir, el número de realidades físicas correspondientes al paradigma y su distribución en el espacio-tiempo. Desde una perspectiva científica, la respuesta a una pregunta dada proviene solamente de un modelo particular en una teoría apropiada incluida en el paradigma. La viabilidad del paradigma científico (o la teoría) depende así de los modelos que componen estas teorías, corroborados y desplegados en el mundo real.

La viabilidad del modelo no es cuestión de si un modelo es “verdadero” o “falso”. Es cuestión de: (a) cuán bien (en qué aspectos, y en qué medida) el modelo representa un fenómeno específico en el mundo real, y (b) cuán conveniente (instrumental) es para contestar a preguntas específicas sobre las realidades físicas que exhiben el fenómeno en cuestión. Así, la viabilidad depende sobre todo de la manera como se corrobora el modelo, es decir de la naturaleza de la búsqueda en la naturaleza de evidencia y de la manera cómo se establece, y sobre las consecuencias de tal corroboración. Esto permite restringirse al paradigma, conociendo sus limitaciones, pues este permite explicar de una forma coherente muchos fenómenos. La corroboración de un modelo puede exigir posteriormente el refinamiento del modelo para lograr su estabilidad y reducir la falsabilidad.

Corroboración empírica

Un modelo conceptual, o cualquier otro concepto, debe ser corroborado empíricamente para ser instalado sin renuencia en el ámbito de la ciencia y preservar su estado allí. La evidencia empírica para la viabilidad de un modelo se establece según los objetivos, las normas y los criterios teóricos, lo cual se busca cada vez que el modelo se despliega en el mundo real. La corroboración empírica continua es una característica importante que distingue a los paradigmas científicos del resto de clases de paradigmas, incluidas las matemáticas. La corroboración empírica se establece sobre todo con respecto a la función del modelo, es decir, buscando evidencia directa o indirecta del isomorfismo nómico entre el modelo y el fenómeno representado.

La tradición científica ha promovido la racionalidad, el pensamiento crítico y la objetividad. Infundiendo una preocupación por la evidencia, y por juzgar ideas, no por interés personales o sociales, sino por cómo es el mundo. La evidencia directa es establecida con la materialización del modelo, controlando realidades físicas existentes o inventando nuevas. Por medio de la invención, las nuevas realidades físicas se crean (o se simulan) conteniendo las características primarias representadas en la composición y estructura del modelo. La corroboración entonces será establecida si las realidades en cualquier caso producen el fenómeno modelado a un grado aceptable de precisión. La invención incluye las experiencias interactivas.

Coherencia y conformidad racional

La corroboración empírica es necesaria pero no suficiente para que un modelo sea instalado en el ámbito de la ciencia. Los científicos pueden rechazar un modelo que esté de acuerdo con los datos empíricos cuando el modelo no encaje con la teoría o el paradigma aceptado. Los apoyos racionales de un modelo científico, o aún del la teoría científica entera, puede estar bien desarrollados antes de que el modelo se corrobore empíricamente, y puede incluso ser instalada antes en los ámbitos de la ciencia.

Además de evidencia empírica, un modelo debe entonces pasar las pruebas racionales de conformidad teórica y de coherencia interna. Las pruebas de **consistencia** o **conformidad teórica** se refieren al grado de pertenencia del modelo a la teoría que se supone pertenece. Estas pruebas se hacen al nivel de las cuatro dimensiones esquemáticas para asegurarse de que el modelo obedece todos los cánones genéricos (principios, axiomas, leyes, normas y reglas) de la teoría y del paradigma correspondiente. Las pruebas de coherencia se refieren especialmente a la estructura del modelo. Sirven para determinar la sintaxis de varias leyes y otras declaraciones teóricas incluidas en las cuatro facetas de la estructura del modelo, así como la armonía de las relaciones entre varias facetas, y especialmente entre la faceta causal y la faceta de estado.

Falsabilidad

Los paradigmas científicos no son dogmáticos. Sus cánones y teorías se pasan siempre a la prueba indirectamente a través de sus modelos, y pueden ser modificados posteriormente, por lo menos en algún sentido. Ningún modelo científico válido y confiable puede ser exacto o final. La falsabilidad es una característica inherente de los modelos científicos (y por tanto de las teorías y paradigmas). De hecho, la ciencia debe su objetividad, por lo menos en parte, a la posibilidad de prueba de los modelos científicos, posibilidad de prueba que no se limita a la evidencia empírica y racional discutida en los dos puntos anteriores. Se no sólo la evidencia confiable sino también la contra-evidencia posible que podría hacer que el modelo pierda su viabilidad en el alcance definido.

La idealización implicada en dicho fenómeno y la construcción del modelo es reduccionista. La representación de un modelo científico por sus referentes es siempre parcial. Es construida por la **reducción** y la **parsimonia** para simplificar y optimizar la manera en que describe y/o explica el fenómeno correspondiente. Reduce el fenómeno a las características primarias específicas, y elimina todos los detalles secundarios que encubren dichas primarias. Es parsimoniosa en el sentido que el isomorfismo con los detalles primarios preservados está idealizado de modo que sea suficiente para describir y/o explicar el

fenómeno dentro de los límites aceptables de validez, de confiabilidad y de precisión. Por lo tanto, habrá siempre algo que falta en un modelo científico, y no importa si es secundario o insignificante, evitará que afirmemos que el modelo nos provee un cuadro exacto del fenómeno que representa.

Estabilidad y plasticidad

Una vez que un modelo es corroborado confiablemente, y después de que se valida una y otra vez por décadas de despliegue acertado, llega a ser extremadamente rígido, pero abierto, a cuestionar su validez y confiabilidad dentro de su alcance. Esta característica relativa de estabilidad es lo que distingue los paradigmas científicos modernos de sus precursores en la historia de la ciencia.

La estabilidad del modelo no imposibilita la plasticidad o flexibilidad de acuerdo a los resultados inesperados. Un modelo científico es concebido originalmente por la correspondencia a realidades físicas específicas. Sin embargo, el alcance del modelo no es limitado necesariamente a esas realidades. Puede siempre haber otras realidades que pueden ser descubiertas eventualmente y que exhiben el mismo fenómeno representado en el modelo o que nos ayudaría a explotar los nuevos potenciales del modelo.

La ciencia avanza descubriendo algunos aspectos entre los cuales las semejanzas el modelo y el mundo no son como se pensaron. Por consiguiente, el modelo puede experimentar algunos refinamientos para acomodar los nuevos resultados, especialmente en el nivel de isomorfismo nómico, y mejorar su eficacia.

Por ejemplo, las leyes de conservación de la física clásica fueron extrapoladas a la teoría cuántica y la teoría de la relatividad, aunque se le hicieron ciertas modificaciones, como por ejemplo, en la relatividad, donde el principio de conservación de la energía se convierte en la ley de conservación de la masa-energía o en la teoría cuántica, donde se encuentra cuantizado el momentum angular orbital.

2.5. Principios de conservación en física clásica

Cuando se estudian las leyes de la física, se descubre que existe un gran número de leyes complicadas y llenas de detalles, las leyes de la gravedad, de la electricidad y el magnetismo, de las interacciones nucleares, etc., pero a lo largo y a lo ancho del amplio abanico de estas leyes surgen unos grandes principios generales que todas ellas parecen cumplir. Ejemplos son los principios de conservación, ciertas propiedades de simetría, la forma general de los principios de la mecánica cuántica, y el hecho de que todas las leyes sean matemáticas.

Los físicos utilizan los términos corrientes de manera peculiar. Para ellos una ley de conservación significa que existe un número que se puede calcular en un momento determinado y que, mientras la naturaleza va transformándose sin cesar, si se calcula de nuevo en un momento posterior el número será el mismo de antes, no habrá cambiado. Los principios de conservación son absolutamente precisos, en la medida del conocimiento humano, al parecer no existe un fenómeno en la naturaleza que los pueda contradecir, sin embargo, son falseables en el sentido que se expondrá más adelante. Un ejemplo de esto es la conservación de la energía. Existe una cantidad que se puede calcular según una cierta regla y que siempre da el mismo resultado, pase lo que pase.

Conservación local. Se dice que algo se conserva localmente, cuando la disminución (aumento) de cierta cantidad en una configuración espacio-temporal determinada, da lugar a un aumento (disminución) en la misma cantidad en las cercanías, todo en el mismo instante de tiempo, sin la necesidad del desplazamiento de un objeto físico, pero sí, del desplazamiento continuo. El carácter local es común a todos los principios de conservación, y esto es consecuencia del principio de relatividad de Einstein, pues en caso contrario, la conservación de la carga se daría sólo para observadores que se encontrarán en “reposo absoluto”, lo cual es imposible.

De todas las leyes de conservación, la ley de la conservación de la energía es la más difícil y abstracta y, sin embargo, la más útil. Es más difícil por ejemplo, que la conserva-

ción de la carga, la cual no se discute aquí, porque en el caso de la energía se considera un número que no cambia con el tiempo, pero que no representa ningún objeto particular.

Lo que se ha descubierto respecto a la energía es la existencia de un esquema con una serie de reglas. A partir de cada conjunto de reglas se puede calcular un número para cada clase distinta de energía y cuando se suman dos de estos números, cada uno correspondiente a distintas clases de energía, siempre se obtiene el mismo total. Es un hecho abstracto, puramente matemático, el que exista un número tal que siempre que se calcula da el mismo resultado.

Esta energía tiene todo tipo de aspectos. Existe energía debida al movimiento llamada energía cinética, energía debida a la interacción gravitacional, denominada energía potencial gravitatoria, energía térmica, energía eléctrica, energía luminosa, energía elástica, energía química, energía nuclear y también una energía que toda partícula tiene por el mero hecho de existir y que depende directamente de su masa, a saber, $E = mc^2$, aporte que hizo Einstein.

Aunque se ha hablado de un gran número de energías, hay que decir que existen algunas relaciones que mantienen entre sí. Por ejemplo, lo que se llama energía térmica es, en gran medida, simplemente la energía cinética del movimiento de las partículas en el interior de un objeto. La energía elástica y la energía química tienen el mismo origen, las fuerzas entre los átomos. Cuando los átomos se reagrupan en forma distinta se produce un cambio de energía, y si esa cantidad cambia, esto significa que otra cantidad debe también cambiar. Por ejemplo, si se quema algo, la energía química cambia y se percibe calor donde no lo había, porque todo tiene que compensarse. Tanto la energía elástica como la energía química son interacciones de átomos y, actualmente, se sabe que estas interacciones son combinaciones de dos cosas, energía eléctrica y, de nuevo, energía cinética, con la única diferencia de que, esta vez, su fórmula es de mecánica cuántica. La energía de la luz no es más que energía eléctrica, porque la luz se interpreta en la actualidad como una onda eléctrica y magnética. La energía nuclear no se presenta en términos de las demás.

Los principios de conservación sirven para descubrir otros fenómenos físicos. Por ejemplo, existen unos objetos enormes que se denominan cuásares, situados a distancias enormes de la tierra que irradian una tal cantidad de energía en forma de ondas de luz y de radio que se plantea el interrogante de su origen. Si el principio de conservación de la energía es correcto, el estado de los cuásares después de irradiar esta enorme energía debe ser distinto de su estado anterior. Quizás a alguien se le ocurra proponer que la ley de conservación de la energía no es del todo correcta. Lo cierto es que cuando parece que un objeto parece estar en conflicto con una ley fundamental, ocurre muy raramente que sea la ley fundamental la que esté equivocada, lo que suele ocurrir es que faltan detalles por conocer.

¿Cómo es posible que se puedan extender las leyes a regiones sobre las que se sabe tan poco? ¿De dónde procede la confianza en que, una vez comprobado que la ley de conservación de la energía en fenómenos conocidos, al surgir un fenómeno nuevo éste también cumpla con dicha ley? En muchas ocasiones se ha descubierto que leyes que se creían ciertas, resultan no serlo. Sin embargo, si no se afirmara que una ley es cierta en una región inexplorada entonces es que no se sabe nada. Si sólo se utilizaran las leyes que se acaban de comprobar, entonces nunca se podrían hacer predicciones y conjeturas.

Existen otras leyes similares a la de la conservación de la energía, en el sentido de que se refieren a números. Una es la de conservación del momentum lineal. Si tomamos todas las masas de un sistema y las multiplicamos por sus velocidades (multiplicación del vector velocidad por el escalar masa), su suma (vectorial) es el momentum lineal del sistema y dicha suma se conserva. Actualmente se considera que el momentum lineal y la energía están íntimamente relacionados. Sin embargo, en el presente trabajo no se establecerá dicha relación y se tratará el principio de conservación del momentum lineal como independiente del principio de conservación de la energía, dado el carácter vectorial implícito en la definición del momentum lineal, mientras que en el caso de la energía, se tienen magnitudes escalares.

Otro ejemplo de conservación de una cantidad es el momentum angular. El momentum angular es el área generada por unidad de tiempo por objetos en movimiento. Si se considera un objeto en movimiento y se fija un punto cualquiera en el espacio, resulta que la velocidad a la que crece el área definida por una línea trazada desde el centro hasta el objeto, multiplicada por la masa del objeto y sumada para todos los objetos de cierto sistema, se denomina momentum angular del sistema. Esta cantidad no cambia y se tiene por lo tanto la conservación del momentum angular. Esta definición de momentum angular es equivalente a la que se hará aquí y que se expondrá más adelante.

Descubrir las leyes de la física es como intentar construir un rompecabezas. Se tiene una cantidad de piezas, algunas de las cuales no hay manera de hacerlas encajar. La pregunta es cómo se sabe si pertenecen o no al mismo juego, si realmente son parte de un cuadro todavía incompleto. La verdad es que no se sabe y es preocupante, pero también da ánimos para descubrir qué piezas distintas poseen características en común. Todas las distintas leyes obedecen a los mismos principios de conservación.

Algunos de los problemas en torno a la comprensión de algunos conceptos de la física, como por ejemplo el de la energía, tienen su fundamento en que los estudiantes no tienen una idea clara de la trascendencia e importancia de los principios de conservación, y tampoco los procesos de enseñanza se han esmerado en ello. Por ejemplo, aún no se ha resuelto si las leyes de conservación son teoremas o principios; ni tampoco se han mostrado los principios de conservación como un principio presente en toda la física (Solbes, J. y Tarín, F. p. 387)

Un ejemplo que ilustra con claridad que, en efecto, los principios de conservación están presentes en toda la física es el de la conservación de la energía. La elaboración del concepto de energía, hasta llegar a su total comprensión mediante el principio de conservación, fue un proceso de más de dos siglos de duración (Solbes, J. y Tarín, F. p. 387. p. 389). Las dos etapas en que se dio el desarrollo histórico del principio de conservación de la energía, muestran que paulatinamente se fue incorporando a todas las ramas de la física. Son las siguientes:

- En la primera etapa, se establece la conservación de la energía en la mecánica. A partir del estudio de los choques elásticos de Huygens y Leibnitz, se formula una ley de conservación en la que sólo aparece la energía cinética. Muy pronto se conocen las limitaciones de dicha ley. Hay que esperar casi medio siglo para que la conservación de la energía de un sistema mecánico sea establecida en 1788 por Lagrange en su **Mecánica analítica**. Es decir, con Huygens y Leibnitz, el modelo de conservación de la energía era sólo descriptivo, luego se convirtió en comprensivo cuando se introdujo la energía potencial, la cual es una ley de interacción.
- En la segunda etapa, se plantea la conservación de la energía en termodinámica. Se conceptualizan el calor, la cantidad de calor, la temperatura, la energía interna y el trabajo. Estos conceptos, unidos a una gran cantidad de hechos experimentales (procesos de conversión de energía, transformación de calor en trabajo; estudio de máquinas térmicas) dan lugar a la formulación de los dos principios de la termodinámica. El primer principio resuelve las limitaciones de la conservación de la energía en mecánica, mientras que el segundo aporta la degradación de la energía como un nuevo aspecto de la misma. Este principio de conservación fue introducido por Mayer, Joule y Helmholtz con vocación de ser un principio de toda la física.

Sin embargo, luego de estas etapas, se han producido como es de esperar otros adelantos científicos en donde los principios de conservación han ido ocupando un lugar conceptual determinante en las teorías físicas modernas. En la física moderna, la teoría de la relatividad introduce la equivalencia de la masa y de la energía, y la energía de la masa en reposo, que es necesario incluir en el principio de conservación. La física cuántica muestra la cuantificación de la energía y su indeterminación (relación de Heisenberg energía-tiempo). La desintegración puso en cuestión la conservación de la energía desde el punto de vista microscópico y el posterior descubrimiento del neutrino supuso su confirmación.

Por último, el teorema de Noether plantea una visión más profunda del sentido de la conservación de la energía al relacionarla con una invarianza de las leyes naturales bajo las traslaciones temporales.

CAPÍTULO 3

Metodología

Con el propósito de explicar el significado que para los autores tiene el concepto de sinergia entre la educación formal en física y los museos de cuarta generación, en particular, entre la Institución Educativa Centro Formativo de Antioquia (CEFA) y el Parque Explora de la ciudad de Medellín, considérese la siguiente figura:

Figura 3.1: Representación de la sinergia entre la educación formal y los museos de cuarta generación



Cada anillo representa una de las instituciones que participaron en la investigación. Como se muestra en la figura, todas ellas están fuertemente vinculadas mientras estén presentes simultáneamente. Si alguna de estas se omite, entonces el vínculo entre las otras dos desaparece¹. La Universidad, específicamente la Facultad de Educación, a la cual pertenecen los autores, permite fortalecer los vínculos existentes entre la escuela y el museo en beneficio de la educación formal en física, en particular, los principios de conservación de la mecánica clásica. Ahora, la escuela como representante de la educación formal en ciencia es el fundamento de la Facultad de Educación, y el museo centra gran parte de sus esfuerzos en atraer a esta población. Por último, el museo de cuarta generación aporta los modelos físicos que pertenecen a la clase de referencia de los modelos conceptuales estudiados en la escuela, los cuales difícilmente podrían estar en una institución educativa.

Lo anterior no implica que estos espacios sean necesariamente interdependientes, sino que el establecimiento de relaciones educativas entre los tres trae como consecuencia la generación de una sinergia en beneficio de la educación formal en ciencia.

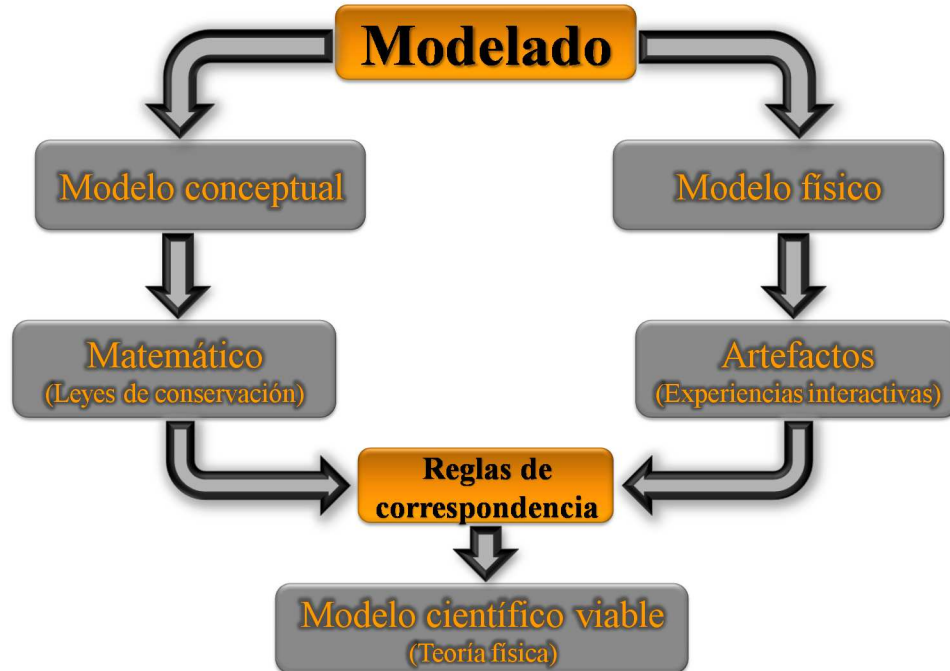
El establecimiento de la sinergia propuesta se hizo relacionando los modelos conceptuales estudiados en la institución educativa con las experiencias interactivas del Parque Explora, es decir, sus referentes, de modo que las estudiantes corroboraran empíricamente el modelo y establecieran su coherencia y conformidad racional, para concluir por tanto que dicho modelo es viable (ver Figura 3.2).

3.1. Esquema general de la investigación

Se contó inicialmente con un grupo de 42 estudiantes del CEFA, pertenecientes al grado décimo, en la modalidad Ciencias Químicas. Cuando se terminó el proceso la cantidad de estudiantes se redujo a 37. El museo de cuarta generación que se visitó fue el Parque Explora de la ciudad de Medellín.

¹Hágase el ejercicio de borrar uno de los tres anillos, y nótese que los otros dos pueden ahora desligarse, mientras que esto no es posible cuando los tres están al mismo tiempo.

Figura 3.2: Esquema de modelado desde la perspectiva de Halloun



Se optó por asumir un paradigma cualitativo para obtener y analizar los datos resultantes de las intervenciones. Así mismo, en su análisis se categorizó y codificó la información siguiendo procedimientos tanto cualitativos como cuantitativos, por lo que puede decirse que la metodología de investigación fue holística. Los procedimientos seguidos se mencionan a continuación (Rodríguez, 1999):

- Se examinaron las unidades de datos para identificar en ellas determinados componentes temáticos que permitieron clasificarlas en una u otra categoría, reflexionando acerca del contenido de los mismos y asignando códigos que cubrieron cada unidad.
- Se clasificaron conceptualmente las unidades que son cubiertas por un mismo tópico, referidos a situaciones y contextos, actividades y acontecimientos, relaciones entre personas, comportamientos, opiniones, sentimientos, perspectivas sobre un problema, métodos y estrategias, procesos.

- Se separaron en unidades atendiendo a criterios temáticos identificados por los autores según los objetivos de la investigación y a los datos contenidos en los informes.
- Las categorías fueron definidas a medida que se examinaron los datos, es decir, siguiendo un proceso inductivo, proponiendo categorías provisionales, que a medida que avanzó la codificación fueron siendo consolidadas, modificadas o suprimidas a partir de la comparación con los datos incluidos en otras diferentes.

Esta idea es la recogida por Strauss (citado por Rodríguez, 1999) al hablar de “codificación abierta” proceso en el que se parte de la búsqueda de conceptos que tratan de cubrir los datos. Se analizaron de forma exhaustiva los datos, identificando el tema al que se refería cada fragmento, a qué categoría pertenecía, qué ideas o temas reflejaban las palabras de los informantes, y asignando un nombre de código provisional a cada unidad de contenido. De este modo, emergió un conjunto de categorías que fue constantemente ampliado, modificado, redefinido, readaptado en función de los nuevos pasajes que fueron siendo objeto de categorización. Fue un proceso por el cual los nuevos fragmentos estudiados sirvieron para confirmar las categorías existentes o como fuente para la creación de otras nuevas.

Se procuró por cumplir con los criterios de objetividad (que las categorías fueran inteligibles para distintos codificadores, de forma que la mala interpretación del contenido de las categorías no diera lugar a una cierta inconsistencia de intercodificadores) y pertinencia (que las categorías fueran relevantes en relación a los objetivos de estudio y adecuadas al propio contenido analizado).

A continuación se presenta en orden cronológico las actividades que se realizaron durante toda la investigación:

1. Se estudió la relación entre variables físicas, esto es, proporcionalidad directa, inversa, cuadrática, entre otras. Cuando se intervino el grupo, ya se venía estudiando este tema, por lo cual se continuó con ello, para no interrumpir el proceso de las

estudiantes y porque esto fue importante en el momento de decir lo que significa que una magnitud se conserve en el tiempo. Se complementaron las explicaciones con una actividad experimental en la que las estudiantes encontraban la relación entre las variables que se consideraban. Como estas actividades no hacen parte de los objetivos de la investigación, no se profundizará en ellas.

2. Se expuso el modelo conceptual, esto es, los conceptos necesarios para enunciar los tres principios de conservación que se estudiaron, a saber, las leyes de conservación de la energía, el momentum lineal y el momentum angular. El proceso fue el siguiente:

- En la primera actividad se les propuso a las estudiantes leer un fragmento de una conferencia del reconocido físico Richard Feynman (1983), titulada “Los grandes principios de conservación” en el cual se indica lo que se entiende en física por conservación, para hacer explícita la idea propia de conservación. Las estudiantes hicieron la lectura y a continuación escribieron su idea inicial de conservación, sustentándola con ejemplos de física y química (ver Anexo 1).
- Se diseñó una actividad experimental, para ilustrar el concepto de conservación, de acuerdo a la lectura de Feynman. Para esto, las estudiantes se trasladaron al laboratorio de física del CEFA, donde llevaron a cabo las actividades, que consistieron en determinar que el periodo del péndulo es constante y que la velocidad de caída de un cuerpo es independiente de la trayectoria seguida por el objeto (ver Anexo 2). Esta actividad permitió que las estudiantes relacionaran los modelos físicos del laboratorio del CEFA con la idea de conservación que se tenía hasta ese momento.
- Las estudiantes hicieron una consulta acerca de los tipos de energía y del principio de conservación correspondiente. Se socializaron las consultas y se enunció el principio de conservación de la energía mecánica (ver Anexo 3). El

- principal propósito de esta actividad fue que las estudiantes dedujeran que la energía se manifiesta de múltiples formas, tal como lo afirma Feynman (1983). Además, desde la perspectiva de Segura, esto permitió acortar la distancia entre la teoría y la experiencia de las estudiantes respecto al concepto de energía.
- Se diseñó y ejecutó la primera visita al Parque Explora, en la cual se identificaron las opiniones de las estudiantes respecto a los museos de cuarta generación y adicionalmente, determinar si las estudiantes identificaban el concepto general de conservación en algunas de las experiencias interactivas del museo. Previo a la visita se les entregó a cada estudiante una guía que contenía las pautas para la realización del informe, que se debía entregar en la siguiente clase (ver Anexo 4). Las opiniones de las estudiantes justifican de cierto modo la conveniencia de establecer relaciones sinérgicas entre la escuela y el museo de cuarta generación.
 - Se introdujo el concepto de magnitud vectorial, que constituye el lenguaje apropiado para definir los conceptos de momentum lineal y momentum angular y enunciar las leyes de conservación correspondientes. Específicamente, la diferencia entre magnitudes escalares y vectoriales, la adición vectorial y el producto de un vector por un escalar en el plano, así como métodos matemáticos para realizar dichas operaciones, tanto si se expresa el vector con sus componentes o fijando su magnitud, dirección y sentido.

El producto vectorial no se consideró. Aunque usualmente se introduce el momentum angular como $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$, se prefirió no hacer explícito esto, sino definir \vec{L} como el único vector en el espacio tal que $\|\vec{L}\| = m\|\vec{r}\|\|\vec{v}\|$, la dirección es perpendicular al plano determinado por los vectores \vec{r} y \vec{v} y el sentido es tal que el sistema $\{\vec{r}, \vec{v}, \vec{L}\}$ es dextrógiro.

- Se definieron los conceptos de energía mecánica, momentum lineal y momentum angular y los respectivos principios de conservación. Se ilustraron con algunos fenómenos que verifican estas leyes, es decir, son referentes del mo-

delo conceptual estudiado (ver Anexo 5). De este modo, se expuso el modelo conceptual relativo a los principios de conservación en mecánica clásica.

3. Se diseñó y ejecutó la segunda visita al Parque Explora, para centrarse en algunas experiencias interactivas, relacionadas directamente con los principios de conservación en mecánica y determinar las diferencias identificadas por las estudiantes entre las dos visitas. Allí, las estudiantes identificaron a las experiencias interactivas como modelos físicos pertenecientes a la clase de referencia del modelo conceptual estudiado en la institución educativa y varias diferencias y semejanzas respecto a la dinámica de las dos visitas. Previo a la visita se les entregó a cada estudiante una guía que contenía las pautas para la realización del informe, que se debía entregar en la siguiente clase (ver Anexo 4). En este caso, el informe no fue individual, sino que se distribuyó a las estudiantes en equipos de tres integrantes.

La conformación de estos grupos tiene los siguientes propósitos (Joyce y Weil, 2002, p. 62):

- Generar ámbitos cooperativos, donde la sinergia establecida entre las estudiantes genere mayor motivación que los entornos individualistas y competitivos.
 - Que las estudiantes de cada equipo aprendan unas de otras. Cada estudiante cuenta con mayor ayuda que la que recibiría en un trabajo individual.
 - Promover la complejidad cognitiva y social mediante la interacción de las estudiantes, generando una mayor actividad intelectual que acrecienta el aprendizaje.
4. Se diseñó la socialización de la segunda visita, en la cual se presentó a las estudiantes un video editado por los autores, que mostró los principios de conservación, ya no en el museo, sino en experiencias cotidianas. A medida que se les mostraban los diferentes clips el vídeo, se les pedía explicar los fenómenos observados, con el fin de determinar si el modelo era viable según lo planteado por Halloun, en especial

si cumplía con los requisitos de corroboración empírica, coherencia y conformidad racional.

Por la relevancia que tiene en la investigación el componente relativo a los museos de cuarta generación como espacios propicios para la educación formal en física, se presentarán a continuación los detalles del proceso seguido en la preparación, ejecución y análisis de la información, de las actividades realizadas en el Parque Explora.

3.2. Primera visita al Parque Explora

3.2.1. Análisis de los datos obtenidos en el informe

Objetivos:

- Conocer el Parque Explora de la ciudad de Medellín, para establecer relaciones sinérgicas entre la educación formal y los museos de ciencia en el ámbito de la física.
- Identificar las opiniones y actitudes que tienen las estudiantes en lo referente a la relación museo-escuela.
- Reconocer en las experiencias interactivas del Parque Explora fenómenos físicos relacionados con el concepto de conservación.

Categorización

Previo a la visita al Parque Explora se realizaron en la Institución Educativa una serie de actividades con las que se introdujo el concepto general de conservación, esto es, no se enunciaron los grandes principios de conservación, sino una idea general de lo que se entiende en Física por conservación. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Lectura de un fragmento del texto “El carácter de la ley física” de Richard Feynman (1983).

- Actividad experimental de conservación.

Las estudiantes conocían con anterioridad las intenciones de la visita, pues una semana antes se les entregó la guía con los objetivos y las preguntas que debían responder después de la visita y entregar el informe.

A continuación, se expone cada pregunta seguida de su respectiva categorización. Se analizaron 34 informes, de un total de 38, presentados por las estudiantes. Las causas por las que no se consideraron los 4 informes restantes son: 2 estudiantes se retiraron de la Institución Educativa, por lo que no podrán asistir a la segunda visita, y los otros 2, por que después de la socialización las estudiantes los extraviaron. Adicionalmente, hay que anotar que una estudiante no presentó informe y otra no asistió al Parque Explora por que se encontraba ausente. Por lo tanto, se espera que para el análisis de la segunda visita, se disponga de 38 informes, que corresponde a la población actual de estudiantes.

Estas preguntas establecen la percepción y aceptación que tienen las estudiantes acerca del museo como centro de aprendizaje y la identificación del concepto de conservación en algunas experiencias interactivas exploradas.

1. En general, ¿Cuál crees que es el objetivo de las actividades propuestas por el museo? Las categorías que se identificaron en el análisis de la información obtenida fueron las siguientes:²

a) **Promover interés cognoscitivo por la ciencia:** “Se puede caracterizar el interés cognoscitivo como una actitud compleja del hombre hacia los objetos y fenómenos de la realidad que le rodea, actitud que refleja su tendencia a estudiarla multilateral y profundamente y conocer sus propiedades esenciales”³

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

²Se descartaron cinco respuestas a esta pregunta dado que las estudiantes escribieron de forma textual los objetivos que se encuentran en el sitio web del Parque Explora.

³Schukina, G. Los intereses cognoscitivos en los escolares

“... Como objetivo principal y más importante, pienso que es acercar a la gente y en especial a niños y jóvenes al mundo de la ciencia de una manera práctica y didáctica en la que también se pueden identificar teorías y conceptos, adquiridos previamente por cada persona. . .”

“... Me parece que el objetivo de las actividades del museo es que nos eduquemos de una manera más práctica y vivencial de las situaciones de cada una de las áreas: química, física y biología. . .”

“... Creo que podía ser adentrar a los niños, los jóvenes y adultos al mundo de la física, demostrar que es algo interesante y fácil. . .”

b) Generar nuevos espacios y métodos de aprendizaje:

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... Evidenciar que es posible establecer estrategias alternativas de aprendizaje, demostrando así que la ciencia no es ajena, de cierto modo a fenómenos cotidianos, es más, pretende explicarlos. . .”

“... Si no hay medios como este mediante los cuáles se puede aprender tanto, entonces seremos gente sin mente, es decir simples entes que se dejan manejar por cualquier tirano que se atraviese. . .”

“... Nos abre nuevos espacios de conocimiento y aprendizaje. . .”

“Prestar un espacio diferente divertido y atractivo, donde la persona pueda disfrutar, aprender, sorprenderse y recrearse en el campo de la ciencia.”

c) Relacionar la teoría con la práctica: Se reconoce que los dos espacios educativos (Museo Interactivo de Ciencia e Institución Educativa) son complementarios, que la teoría estudiada en la escuela, puede ser puesta en práctica en el parque explora y viceversa.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...Para los alumnos, pienso que el parque Explora colabora en el sentido de que ayuda a que los conceptos aprendidos en el aula de clase sean puestos en práctica, y para las demás personas permite que estas aprendan conocimientos nuevos a partir de la recreación y la mente activa...”

“Generar interés propio por la búsqueda de más fuentes teóricas para explicar fenómenos que nos hallan cautivado de forma especial.”

“... lo que intentan es mostrarnos de forma dinámica, hábil y experimentativa, lo que comúnmente los jóvenes (no se si todos) vemos teóricamente...”

“... se pueden identificar teoría y conceptos adquiridos previamente por cada persona.”

“... que se cree una mejor adquisición de conocimientos a través de la aplicación de experimentos.”

d) Divertir, interactuar y contextualizar: En esta categoría se incluyen los aspectos relacionados con la lúdica, la interactividad y la cotidianidad.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... mediante las interactividades ofrecidas Explora busca no solo que quienes van allí se diviertan sino también que se concienticen de fenómenos que ocurren en nuestra vida cotidiana pero a los cuales no les damos importancia...”

“Demostrar desde interacciones didácticas la conexión de las experiencias físicas con nuestro medio...”

“El objetivo que supongo tiene el Parque Explora con la sociedad es promover y estimular el aprendizaje y gusto por la ciencia en especial la Física, de manera lúdica, libre y práctica, interactuando y experimentando con fenómenos físicos y tecnología con la que compartimos a diario en nuestra cotidianidad.”

“Creo que el objetivo principal de las actividades propuestas por el museo es permitir que las estudiantes interactúen con diferentes experiencias, para así aprender divirtiéndose de una forma agradable.”

“Permitir la interacción con los objetos como fuente de mayor comprensión. Despertar interrogantes sobre lo que nos rodea (no sólo del museo)”

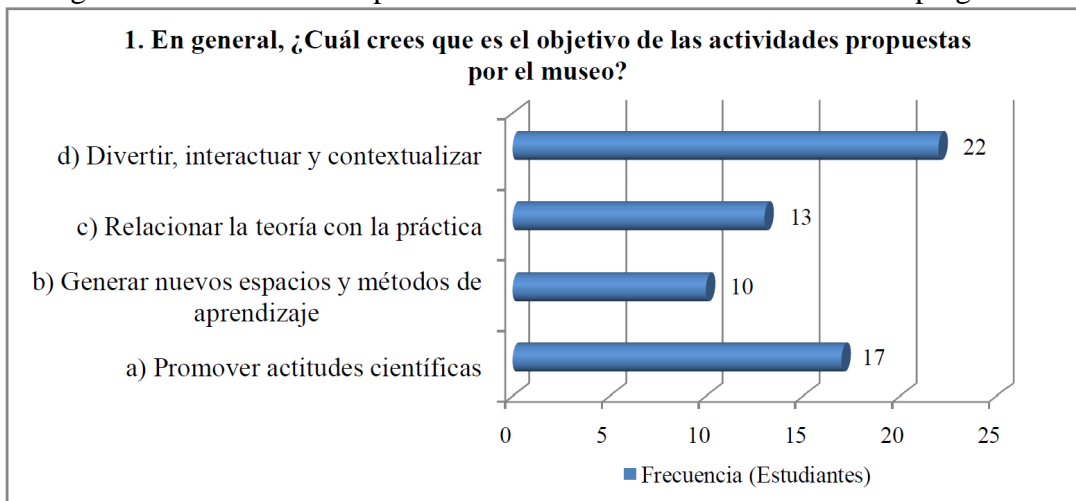
Es importante resaltar que algunas estudiantes establecieron un vínculo directo entre la Educación Formal y los Museos Interactivos de Ciencia y Tecnología, reflejadas en el apoyo a docentes e instituciones educativas.

“Con estas estrategias los profesores pueden llevar al conocimiento a sus alumnos de una manera más ágil y práctica de acuerdo a los últimos avances de la tecnología mundial”

“Ayudar al igual que las instituciones educativas para una buena labor educativa con recursos innovadores de excelente y alta tecnología.”

En el siguiente gráfico están consignados los datos categorizados de esta pregunta. La frecuencia de cada categoría indica el número de estudiantes cuya respuesta está relacionada explícitamente con la categoría enunciada.

Figura 3.3: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 1



2. ¿Qué diferencias y semejanzas puedes establecer entre el museo y el aula como espacios de aprendizaje?

Semejanzas: Se refiere a los aspectos comunes entre los museos interactivos de ciencia y las instituciones de educación formal. Esto se evidencia en la existencia de:⁴

a) **Conceptualización.** Tanto en la escuela como en el museo se introducen conceptos y se reflexiona sobre fenómenos que se presentan en la naturaleza, con el objetivo de lograr una formación integral en el área de Física.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... Ambos tienen el fin de educar a las personas de brindarles conocimientos acerca de diversas áreas aunque cada una lo hace a su manera pero el principal objetivo de ambas es la instrucción y/o la enseñanza. . .”

“... Ambos buscan hacer más conscientes a los individuos de las diversas cosas tan maravillosas que ocurren en nuestro entorno pero a las cuáles no les damos importancia o de las cuáles no nos percatamos. . .”

“La enseñanza requiere de ambos, porque se complementan perfectamente. Ejemplo: Para comprender la teoría es necesaria la práctica y para la práctica es necesario el estudio de la teoría, o sea que el conocimiento adquirido en el (aula) permite la comprensión de las experiencias (en el museo)”

b) **Mediadores (Guías-docentes)**

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... En el museo y el aula podemos preguntar y siempre nos van a aclarar dudas. . .”

⁴Se descartó una respuesta por falta de claridad en la redacción.

“... Un buen aprendizaje se obtiene de la combinación de teoría e interacción, y pienso que un museo como estos sería perfecto con una porción necesaria de un buen instructor, quien al mostrar las actividades, empape a sus alumnos de teoría, ya que no sólo nos podemos quedar con el museo, tendremos que aceptar que son igual de necesarias todas las metodologías que nos ofrece el aula, para ser alumnos y personas integrales en todo lo recibido...”

- c) **Experimentación.** En los dos espacios se verifican las teorías físicas, ya sea en los laboratorios de Física en la escuela, o las experiencias interactivas en el museo.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“En el aula, algunas veces tenemos ejemplos con los que podemos interactuar (como por ejemplo los del laboratorio de física) al igual que en el museo”

- d) **Recursos didácticos.** Es el material tangible, como material de apoyo, disponible en ambos espacios.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“Tanto el parque como el aula de clase cuentan con implementos apropiados para la explicación y fácil asimilación de los temas expuestos.”

“... existen algunos materiales con los que se puede trabajar en laboratorio, aunque en tamaños más reducidos.”

“Tanto el aula como el museo requieren de cierta organización para llevar a cabo el material de trabajo”

- e) **Comunicación interpersonal.** Entendida como “el vehículo que permite la interacción, la relación entre sujetos que comparten los imaginarios propios de la cultura en que se encuentran inmersos.” Mario Cano Vásquez. Asistente de la dirección de bienestar universitario de la Universidad de Antioquia.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“En ambos se genera tanto una interacción interpersonal como social, que permite la obtención de mayor conocimiento. Se generan trabajos en equipo que permiten mayor éxito en la actividad.”

... Participar en las actividades como: dando aportes, dando una breve explicación...”

... En los dos lugares el objetivo principal se centra en promover el aprendizaje entre los estudiantes...”

“... Se asemejan en cuánto a que ambos son espacios donde los alumnos, tienen conocimientos, o mejor dicho aprenden, sobre la física y el crecimiento de la vida, también son lugares en los que se pueden relacionar unos a otros compartiendo ideas y/o solucionando inquietudes...”

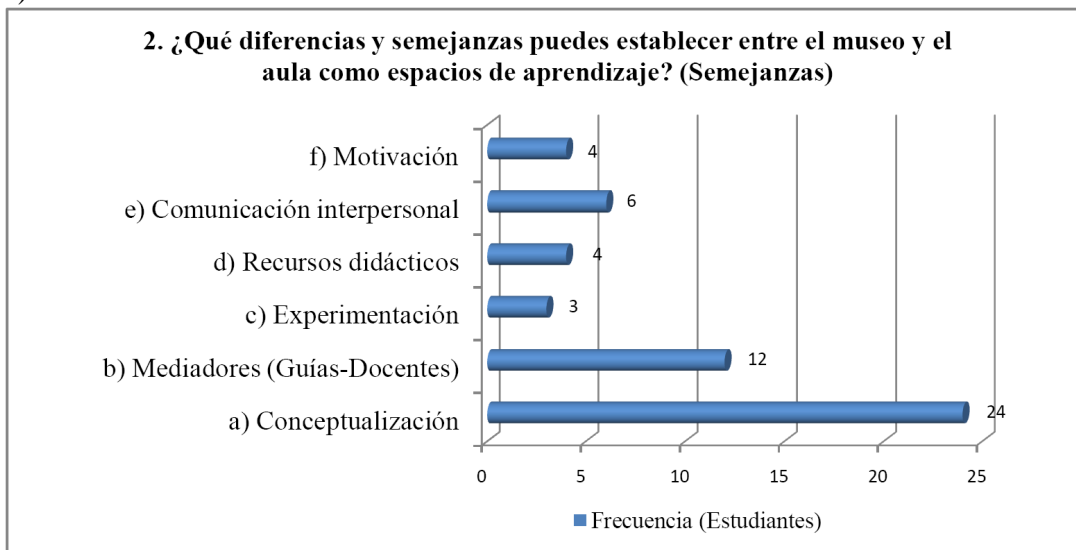
f) **Motivación.** Esta categoría es asumida en el sentido propuesto por los Doctores José Zilberstein Toruncha y Rolando Portela Falgueras ⁵ quienes afirma que: “El concepto de motivo, además de incluir el aspecto del objetivo que interesa al sujeto y sus propiedades estimulantes, contiene también el aspecto dinámico, de impulso para lograrlo. Así la motivación constituye un estímulo que mueve a los escolares hacia la búsqueda y obtención de los conocimientos que requieren para satisfacer las necesidades derivadas de los niveles de motivación alcanzados.” En adelante, cada vez que se haga alusión al término motivación, será considerado desde este enfoque.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“Buscan evitar el aburrimiento en el aprendizaje, a la vez que se crea una satisfacción en el conocimiento que se está adquiriendo”

⁵Una concepción desarrolladora de la motivación y el aprendizaje de las ciencias

Figura 3.4: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 2 (semejanzas)



Diferencias: Se refiere a aspectos que se dan en alguno de estos espacios de aprendizaje pero no en ambos, es decir, se trata de una disyunción exclusiva; manifestados en las siguientes categorías.

a) **Tipo de actividades.** Son los procesos metodológicos que se llevan a cabo en los espacios de aprendizaje.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...En el aula de clase tenemos que usar la imaginación...”

“...En el aula se logra a través de conceptos, principios y leyes; ilustrar o explicar como suceden o son posibles los fenómenos...”

“...En el aula son muy pocas cosas que hacemos "digo" por actividades y juegos, es como más teórico y más diferente a la del museo...”

“...En el salón se aprenden más conceptos teóricos, en el museo se y se identifican ... aplican...”

“... En el aula los estudiantes aprenden de una manera más conceptual, y en el museo los estudiantes aplican sus conceptos en práctica...”

b) Experimentación e interactividad. Son las actividades que se realizan en los laboratorios de física en la escuela o con las experiencias interactivas en el museo.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... El museo permite la interacción y participación directa de los estudiantes con los fenómenos físicos, acercándonos a un conocimiento real y práctico de estos...”

“... Se resaltan unas grandes diferencias en la manera de experimentación, no es tan buena en el aula a la que podemos realizar en cada sala, nos ofrece mayores juegos de aprendizaje lo cual hace que se torne un ambiente de mayor eficacia para manejar cada uno de los conceptos que se dan a conocer...”

“... En el aula de clase también se pueden poner claros ejemplos pero en un museo podemos manipular y comparar de una forma más clara...”

“... En el museo tenemos la oportunidad de experimentar por cuenta propia ciertos fenómenos físicos mientras que en el aula no...”

“... En el parque explora podemos tener un aprendizaje más libre, lúdico e interactivo; lo que en el aula debe ser reducido a un aprendizaje monótono, sin experiencias que amplíen nuestros conocimientos en forma lúdica e interactiva...”

c) Distribución espacial.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... En el parque explora se aprende divirtiéndose y observando diferentes experiencias en distintos lugares en cambio en el aula de clase se trabaja con

una persona que nos enseña de una forma menos práctica y con menos espacio disponible...”

d) Recursos⁶

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...En el aula se propone el aprendizaje a través de la interiorización de conceptos a partir de suposiciones y ejemplos...”

“...En el museo no hay ejemplos supositorios como muchas veces ocurre en el aula de clase. Todos o casi todos son expuestos y vivenciados por los aprendices...”

“...En explora el aprendizaje recibe a partir de las experiencias o vivencias que se tienen con las diversas interactividades que posee el museo por lo contrario en el aula se aprende escuchando las explicaciones del profesor...”

“...En un museo no se hacen ejemplos imaginarios o supositorios sino que son más vivenciales...”

e) Comunicación interpersonal.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...El museo es un lugar más didáctico y abierto de manera que los estudiantes puedan responder activamente a todas las actividades propuestas...”

“...El aula es un lugar muy cerrado y en muchos casos los alumnos se niegan al conocimiento porque no le ven sentido o no disfrutan de este...”

f) Disposición.

⁶Entre los recursos se tiene en cuenta lo que las estudiantes entienden situación hipotética. Ejemplo de ello son los experimentos mentales propuestos por Albert Einstein cuando propuso la teoría de la relatividad especial.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“El museo es un lugar más didáctico y abierto de manera que los estudiantes puedan responder activamente a todas las actividades propuestas”

“Algunas de las alumnas no ponen de su parte para obtener un mayor aprendizaje.”

“En un “parque” podemos interactuar con las experiencias a gusto, en un salón de clase nos vemos de alguna forma sometidas al tema.”

“El museo es más didáctico y capta más fácilmente la atención de los estudiantes.”

“El aula es un lugar muy cerrado y en muchos casos los alumnos se niegan al conocimiento por que no le ven sentido o no disfrutan de este.”

- g) **Evaluación de aprendizajes.** Que consiste en “investigar cómo mejorar el producto y el proceso de aprendizaje”... “esto significa que la evaluación no es una meta ni tampoco algo independiente y ajeno al proceso educativo, ni un momento de la labor docente, sino un elemento dinamizador y retroinformador de la acción educativa en todos sus aspectos.”⁷

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“El seguimiento al alumnado es más (mucho más) constante en el aula que en el parque-museo...”

“...Por otro lado en el aula de clase todos marchan a la par porque se piensa como grupo...”

“...En el aula los conocimientos se transmiten de profesor a estudiante, estableciendo una relación académica regida por algunas normas de comporta-

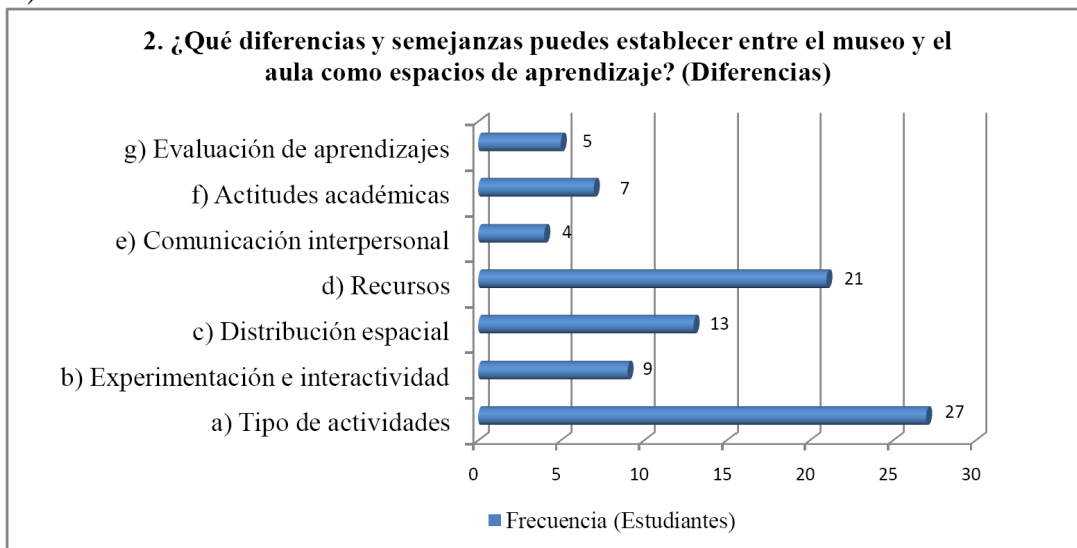
⁷Iafrancesco, Giovanni. La evaluación de los aprendizajes en la educación colombiana

miento necesarias en un ambiente como éste, que califica los aprendizajes con métodos serios y específicos. . .”

Otra categoría que surgió en esta pregunta es **Disposición temporal**. Aunque sólo dos estudiantes hicieron alusión a esto en el informe, nos parece importante resaltarlo, pues durante la visita muchas estudiantes lo manifestaron, lo cual se evidencia en los llamados reiterados que se hicieron, cuando se pretendía cambiar de actividad.

“... Muchas veces no le dan el tiempo suficiente para terminar diferentes actividades...”

Figura 3.5: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 2 (diferencias)



3. ¿De qué manera aportan las experiencias del museo a tu proceso de formación académica en el área de física?

Las categorías identificadas son:

a) Motivación:

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“Las experiencias del museo del parque explora, fuera de ser muy didácticas activan la mente y el cuerpo trabajando de manera conjunta. . .”

“...No solo yo, si no el resto de las estudiantes complementan su trabajo y disfrutan el saber, y al mismo tiempo coordinamos una serie de procesos que sostenibles en experiencias propias, se argumentan elocuentemente y válidamente en el campo de la física y en muchas otras aplicabilidades. . .”

“...En las actividades establecidas en el parque son un poco más fáciles de entender, aprender y practicar los fenómenos y tecnologías de una ciencia tan cercana a nosotros como lo es la física; ya que se aprende jugando, disfrutando, descubriendo y adquiriendo nuevos conocimientos (que en su mayoría son previos). . .”

- b) **Nuevos conceptos.** Algunas de las experiencias interactivas del museo aportan conceptos que las estudiantes desconocían hasta ese momento, los cuales se pueden retomar o no en el aula.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...Las experiencias del museo ayudan bastante en el área de física porque con las demostraciones de la física uno aprende más y adquiere un conocimiento que después el aula de clase se lleva y se practica por medio de ejercicios. . .”

“...En la forma como aprendemos cada principio, la manera como nos explican cada experimento y cada una de esas explicaciones son de demasiada importancia a la hora de estar en la clase de física, ya que cada uno de los experimentos y oportunidades que nos brinda el parque explora para fomentar el aprendizaje son tratados en clase y por medio de todas estas bases que son más didácticas se nos hace más fácil aprender a la hora de una explicación más teórica. . .”

“...Estos nuevos conocimientos pueden ayudarnos como estudiantes a comprender de una manera más fácil los temas a exponer en el aula de clase, teniendo así la oportunidad de acceder a información nueva y más profundizada. . .”

c) **Interactividad.**

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...La teoría se vuelve mucho más fácil porque fue demostrada en forma de 3D y uno puede participar en ellas sintiendo sensaciones como de adrenalina cuando estamos cerca de un objeto que pensamos que nos va a golpear como la del péndulo o cuando experimentamos la inercia rotacional, pero es muy bueno porque así se le graban más los conceptos de la física y el de porque suceden, los cambios o transformaciones. . .”

“...Aportan de una forma grandísima ya que en esta experiencia hemos entendido más cosas, ya que podemos interactuar; teníamos una teoría y debíamos imaginar las cosas en nuestra mente pero, en el parque pudimos experimentar con ellas, por ejemplo con el péndulo, sus oscilaciones, etc; la energía que fue presentada en diferentes fases, fuerzas que nos permitieron experimentar que no es un simple concepto, si no es la interacción de dos cuerpos. . .”

“Estas actividades elevan mi coeficiente intelectual y ayudan a que el aprendizaje sea menos complicado y más interactivo. . .”

“...Me brinda un acercamiento muy completo con experiencias interactivas complementando las bases teóricas que se adquieren en el aula. . .”

d) **Profundización de los conceptos estudiados en clase.** Los conceptos estudiados en el aula son identificados y afianzados con las experiencias interactivas del museo.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... En conclusión, yo aprendo e interiorizo más a partir de las vivencias y lo concreto...”

“... Ayuda mucho ya que las teorías se encuentran complementadas con las experiencias y esto favorece el aprendizaje en todo sentido, además los conceptos son aclarados más fácilmente y se pueden relacionar entre sí...”

“... De lo simple a lo complejo, un rico inventario de experiencias vinculadas a la cotidianidad para reconocer la física como una ciencia cercana a todos. De lo cuál la mayoría se pudo poner en práctica en base a lo visto en el aula de clases...”

“... Además me brindó el espacio apropiado para la efectiva comprobación de teorías previamente aprendidas...”

“... Cada una de estas experiencias ilustra procesos que ayudan a que en mi mente se genere una idea de toda la base teórica que tengo almacenada, así si tenía alguna duda o inconformidad con el trabajo realizado en el aula en el museo con estas experiencias resuelven algunas imperfecciones e ideas confusas que aún no me quedaban claras...”

“... Ayuda a comprender de una manera más clara, precisa y específica por medio de experimentos y experiencias vividas, los temas ya vistos durante un proceso académico y de aprendizaje en el aula de clase...”

“... También contribuye a la aclaración de conceptos básicos a partir de la práctica...”

“... Estas (experiencias en el museo) también agudizan la observación, la atención, el oído, en las situaciones de física, ayudan a desarrollar el pensamiento, a analizar un caso específico, lo cuál es crucial en la materia...”

“... Me ayudan a concretar las bases teóricas que me brinda el área de física porque lo puedo vivenciar activamente...”

e) **Cotidianidad.** Las experiencias interactivas acercan a las estudiantes a la explicación científica de fenómenos físicos que se presentan habitualmente en el contexto.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...Las experiencias vividas dentro del museo me permite evidenciar la validez de los conceptos aprendidos teóricamente dentro de un sistema físico real, tangible y con el que además puedo interactuar y de esta manera establecer redes entre los conceptos, y las vivencias de esos conceptos de forma más clara lo que supedita un aprendizaje mayor. . .”

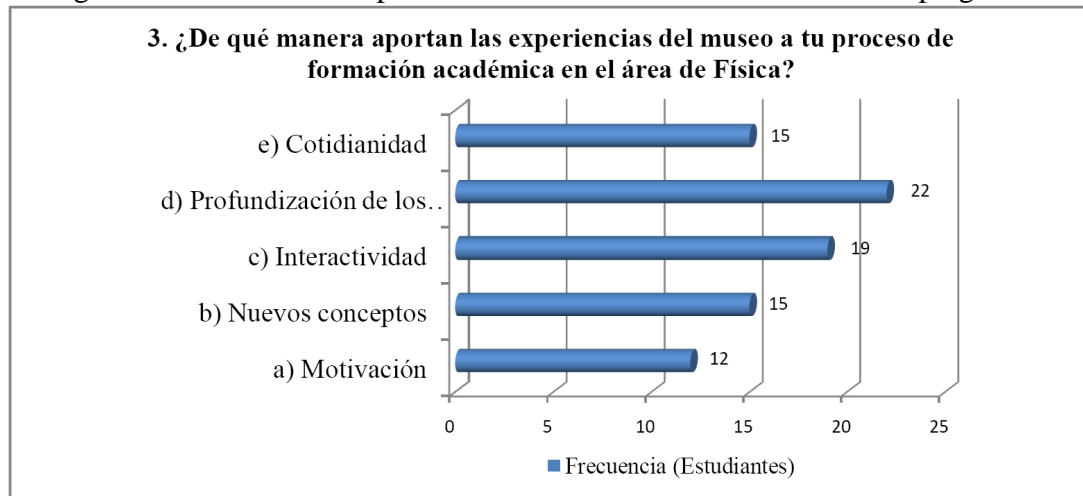
“...Y generó en mí, la capacidad de visualizar la física como una ciencia de gran aplicabilidad en la vida diaria, experiencias que vivimos constantemente pero no somos conscientes de ellas. . .”

“...La manera en que estas experiencias aportan a mi proceso de formación académica es en una mejorada y más conceptualizada visualización de los procesos que suceden constantemente a mi alrededor sin que yo me percate. . .”

“...Lo mejor es que el parque en vivencias cotidianas se basa para mostrarnos que en cada cosa que realizamos de una u otra manera la física ésta presente ligada siempre al comportamiento del hombre. . .”

“...Ayuda a relacionar los conceptos con el contexto. . .”

Figura 3.6: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 3



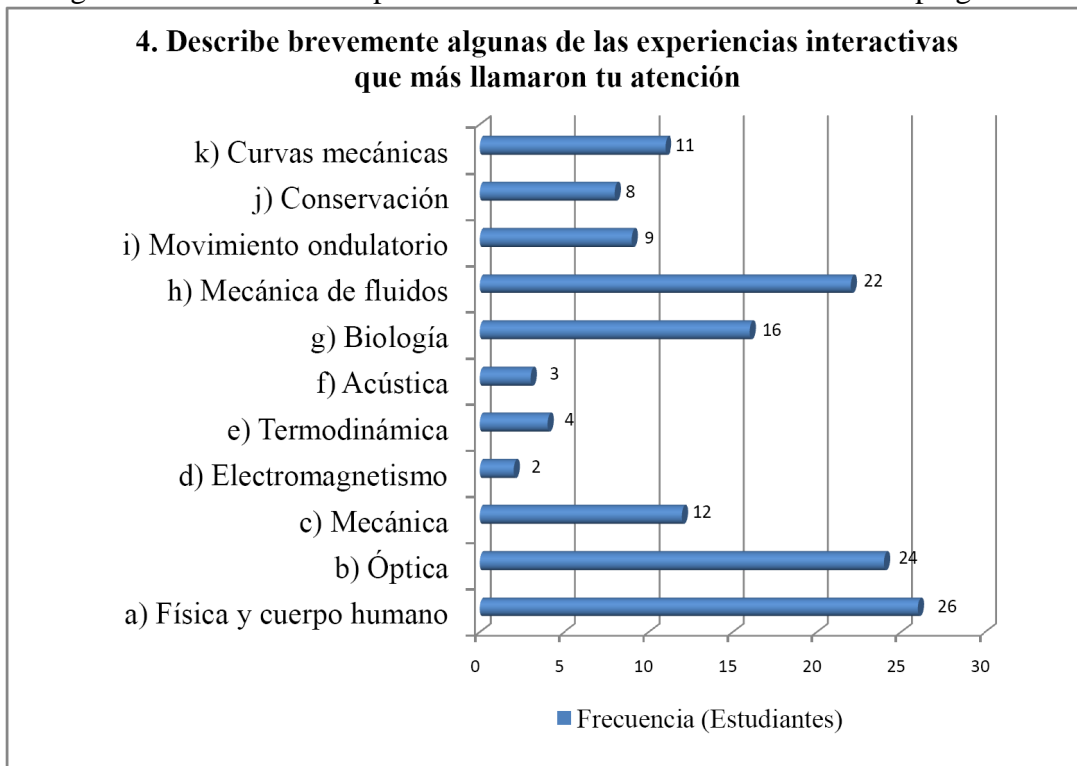
4. Describe brevemente algunas de las experiencias interactivas que más llamaron tu atención.

Las experiencias interactivas que más llamaron la atención de las estudiantes están agrupadas por áreas temáticas seguidas de aquellas que pertenecen a dicha área, con su respectiva frecuencia:

- a) **Física y cuerpo humano.** Mide tu fuerza (4), salta (4), Tirando de la cuerda (4), Corre por tu vida (5), Cuerpo sensación y movimiento (2), Flexibilidad (1), Resistencia del cabello (1), Centro de masa (2), Muro de escalar (1), La fuerza de los pulmones (2).
- b) **Óptica.** Tambor óptico (14), Más allá de lo evidente (1), Caras se ven (2), Ilusiones ópticas (1), Colores básicos (4), Con los ojos de otro (2).
- c) **Mecánica.** Lanzamiento parabólico con bolas (2), Palanca gigante (4), Equilibrio de masa (2), Centrífuga de bolas (4).
- d) **Electromagnetismo.** Lámparas de plasma (2).
- e) **Termodinámica.** Ilusiones al tacto (4).
- f) **Acústica.** Viendo con el sonido (3).

- g) **Biología.** Movimiento de peces (7), Trama de la vida (5), Siguiendo la luz (1), Habitación con lupa (1), El ADN (1), Ancestros antioqueños (1).
- h) **Mecánica de fluidos.** Tornillo arquimediano (8), Pelotas flotantes (3), Centrifuga de agua (7), Como pez en el agua (2), Tiro parabólico (2).
- i) **Movimiento ondulatorio.** Bicicleta y ondas (3), Ondas ascendentes (4), Resorte de ondas (2).
- j) **Conservación.** Colisiones elásticas (2), Péndulo golpeante (3), Inercia rotacional (2), Giróscopo descolgado (1).
- k) **Curvas mecánicas.** Lissajous (3), El foco de la parábola (4), Catenaria (1), Fractales (3).

Figura 3.7: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 4



5. ¿Qué fue lo que más te impactó de dichas experiencias interactivas?

Lo que más impactó a las estudiantes de las actividades descritas fue:

a) **Simplicidad.** Las experiencias interactivas del museo son sencillas en dos aspectos a saber: su construcción y las explicaciones que se hacen de ellas.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“Lo que más me impactó es que por simple que fuera el experimento tenía su explicación de una forma muy certera. . .”

“... Que todas son muy creativas e innovadoras y es fácil de entender lo que nos quieren decir porqué podemos interactuar con estos fenómenos y lo más importante que llaman mucho la atención y hacen de la física un aprendizaje más lúdico y divertido a la vez. . .”

“Lo que más me impactó como de una manera tan simple y práctica uno adquiere determinados conocimientos”

b) **Percepción sensorial.**⁸

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... Cuarto oscuro: Me impactó porque el murciélago se guía por los sonidos. Y el ser humano puede perderse en un pequeño cuarto por no tener tan desarrollado el sentido de la audición. . .”

“... La visión y el equilibrio: Una está ligada ampliamente de la otra ya que nuestros ojos al percibir movimiento manda ordenes al cerebro de ejercer movimientos para impedir caerse, pero esto simplemente hacen perder el equilibrio pues, solamente son luces en movimiento. . .”

“... Ilusiones al tacto: La mano que se sentía más caliente estaba ganando energía y la que se percibía fría la estaba perdiendo al colocar nuestras manos en el otro objeto a temperatura ambiente, la mano caliente se sentía fría porque

⁸En general todos los sentidos se encuentran presentes en los informes de las estudiantes, a excepción del gusto.

estaba perdiendo su energía y la fría se sentía caliente ya que estaba intentando normalizar su energía. . .”

“...De los espejos me impacta lo que reflejan estos espejos con diferentes formas, el reflejo muestra un cuerpo mucho más pequeño, o con más peso, o muy largo. . .”

“...Me impacta como uno inmediatamente percibe el olor de estas sustancias sin necesidad de saber que son. . .”

“...La verdad la que más me impactó fue cómo reacciona tu cuerpo, tu cerebro y tu mente ante las diferentes actividades del parque. . .”

“... Todos los experimentos tenían características que los hacían muy interesantes, me impactó mucho la forma de captar la atención de las compañeras, pues la mayoría de ellas fijaban la mirada en cada experimento mientras se llevaban a cabo. Estos experimentos estimulan totalmente los sentidos, especialmente porque ponen a pensar a los que asistimos al parque acerca del porqué de su funcionamiento. . .”

c) **Relación con conceptos.**

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“...Lo que más me impactó de dichas experiencias es que todas y cada una de ellas son interacciones que normalmente realizamos en la vida diaria. Pero pocas veces asociamos con fenómenos físicos. . .”

“... Otro aspecto que me llamó la atención de estas experiencias era su sencilla estructura y lo bien que lustran un proceso, además de que no se necesitan palabras para entender lo que estas experiencias nos quieren decir. . .”

“...Los ejercicios fueron muy realistas y muy dinámicos, me parece que estuvieron muy bien elaborados porque poseen la combinación de ciertos elementos que los hacen muy interesantes porque en realidad es difícil mezclar

elementos como la diversión y el aprendizaje y más hoy en día cuando muchas personas han perdido el amor por el conocimiento. . .”

“... Lo que más me impactó es que por simple que fuera el experimento, tenía su explicación de una forma muy certera y algunas hasta con fórmula matemática. . .”

d) Interactividad.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

“... Me impactó la forma tan divertida en que mostraban o transmitían un conocimiento, enseñando formas, movimientos, lugares, teorías que muchas veces ignoramos que existen. . .”

“... El poder vivenciar, el involucrarse con cada actividad interactiva de una manera tan divertida y tan enriquecedora. . .”

“... Los ejercicios en sí porque son demasiado creativos y se relaciona mucho con lo cotidiano y el hecho de practicarlos nos ayuda a descubrir muchas cosas de nosotros mismos y de nuestros propios cuerpos. . .”

“... En serio la física puede explicar, al menos cuantitativamente todos los fenómenos ocurridos, es impresionante ver en un sistema la elocuencia de lo planteado, porque siempre concebimos esto de forma muy ajena, y al interactuar directamente y de manera consciente hay más aprendizaje. . .”

“... La realidad parece, entonces algo que sólo existe porque así lo podemos percibir por nuestros sentidos, y muchas veces (como en física viva) el cerebro juega con nosotros, y eso también lo pueden explicar. . .”

e) Cotidianidad.

Esta categoría se ve representada en las siguientes citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes:

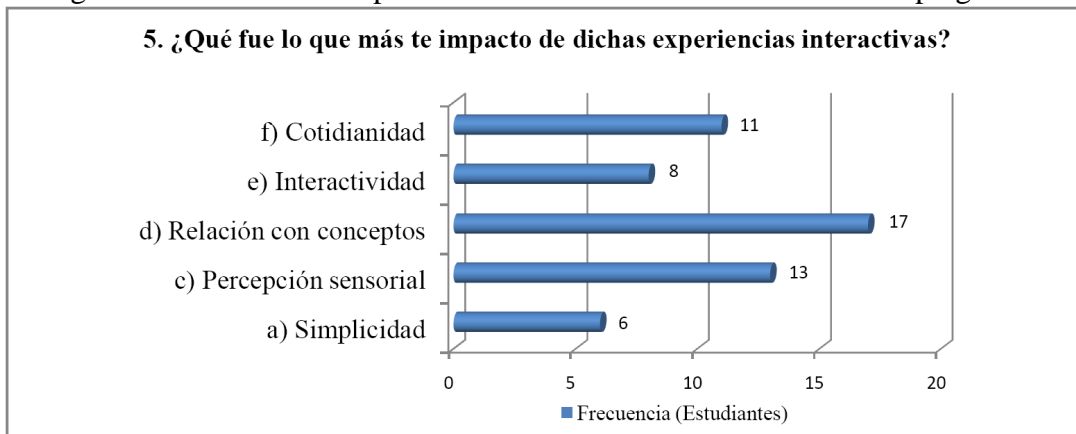
“... También me sorprendió la participación en todos los experimentos, la observación y los análisis que podíamos inferir desde cosas muy simples y cotidianas...”

“... Lo que mas me impactó es que no es necesario tener las "grandes maquinas" para explicar y comprobar experiencias que se viven cotidianamente...”

“... Pudimos observar que existen muchas actividades que se desarrollan en nuestro entorno que poseen explicaciones físicas importantes y que muchas veces las dejamos pasar por alto...”

“... De la pecera me enriqueció el hecho de aprender cómo podía actuar la inercia en un movimiento circular y en este punto de vista. Especialmente la hacer que el agua se corriera a las paredes. Lo mismo ha de ocurrir en atracciones mecánicas de un parque de diversiones...”

Figura 3.8: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 5



6. ¿Identificas fenómenos relacionados con el concepto de conservación en algunas experiencias interactivas del museo?

Las experiencias interactivas descritas por las estudiantes relacionadas con los principios de conservación, son las siguientes:

a) **Péndulo golpeante.**

b) Colisiones elásticas.

“...Si, la conservación de energía en la interacción de las colisiones en donde se evidencia la energía potencial y la energía cinética, en donde la energía no se crea ni se destruye solo se transforma en calor, en fricción y en sonora para luego volver a su estado de reposo...”

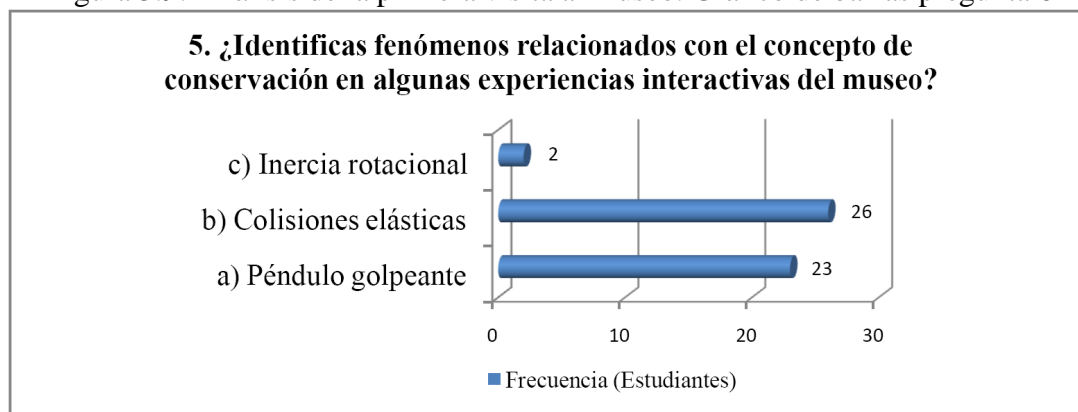
“...Si, la cuna de Newton ya que en ésta experiencia se conserva el mismo movimiento y la energía los cuáles yo imprimo en la primera esfera se ven reflejadas en la última, por ende en éste experimento podemos observar una conservación...”

c) Inercia rotacional.

Además de estas, hubo respuestas en las que se mencionan experiencias relacionadas con el concepto de conservación en general, como: Fractales, Movimiento parabólico, péndulo pesado, Lissajous, Cinematógrafo, Movimiento de peces, Plato giratorio.

Otras respuestas de gran frecuencia, hacían alusión a las centrifugadoras. Sin embargo, no hay claridad en las argumentaciones de las estudiantes, referentes a lo que se conserva en dichas experiencias.

Figura 3.9: Análisis de la primera visita al museo. Gráfico de barras pregunta 6



3.3. Segunda visita al Parque Explora

3.3.1. Diseño de la visita

Objetivos:

- Ilustrar los principios de conservación del momentum lineal, momentum angular y energía mecánica, mediante algunas experiencias interactivas disponibles en el Parque Explora, para profundizar lo estudiado en el aula de clase.
- Contrastar las experiencias de las estudiantes en el caso de una visita estructurada hacia un concepto específico, frente a una visita de exploración libre.

Distribución espacio-temporal

Las 38 estudiantes se distribuyeron en equipos de tres integrantes. Luego se dividieron en tres grupos: dos de 13 integrantes y uno de 12, de forma tal que en cada uno estuviera presente un representante de los tríos. Cada uno de los autores tuvo a su cargo uno de estos grupos durante la ruta de conservación. Esto se hizo con el fin de que cada equipo tuviera aportes de cada uno de los autores y al final se pudiera triangular la información en la redacción del informe grupal. Por otra parte, esto permitió que el recorrido fuera más personalizado y dinámico.

Se incluyeron en el recorrido 4 experiencias interactivas ubicadas en la sala abierta del Parque Explora a saber: Colisiones elásticas, Inercia rotacional, Péndulo golpeante y Giróscopo de equilibrio. Tales experiencias fueron elegidas por que constituyen modelos físicos pertenecientes a la clase de referencia de los modelos conceptuales de los principios de conservación. El recorrido total tuvo una duración de 3 horas, dos destinadas a la ruta de conservación y distribuidas así:

- Colisiones elásticas (40 minutos)
- Inercia rotacional y Péndulo golpeante (40 minutos)

- Giróscopo de equilibrio (40 minutos)

Aspectos a considerar en cada experiencia

Los autores se encargaron de generar una discusión en torno a los items propuestos para cada una de las experiencias interactivas. Se buscó con esto que los estudiantes reflexionaran frente a lo estudiado en el aula de clase, relacionando los modelos conceptuales teóricos (los abordados en el aula), con los propuestos por el museo (las experiencias interactivas) y fueran capaces de plantear explicaciones físicas de los fenómenos observados en las experiencias interactivas, así como de las aplicaciones que puedan tener⁹.

1. **Colisiones elásticas y Giróscopo descolgado:** En esta experiencia interactiva se abordará lo concerniente a la conservación del momentum lineal y del momentum angular. Inicialmente se motivará a las estudiantes mediante preguntas problematizadoras, para que construyan explicaciones científicas de los fenómenos físicos observados en la experiencia y posteriormente, situaciones cotidianas. Se sugiere la siguiente situación: ¿Por qué cuando se dispara un rifle, éste sufre un retroceso? ¿Por qué la velocidad de retroceso es menor que la de la bala? ¿Por qué es más fácil mantener el equilibrio sobre un bicicleta en movimiento que sobre una en reposo?

Las siguientes preguntas permiten acercar a las estudiantes a la explicación física de la situación planteada, considerando aspectos como la influencia de la masa y la altura, la velocidad de las esferas antes y después de la colisión, la velocidad angular del giróscopo la conservación de la energía mecánica, del momentum lineal y del momentum angular.

a) Colisiones elásticas

⁹Durante todo el recorrido, fueron las estudiantes las únicas que interactuaron con las experiencias del museo, es decir, el guía-docente guió el proceso y las estudiantes experimentaron para dar respuesta a las situaciones planteadas

- Analiza que sucede al variar el número de esferas que se dejan caer libremente.
- ¿Qué efecto tiene la masa en la velocidad de la esfera que se deja caer en el momento de la colisión con las otras? ¿Cómo se puede determinar dicha velocidad?
- ¿Qué sucederá en el caso que se triplique únicamente la masa de la esfera que se deja caer?
- ¿Cómo verificarías si el momentum lineal se conserva después de la colisión?
- ¿Que pasaría si se sueltan simultáneamente dos esferas desde extremos opuestos y desde la misma altura?
- ¿Qué sucedería si tuviéramos una experiencia con tres esferas tal que la central tuviera una masa diez veces mayor que cada una de las otras dos?
- Si la masa de todas las esferas son iguales y al soltar una de ellas se levantan dos después de la colisión, ¿Se puede afirmar que la Ley de conservación del momentum lineal no se cumple? Explique su respuesta.

b) Giróscopo descolgado

- Coloca el giróscopo en posición vertical, suéltalo y observa lo que sucede.
- Repite el proceso, pero antes de soltar el giróscopo hazlo girar y determina la dirección y sentido del momentum angular de la rueda respecto al eje de giro.
- ¿Por qué no se cae la rueda cuando gira rápidamente?

2. **Giróscopo de equilibrio:** En esta experiencia interactiva se abordará lo concerniente a la conservación del momentum angular. Se motivará a las estudiantes con la siguiente pregunta problematizadora, para que construyan explicaciones científicas de los fenómenos físicos observados en la experiencia y posteriormente, situaciones cotidianas. Se sugiere la siguiente situación: ¿Por qué puede un motocrossista

cambiar la dirección de su movimiento cuando se encuentra en el aire, al girar el manubrio de la motocicleta?

Las siguientes preguntas permiten acercar a las estudiantes a la explicación física de la situación planteada, considerando aspectos como: la influencia de la masa, la velocidad angular y el sentido de giro, magnitudes vectoriales, la ley de conservación del momentum angular.

- Si se hace girar únicamente la rueda del giróscopo, determina la dirección y sentido del vector momentum angular, respecto al eje de la rueda.
- Si se hace girar únicamente la plataforma del giróscopo, ¿Cuál es la dirección y sentido del vector momentum angular respecto a su punto de apoyo?
- Coloca la rueda del giróscopo de forma horizontal y hazla girar. Determina la dirección y sentido del momentum angular del sistema en ese momento.
- Gira el manubrio 180° y determina la dirección y sentido del momentum angular de la rueda respecto a su eje y del sistema general respecto a su punto de apoyo. Compara las direcciones y sentidos de estos vectores.
- Realiza el mismo proceso, variando la velocidad angular de la rueda del giróscopo.
- ¿Qué cambios en el sistema observas?
- Coloca la rueda del giróscopo en posición vertical y hazla girar. Determina la dirección y sentido del momentum angular del sistema en ese momento.
- Gira el manubrio un poco y determina la dirección y sentido del momentum angular de la rueda respecto a su eje y del sistema general respecto a su punto de apoyo.

3. **Inercia rotacional y Péndulo golpeante:** En estas experiencias interactivas se abordará lo concerniente a la conservación del momentum angular y de la energía mecánica. Inicialmente se motivará a las estudiantes mediante preguntas problema-

tizadoras, para que construyan explicaciones científicas de los fenómenos físicos observados en la experiencia y posteriormente, situaciones cotidianas. Se sugieren las siguientes situaciones: ¿Por qué la velocidad angular de una patinadora aumenta cuando acerca sus manos y pies a su cuerpo y disminuye cuando los estira? Si se suelta un carro de montaña rusa hacia un rizo, ¿Qué condición debe satisfacerse para que el carro efectúe el giro completo?

Las siguientes preguntas permiten acercar a las estudiantes a la explicación física de la situación planteada, considerando aspectos como la influencia de la masa y la altura, la velocidad de las esferas antes y después de la colisión, la conservación de la energía mecánica y del momentum lineal.

a) Péndulo golpeante

- ¿Por qué el péndulo no golpea la cara de la estudiante cuando realiza una oscilación completa?
- ¿Qué sucedería si se eliminara el rozamiento debido al aire?
- ¿Cómo hallarías la energía potencial y cinética del péndulo en una posición dada?
- ¿Se cumple el principio de conservación de la energía mecánica?
- Si al soltar el péndulo se le imprime un impulso inicial, ¿Es posible que al realizar una oscilación completa el péndulo golpee a la estudiante?

b) Inercia rotacional

- Determina de la dirección y sentido del vector momentum angular, según el sentido de rotación de la plataforma.
- ¿Qué sucede cuando te acercas y alejas del eje de giro de la plataforma?
¿Cómo puedes explicar esto?
- Si pudieras caminar alrededor de la plataforma mientras esta gira, ¿Qué cambios se observarían?

- Si las dimensiones de la plataforma fueran suficientemente grandes y caminaras desde la parte externa hacia el centro, ¿Qué cambios se observarían?

Preguntas del informe

1. ¿Qué diferencias y semejanzas estableces entre las dos visitas hechas al Parque Explora?

Posibles categorías:

- Tipo de recorrido.
 - Tiempo invertido en cada experiencia interactiva.
 - Acompañamiento del docente.
 - Diversión.
2. ¿Cómo relacionas las experiencias vividas en esta segunda visita, con lo estudiado en el aula de clase, referente a los principios de conservación? Justifica tu respuesta con algunos ejemplos donde se evidencie dicha relación.

Posibles categorías:

- no relacionados
 - entendimiento
 - Profundización
 - Verificación
 - Ilustración
3. ¿Cuáles fueron los principios de conservación que mejor entendiste después de interactuar con las experiencias del Parque Explora?

Posibles categorías:

- Conservación de la energía.
- Conservación del momentum lineal.
- Conservación del momentum angular.

3.3.2. Análisis de los datos obtenidos en el informe

Categorización

Durante el periodo de práctica se realizaron diversas actividades tendientes a introducir los tres principios clásicos de conservación en mecánica, esto es, La ley de conservación de la energía mecánica, la ley de conservación del momentum lineal y la ley de conservación del momentum angular.

Las 37 estudiantes se distribuyeron en once equipos de tres integrantes y uno de cuatro, cada uno de los cuales presentó un informe. A continuación, se expone cada pregunta seguida de su respectiva categorización.

1. ¿Qué diferencias y semejanzas estableces entre las dos visitas hechas al Parque Explora? Las categorías que se identificaron en el análisis de la información obtenida fueron las siguientes:

Semejanzas: Se refiere a los aspectos comunes que las estudiantes reconocieron respecto a las dos visitas realizadas al Parque Explora. Esto se evidencia en la existencia de:

- a) **Estudio de principios de conservación:** Esta categoría hace referencia al hecho de que en ambas visitas hubo experiencias interactivas comunes (péndulo golpeante, inercia rotacional, giróscopo descolgado, colisiones elásticas y giróscopo de equilibrio), relacionadas con los principios de conservación:

“Otra semejanza es que en las dos visitas se vio los principios de conservación.”

“En ambas se trató de una u otra manera el tema de la conservación.”

“En ambas visitas estudiamos el concepto de conservación, encontrados en la sala abierta.”

“Las experiencias de la segunda visita ya las habíamos visto en la primera.”

b) **Interactividad y diversión:** Esta categoría indica que las estudiantes interactuaron con las experiencias del parque y se divirtieron mientras hacían el recorrido. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“Se aprendió a partir de experiencias interactivas.”

“Ambas visitas tuvieron similitud en cuanto al entretenimiento. Todas tuvimos la posibilidad de experimentar con las experiencias presentadas en ambas visitas.”

“En ambas visitas interactuamos con algunas experiencias del Parque Explora.”

c) **Guías-docentes:** En esta categoría las estudiantes hacen alusión a la presencia de mediadores durante el recorrido (exploradores y docentes en la primera visita y docentes en la segunda visita). Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“Estábamos orientadas por personas que tenían el conocimiento necesario.”

“En sendas visitas hubo personas que sirvieron como guías explicativos de las experiencias que íbamos visitando.”

“Los profesores están pendientes de nuestras dudas para encargarse de resolverlas.”

d) **Relación museo-escuela:** Esta categoría se refiere al reconocimiento por parte de las estudiantes de la complementariedad entre la teoría estudiada en la institución educativa y las experiencias interactivas del Parque Explora. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“El fin de la visita era asociar los conceptos vistos en clase con la práctica.”

“En ambas se cumple el objetivo del aprendizaje por medios lúdicos; logrando una comprensión más completa de los conceptos teóricos trabajados en el aula de clase.”

e) **Informes y socialización:** Esta categoría hace alusión al hecho de que las estudiantes presentaron un informe escrito posterior a la visita y se socializaron los aspectos más relevantes de lo sucedido en cada una de ellas. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

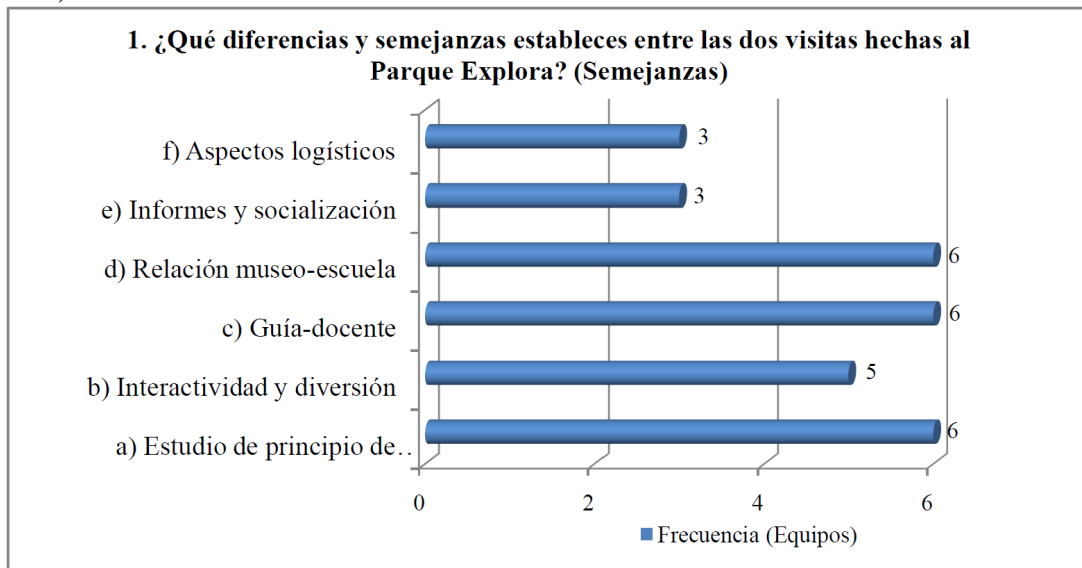
“En ambas visitas se realizó una actividad complementaria tipo informe para evaluar nuestra interiorización de los conceptos desarrollados durante la visita.”

f) **Aspectos logísticos:** Esta categoría hace referencia a que las dos visitas al parque explora fueron planeadas y organizadas según los objetivos propuestos en cada una de ellas. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“En ambas visitas se tuvieron ideas básicas para poder efectuar la práctica.”

“Tuvimos preparación previa a la visita.”

Figura 3.10: Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 1 (similitudes)



Diferencias: Se refiere a aspectos que se dieron en una de las visitas pero no en ambos, es decir, se trata de una disyunción exclusiva; manifestados en las siguientes categorías.

a) **Especificidad del tema:** Esta categoría hace referencia a que los temas tratados en la segunda visita estaban relacionados exclusivamente con los principios de conservación en mecánica, mientras que la primera fue de índole más libre. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“En la primera visita se hicieron introducciones sobre cada una de las experiencias que hay en el Parque, mientras que en la segunda solo se explican cinco experiencias con una profundidad mayor haciendo las explicaciones de lo que sucedía y el por qué. La segunda visita fue para explicar puntos claros y exactos, mientras que en la primera fue para conocer todo y dar mayor confianza. La segunda visita fueron tocados varios temas, por lo contrario en la segunda visita solo visitamos las experiencias acerca de conservación.”

“En la primera visita entramos a tres salas la uno, la dos y la sala libre; en las que interactuamos con actividades donde no todas estaban relacionadas con el proceso académico de la formación en el área de la física. En la segunda visita observamos cuatro interacciones relacionadas con nuestro proceso de formación académica de la física, en cambio en la primera visita interactuamos con muchas actividades.”

“En la primera visitamos la sala abierta de una manera muy general, vimos todas las experiencias de manera muy superficial. En la segunda visita profundizamos en ciertas experiencias de la sala abierta, relacionadas con los conceptos vistos en clase de momentum angular, momentum lineal y energía mecánica.”

“En la primera visita, se hizo un recorrido general en cada una de las experiencias, las cuales no estaban guiadas. Allí no se profundizó en el ¿Por qué? Ni se resolvieron las dudas que surgían al momento de la interacción, todo esto ya que el objetivo de esta era explorar de una manera didáctica y divertida.”

“Las diferencias son que en la primera visita hecha al parque explora fue mas bien una exploración libre enfocándonos en todas las actividades y trabajamos sobre todo lo que había en el Parque Explora que fueron leyes de conserva-

ción, la temperatura y la energía (termodinámica) el movimiento, física cuántica, los tipos de energía, también había temas sobre acústica que es la de los sonidos, geofísica experimentos sobre explicaciones vectoriales, el equilibrio, física matemática y también se observaron otras interacciones que trataban de química biología. En la segunda visita hecha al Parque Explora se enfocó la visita a la sala abierta pero sólo a algunas actividades de esta sala que trataron sobre lo visto en clase que era “los principios de conservación en mecánica” (energía cinética, energía potencial, la ley de conservación de la energía mecánica, momento lineal y la conservación, el momento angular y su conservación) y mirar si las actividades si cumplían con las leyes que el profesor nos había explicado en el aula y poder también con esta visita sacarnos de algunas inquietudes y aprender más.”

“A diferencia de la primera visita, en ésta sólo se visitó las experiencias que servían explícitamente para entender y verificar de forma práctica los principios de conservación.”

“En la primera visitamos el parque sin centrarnos en ningún concepto específico y en la segunda nos centramos en algunos de los principios de conservación estudiados en clase.”

“Las explicaciones conceptuales ya que estaban enfocadas en un solo tema o sea el momentum angular, momentum lineal, energía mecánica.”

b) Distribución espacio temporal: En esta categoría las estudiantes manifiestan que en la segunda visita solo se recorrieron las experiencias programadas, y que el tiempo invertido en cada experiencia interactiva fue diferente en comparación con el de la primera visita. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“La primera visita fue más libre, cada uno elegía a quien preguntarle sus inquietudes y podía preguntarle sus inquietudes y podía permanecer el tiempo que quisiera en las experiencias y pasar por alto las que no parecías tan lla-

mativas, la visita se dio desde tempranas horas de la mañana, haciéndose más duradera, pudimos variar la actividad en las diferentes salas siendo más amena la visita. A cada alumna le fue asignado un guía con el que debía permanecer durante la visita, ellos eran quienes elegían las experiencias de acuerdo a los temas a tratar. A cada integrante de los grupos de trabajo le tocó con un guía diferente, para que el trabajo fuera más completo, la visita fue después de haber recibido clase en el colegio, y fue sólo en sala abierta, por lo que tuvimos que soportar el peso de los cuadernos y las adversidades del clima. La visita fue muy corta.”

“A pesar de que el tiempo dentro del parque fue más poco, la explicación de las experiencias fue más extensa y localizada acerca de lo que querían que entendiéramos.”

“En la primera enfocamos más la visita a las salas de adentro y en la segunda todas las experiencias estaban en la sala abierta. En la primera visita hubo menos orden que en la segunda. Se logró ver un trabajo más localizado generando poca dispersión de las alumnas respecto a la temática. El informe al ser realizado en grupos de tres personas, y dado que cada integrante recibió la guía con personas diferentes, hubo una mayor capacidad de integración, con el fin de complementar ideas.”

- c) **Profundización:** Esta categoría hace alusión a que los conocimientos previos de las estudiantes fueron importantes en el momento de ilustrar los principios de conservación manifestados en las experiencias interactivas del Parque Explora. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“En la primera visita no poseíamos tantos conocimientos previos ni tan profundos, se trataba más de conocer las experiencias del Parque Explora. En la segunda los conocimientos ya estaban más marcados y eran más amplios y profundos. Se trataba más de observar y explicar la razón del funcionamiento de ciertas experiencias con base en los saberes previos.”

“En la primera visita las nociones previas eran muy someras y no se había profundizado lo suficiente sobre éstas; en la segunda, las nociones previas eran más claras lo que permitió una mejor comprensión de la temática; además del apoyo teórico concreto como documentos y notas del cuaderno que facilitaba el análisis de cada sistema.”

“En la segunda visita nos centramos más en las experiencias que nos ilustraron los temas vistos en clase.”

“Aclaremos puntos que quizás no teníamos muy claros hasta el momento.”

d) **Guía-docente:** En esta categoría las estudiantes dan cuenta de la presencia de los profesores en la segunda visita, de la ausencia de los exploradores en el recorrido de la misma y su presencia en la primera visita. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“En esta ocasión el guía era una persona que conocía nuestro trabajo en el aula, y que nos podía dar explicaciones más profundas con base a los postulados teóricos de la física, permitiendo un aprendizaje más puntual y un elevado nivel de comprensión.”

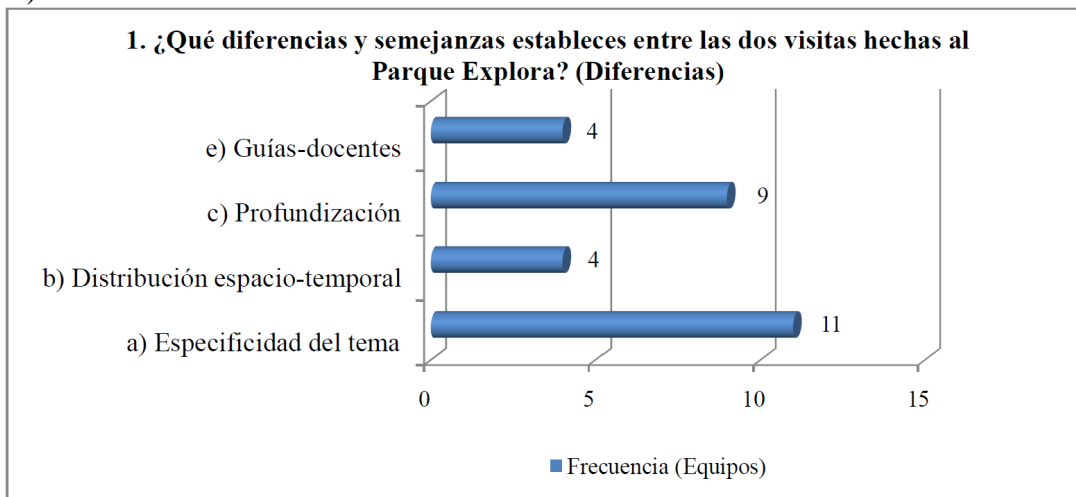
“En la segunda visita había más posibilidades de resolver todas las dudas que surgían ya que aquí se dio una interacción que reunía los fundamentos teóricos útiles, en el conocimiento posterior hubo mejor explicación por parte de los profesores y se presentó facilidad al momento de comprender los sistemas.”

“El trabajo se realizó más libre en la primera visita, ya que en la segunda estábamos más guiadas por los profesores.”

2. ¿Cómo relacionas las experiencias vividas en esta segunda visita, con lo estudiado en el aula de clase, referente a los principios de conservación?

a) **Correspondencia Museo-Escuela:** Esta categoría hace referencia a que la teoría estudiada en la institución educativa está directamente relacionada con las

Figura 3.11: Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 1 (diferencias)



experiencias interactivas que hicieron parte del recorrido. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“Al experimentar la teoría con ejemplos físicos se hace que el aprendizaje sea mayor, por lo tanto para los estudiantes es más fácil relacionar lo teórico con la vida real, por el contrario en el aula de clases resulta demasiado complicado comprender completamente los temas expuestos ya que estos son ilustrados de manera muy ficticia.”

“Lo relacionamos mucho, ya que las experiencias fueron algo así como prácticas, ya que nos permitieron ver las leyes de conservación en una perspectiva más real.”

“Se relaciona mucho ya que en el aula de clase se profundizaba mucho en los temas, parte por parte, haciendo ejemplos, entonces ya en el parque estos se vuelven experimentales.”

“Todas las experiencias estaban relacionadas con los principios de conservación como las representadas en el momentum angular y el lineal y en la energía mecánica; de tal modo que fueran representados directa o indirectamente.”

“A medida que visitábamos las experiencias recordábamos las explicaciones dadas en clase relacionando así la teoría con la práctica para tener conceptos aún más claros.”

b) **Recursos:** En esta categoría las estudiantes reconocen que las experiencias interactivas del parque son pertinentes en el estudio de los principios de conservación, pues por medio de estas se pueden evidenciar con mayor claridad los aspectos conceptuales estudiados en clase. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“Por medio de cada experiencia comprobamos que los principios de conservación si se cumplen y que la teoría es más práctica cuando la relacionamos con experiencias reales.”

“En algunas experiencias interactivas, como en el giróscopo de equilibrio, inercia rotacional o colisiones elásticas, se realizaban ciertos movimientos que evidenciaban cada una de las leyes de conservación previamente estudiadas y analizadas.”

“A veces nos confundimos con los ejemplos cuando no son reales, al verlos en su estructura física nos damos cuenta de que hay muchos factores externos que afectan los sistemas de conservación.”

“Las pocas dudas que aún quedaban fueron explicadas con material didáctico, lo cual hizo fácil el entendimiento de los principios de conservación. Por otro lado nos dieron ejemplos de la vida cotidiana considerando factores externos como la fricción y el rozamiento.”

“No es lo mismo uno trabajar en el salón solo las teorías con gráficas que al tener al frente un objeto que me esté demostrando la teoría vista y ver si es falsa o no la teoría. Por eso pensamos que la mejor metodología es trabajar teniendo todos los recursos para una demostración de alguna teoría o ley como la del péndulo golpeante que creíamos que en esta actividad había conservación de la energía pero no es así por que los factores externos no lo permitían.”

“En el aula de clase es muy difícil tener de una manera visual o interactiva estos conceptos de conservación debido a que no es igual experimentar con un objeto y un caso real, a experimentar con ejercicios textuales donde sólo se tiene una idea imaginaria de lo que sucede, como los trabajos en el aula de clase.”

- c) **Aclaración de inquietudes:** En esta categoría las estudiantes afirman que muchas de las dudas que quedaron latentes en el tratamiento teórico de los principios de conservación fueron resueltas gracias a las actividades realizadas durante la segunda visita. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“Las pocas dudas que aún quedaban fueron explicadas con material didáctico, lo cual hizo fácil el entendimiento de los principios de conservación.”

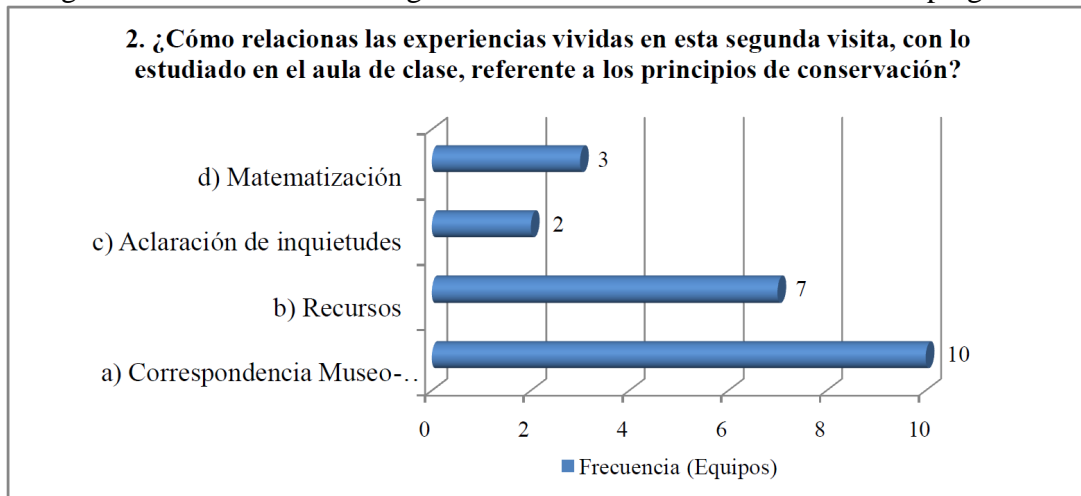
“Al final las ideas sobre las teorías estudiadas quedaron un poco más despejadas que antes, pero como siempre se nos crean más interrogantes pero que en clase solucionaremos con ejemplos.”

- d) **Matematización:** En esta categoría las estudiantes afirman que en la segunda visita no se enfatizó en los aspectos matemáticos de los principios de conservación, sino que se hizo un énfasis de tipo conceptual. Algunas citas que ilustran esta categoría son:

“En el aula de clase se pueden apreciar de una manera más teórica, lo cual es muy necesario, cada uno de los principios de conservación teniendo en cuenta ecuaciones, magnitudes escalares, vectoriales, masa, etc. Mientras que en el laboratorio (Parque Explora) no se tienen muy en cuenta los procesos matemáticos simplemente el concepto como tal.”

“Los ejercicios teóricos matemáticos se hacían muy superficialmente.”

Figura 3.12: Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 2



3. Explica cada uno de los principios de conservación teniendo en cuenta la teoría estudiada en clase y las actividades realizadas en el museo.

De acuerdo a las explicaciones que dieron las estudiantes en los informes respecto a los principios de conservación, relacionando las actividades realizadas en la Institución Educativa y en el Parque Explora, se establecieron para cada principio tres modelos explicativos, según la aproximación a los modelos conceptuales estudiados en el aula y los propuestos por el museo interactivo de ciencia. En cada principio, el primer ordinal corresponde a la mejor aproximación a la relación entre los modelos conceptuales (Escuela-Museo). El segundo ordinal hace referencia a dificultades parciales al relacionar los modelos conceptuales. El tercero indica serias dificultades en el establecimiento de esta relación.

a) Conservación de la energía mecánica.

E.1 “Un cuerpo tiene una masa que permanece constante se encuentra atado, suspendido de una varilla y sin movimiento (el punto en el cual el péndulo está quieto lo tomamos como marco de referencia y podríamos decir que allí la altura es cero); dejamos caer el péndulo desde una altura determinada (allí la energía potencial está al máximo y la cinética es ce-

ro), cuando el cuerpo llega al otro lado se supone debe alcanzar la misma altura de la cual le dejaron caer, y como de la altura depende la velocidad (que se asocia con la energía cinética) y en cierto sentido también la potencial por que la gravedad y la masa se mantienen constantes, y dado que la energía mecánica es la suma de la potencial y la cinética, podríamos medir la energía en cualquier punto y esta debería ser la misma pues a medida que el péndulo cae la energía potencial disminuye mientras la cinética aumenta, y al contrario cuando éste sube, si se tuviera un sistema aislado esperaríamos que el péndulo oscilase indefinidamente. Por esto en la vida real el cuerpo no golpea a la persona por que a parte de la fuerza de rozamiento, el péndulo inicialmente no la estaba golpeando, esto cambiaría si se le imprime una fuerza adicional, lo que provocaría que el péndulo alcanzaría una altura mayor al otro lado.”

“Péndulo Golpeante: Este en su punto más alto tiene una gran cantidad de E_p y al soltarlo ésta disminuye al transformarse en E_c . El principio de conservación se demuestra puesto que el punto más alto del péndulo siempre debe ser igual. En el Parque Explora esto no se da por factores externos como el rozamiento que disipan la E . Si estuviéramos en un espacio aislado el péndulo oscilaría indefinidamente.”

“Péndulo: En este se puede observar igual que en el péndulo realizado en el laboratorio, la conservación de la energía ya que en su máxima altura el péndulo posee una energía potencial máxima mientras la energía cinética es cero, cuando se deja caer el péndulo la energía potencial disminuye y la cinética aumenta.”

“Colisiones elásticas: Bueno aquí se pueden notar mucho la conservación de la energía y la conservación del momentum lineal. La conservación de la energía se da en el mismo instante que el momentum lineal; la energía se conserva porque en el momento en el que se lanza una de las bolas

desde cierta altura (donde la E_p es alta y la E_c baja) y se deja caer (y la E_c es alta y E_p baja) y la bola del otro extremo se levanta con igual altura e igual velocidad. El momentum lineal se conserva porque hay igual masa e igual velocidad al momento de la colisión, entonces se forma un vector, que va a ser el mismo de un lado que del otro.”

“Suponiendo que el péndulo es un sistema aislado, se cumple el principio de conservación de la energía mecánica ya que al inicio, antes de dejar caer el péndulo este posee energía potencial y dependiendo de la altura desde donde sea lanzado será mayor o menor esta energía. Cuando tenemos el péndulo suspendido en nuestras manos la energía potencial es máxima y la energía cinética es cero. Al soltarlo mientras realiza su recorrido la energía potencial se convierte en cinética y al llegar al eje y del plano la energía cinética es la máxima, la potencial es cero. Al pasar de este eje la energía cinética se va disminuyendo y transformando en potencial, este proceso de transformación de energía se repite durante todo el proceso, y si medimos la energía mecánica en cualquier punto del recorrido del péndulo, va a ser la misma. Si el péndulo está en un sistema no aislado está propenso a ser detenido por otros factores como la fuerza de rozamiento con las partículas de aire que chocan contra la estructura.”

“La ley de conservación de la energía dice que la suma de las energías potencial y cinética permanece constante, y estas son inversamente proporcionales, es decir, cuando se gana energía potencial se pierde energía cinética y viceversa. Esto lo podemos evidenciar en el caso del péndulo, donde en la primera oscilación se da conservación, pero se va perdiendo a medida que el péndulo oscila debido a factores externos como el rozamiento.”

“Colisiones Elásticas: Cuando una de las esferas está en un punto más alto que las demás, posee energía potencial, pero al soltarla la energía po-

tencial va disminuyendo y la energía cinética aumenta logrando de esta manera una conservación de energía. Cuando la esfera choca con las demás se transmite esta energía haciendo que la última rebote subiendo a la misma altura y con la misma velocidad que la esfera que fue lanzada.”

“Péndulo Golpeante: Cuando soltamos el péndulo desde un punto, este tiene una energía potencial que a medida que baja el péndulo esta disminuye y su energía cinética aumenta. Por el impulso esta sube hasta el mismo punto al lado contrario de donde fue lanzado haciendo así que la energía se conserve.”

“En el péndulo, se evidencia la conservación de la energía, aunque se se encontrara en un sistema aislado, la altura inicial siempre sería igual a la final. Antes de comenzar oscilar la energía potencial del péndulo es cero, pero a medida que aumenta la velocidad, aumenta la energía cinética y disminuye la potencial.”

E.2 “Conservación de la energía: dice que la energía no se crea ni se destruye sino que se transforma, en el Parque Explora se ve la conservación de la energía en e péndulo con la energía mecánica pues 'de energía potencial pasa a energía cinética. Esta ley también se da en las colisiones elásticas, ya que se transfiere la misma energía.”

“El péndulo golpeante nos puede explicar que no ocurre conservación de la energía porque sus factores externos no se lo permiten por la cual el péndulo empieza a perder energía cinética y gana energía potencial y también no cumple la conservación porque está cediendo energía al ambiente.”

E.3 “Podemos presenciar la conservación de la Energía Mecánica por que de no existir esta el péndulo oscilaría libremente, gracias a el rozamiento con el aire la velocidad presenta una relación inversa con la energía que

posee el ambiente o sea los factores externos, la velocidad disminuye y esta energía aumenta.”

b) Conservación del momentum lineal

$\vec{P}.1$ “Se deja caer un cuerpo o varios cuerpos desde una altura h , la velocidad con la que se mueve el cuerpo depende exclusivamente de esa altura de donde se dejó caer; este cuerpo colisiona con otro y como el choque es elástico se transmite la energía total de un cuerpo a otro, el último cuerpo se mueve logrando la misma altura que tenía el primer cuerpo al otro lado, y como la altura es igual la velocidad también lo es. La masa permanece constante pues a simple vista el cuerpo no se desintegra, consideramos también que la masa es igual para todas las canicas y dado que el momentum lineal es el producto de la masa por el vector velocidad y ya que ambas magnitudes son iguales en ambos lados podemos decir que hay conservación de este momentum, porque a pesar del paso del tiempo y cambios en el sistema el momentum lineal sigue siendo el mismo (esto considerando unas condiciones ideales).”

“En las colisiones elásticas observamos que al utilizar una esfera para producir el choque se levantaría una esfera, si utilizamos dos se levantarán dos y así sucesivamente, lo que nos llevó a deducir que la masa utilizada par producir el choque será la misma masa levantada.”

“La ley de conservación del momentum lineal es análogo al momentum angular, ya que a pesar de los momentos de los cuerpos que conforman el sistema cambien, el momentum total del sistema permanece constante, este se presenta básicamente cuando los cuerpos colisionan. Este se conserva en la experiencia de las colisiones elásticas, ya que en el podemos observar que si lanzamos una esfera, al otro lado también se levanta una, a la misma altura del que la lanzamos, si lanzamos dos esferas se

levantan dos y así sucesivamente, esto se debe a que la conservación del momentum depende de la masa y la velocidad.”

$\vec{P}.2$ “El principio de conservación del momentum lineal establece que el momentum lineal total del sistema permanece constante antes i después de la colisión. La experiencia en seis sistemas esféricos colgantes, cuando halábamos una esfera de un extremo esta colisionaba con las demás esferas, produciendo que la esfera del extremo contrario se alzara a la misma altura, y hacia la misma dirección y al regresar en dirección contraria se cancelaban los momentum lineal, dándose la conservación de este. Esto se repetía al lanzar 2 o más bolas.”

“Colisiones elásticas: Se presenta la conservación del momentum lineal, definido como una magnitud vectorial que está establecida por el producto de la masa del cuerpo por su velocidad. En esta experiencia consiste en que si se obtiene los valores de los factores como el impulso y la masa de las esferas, así como las condiciones exactas en las cuales se da la conservación y se puede dar una demostración clara de esta, se nos permite hacer predicciones sobre la velocidad y dirección del movimiento del cuerpo después de la colisión, en este caso la última esfera o la cantidad de esferas que sean impulsadas, esto debido a la conservación del momentum lineal.”

“En las colisiones elásticas transmitía energía al chocar los cuerpos y la energía cinética era igual antes y después porque no había deformidad en los cuerpos y también había conservación lineal por lo mismo que en el péndulo por que se cumple la fórmula de que el vector momento lineal es igual a la masa por el vector velocidad.”

“En la experiencia en dónde se vio la conservación del momentum lineal, fue las colisiones elásticas, debido a que la altura de la cual se dejaba caer ya sea un cuerpo o varios cuerpos iba a producir una velocidad igual en los

dos lados solo que con diferente sentido. La masa permanecía invariable y era aproximadamente igual para todos los cuerpos del sistema; podemos concluir entonces que el producto de la masa y la velocidad debía ser igual en un momento posterior, por lo tanto hay conservación del momentum lineal.”

“Colisiones Elásticas: En esta experiencia se puede decir que hay conservación del momentum lineal si tenemos el sistema aislado ya que el vector que se forma al inicio antes de golpear las demás esferas con la primera es igual al del resultante después del desplazamiento de la última esfera. Que se desplaza gracias a que la energía pasa de un cuerpo a otro. Como conclusión en estos choques hay intercambio de energía entre los componentes del sistema. Por otro un ejemplo podría ser el de un juego pirotécnico: Si sumamos las energías de cada partícula que se desprende de este, el vector resultante será igual al vector antes del estallido de este.”

$\vec{P}.3$ No hubo ninguna respuesta que perteneciera a esta categoría.

c) **Conservación del momentum angular**

$\vec{L}.1$ “Giróscopo de equilibrio. Al inicio de esta experiencia, cuando ponemos a girar el disco pequeño obtenemos determinado vector, si lo ponemos a girar en el sentido de las manecillas del reloj supongamos que el vector va hacia adentro y nos dan cierta magnitud. Cuando giramos el disco 180°, la dirección cambia y el vector va hacia arriba. En este mismo instante el disco mayor gira en sentido contrario al pequeño y se forma un vector hacia adentro, esto contrarresta el otro vector, para que finalmente se iguales las magnitudes y la suma de el vector de la rueda pequeña más el de la grande sea igual al vector inicial. También se puede ilustrar con un cuerpo que gira en cierta trayectoria definida, si se calcula el vector momentum angular en cualquier parte de su trayectoria este será el mismo.”

“En el giróscopo de equilibrio evaluamos dos partes del sistema que se mueven de forma independiente. Inicialmente sólo se mueve el disco pequeño, el sentido de giro determina el sentido del vector momentum angular; cuando se varía el sentido de giro también varía el sentido y la magnitud del momentum, entonces otra parte del sistema empieza a moverse en sentido contrario, para de alguna manera contrarrestar este nuevo vector y así lograr que el vector suma de los momentum de ambas partes del sistema sea igual al vector que se tenía inicialmente. En esta experiencia podemos evidenciar la conservación del momentum angular a pesar del desnivel del suelo y otras condiciones no ideales.”

“En el giróscopo descolgado se hace girar una llanta suspendida de una parte de una de sus caras, no hay conservación del momentum por que hay un torque, quiere decir una fuerza y como esta fuerza es ajena al sistema a diferencia del giróscopo de equilibrio en el cual la fuerza está dentro del sistema; influye para que el momentum angular no se conserve; por esto es que la llanta empieza a dar vueltas a medida que gira, si ésta se quedara suspendida girando indefinidamente sí habría conservación.”

“La experiencia “Inercia Rotacional”, nos permite evidenciar algo muy interesante respecto a la variación en el vector posición, la magnitud de la masa y la velocidad. Inicialmente había un cuerpo girando a una velocidad y el cuerpo estaba en el centro paralelo a la barra de donde se sostenía, cuando el vector posición aumentaba quiere decir cuando la niña estiraba los brazos, la rapidez angular con la cual giraba era menor de esta manera el producto entre ambos vectores por la masa y el seno del ángulo comprendido entre los vectores es igual al que se tenía inicialmente. De lo cual concluimos que no importa que haya cambios en la magnitud de los vectores posición y velocidad; el vector momentum angular se conserva.”

“En el gir6scopo descolgado, se evidenciaría el momentum angular si no existiera la fuerza de gravedad y el torque estuviera sostenido desde la parte interna del sistema, si estas condiciones se presentaran, en un momento determinado, cuando estableciéramos el producto de los vectores masa, posición, fuerza y del seno del ángulo formado por los vectores posición y velocidad, obtendríamos el mismo resultado que si tomáramos las medidas en un tiempo posterior.”

“En el gir6scopo de equilibrio se daría la conservación del momentum angular si el suelo y la bicicleta no tuvieran ningún grado de inclinación, sin embargo,, se puede ver que se cumple, ya que dependiendo del sentido de giro que se le dio a la rueda pequeña y la dirección a la cual se proyecte, el sistema completo experimentará una variación de los mismos, para que de esta manera el vector producido inicialmente se contrarreste con el vector producido por el sistema completo dando un cambio de sentido y dirección dl sistema completo, conservando de esta manera el momentum.”

“En la experiencia de inercia rotacional, se daría la conservación del momentum angular, si el producto de las componentes del sistema permanecen constantes y no varía dependiendo del momento en el cual se tome, pero si por ejemplo el vector posición disminuye, la velocidad aumenta para que el producto continúe siendo el mismo.”

“El momentum angular es aquel que depende de la velocidad de rotación, de la masa y del vector posición. Este consiste en que cuando se tiene un sistema se halla el momento angular de cada una de las partes que lo conforman después de que estas experimentan un cambio en el movimiento y al sumar los momentums finales de todas las partículas se da la conservación de este. Esta conservación la podemos evidenciar en las experiencias del gir6scopo (descolgado y de equilibrio). En el primero teníamos una

rueda de bicicleta que girábamos en determinada dirección (izquierda o derecha) y dependiendo de este movimiento podíamos notar claramente el momentum angular con respecto al eje z , pues la rueda se levantaba o se bajaba y teniendo muy en cuenta que a mayor velocidad se trata de conservar el momentum y que el peso afecta el equilibrio. En el giróscopo de equilibrio cuando girábamos la rueda esta ejercía una fuerza que nos hacía girar hacia el otro lado, buscando conservar el momentum angular, “En este se propone de acuerdo al momentum angular que si un disco esta girando, continuará haciéndolo indefinidamente hasta que una fuerza externa actúe sobre el”.”

“Giróscopo: En esta experiencia visualizábamos el momentum angular comparábamos esta experiencia con la actividad que realiza una bailarina al girar, realiza un movimiento con los brazos abierto, gira con mayor velocidad si acerca los brazos hacia el tórax, tratando de conservar la velocidad del giro teniendo en cuenta un punto específico (eje) para así lograr el equilibrio. En este caso, la velocidad del giróscopo estaba definida por la distancia a la cual se encontraba el usuario, que definía el vector posición hasta el eje de equilibrio, aumentando su velocidad de giro a menor distancia de este.”

“Giróscopo descolgado: en esta experiencia vemos que la conservación del momentum angular se da, ya que al aumentar su velocidad girando la llanta su posición será vertical y siempre tenderá a estar en equilibrio.”

“Inercia Rotacional: Es una plataforma circular con un tubo vertical, en el centro, la cual al subírnos en ella comenzaba a girar; al aumentar la distancia entre el cuerpo y el eje central la velocidad disminuía y viceversa, es decir, en este sistema se multiplican los vectores velocidad y posición, al disminuirse el vector posición, se compensa con el aumento del vec-

tor velocidad y viceversa, evidenciándose la conservación del momentum angular total del sistema.”

“Giróscopo descolgado: Se conserva el momentum angular, en esta experiencia la magnitud se ve definida por la velocidad que ayuda a mantener la posición de equilibrio al aumentar, la masa, y el vector posición. La velocidad es uno de los factores más importantes si no hay velocidad el vector tendría el valor cero. El momentum angular que está siendo mantenido en un punto o eje, con una dirección y una velocidad que disminuye, se ve afectado por el peso del elemento y la gravedad. Lo explicamos a través de una actividad cotidiana. La bicicleta e la cual si disminuimos la velocidad el peso hace que esta caiga, pero cuando la bicicleta avanza, las ruedas tienen un momentum angular, la bicicleta continúa en su trayectoria con radio constante y una velocidad que lo es.”

“Giróscopo: Se conserva el momentum angular. La experiencia consiste en una base, la cual tiene una plataforma giratoria que se hace mover hacia un sentido podemos observar que cuando los brazos son estirados el momento de inercia aumenta, por lo que la velocidad de los giros disminuye; cuando los brazos son oprimidos en el pecho, aumenta la velocidad, lo cual comprueba la ley porque, al acercarse, disminuye el momento de inercia, y como se conserva el momentum angular, debe aumentar la velocidad.”

“Inercia Rotacional: El mejor ejemplo para explicar esto es como las bailarinas de ballet aumentan su velocidad para girar, al concentrar toda su masa en el centro y para disminuirla abren sus brazos. Aquí es muy notable que la conservación se da con una mayor dependencia por así decirlo de la magnitud del vector posición al igual que en el giróscopo. Ya que al aumentarle la magnitud al vector posición, que en este caso sería la persona, el vector velocidad tendrá una magnitud menor y la gravedad será

ejercida con más fuerza sobre el cuerpo y viceversa. La velocidad será un vector de el doble del vector posición ya que se suman (conservación del momentum angular).”

“Inercia Rotacional: Con esta experiencia nos damos cuenta de que para conservar el Momentum Angular en cuanto a velocidad es necesario considerar un vector posición. Si el vector posición es de una magnitud pequeña la velocidad aumenta para así conservar el Momentum y viceversa.”

$\vec{L}.2$ “Por ejemplo en la inercia rotacional que consistía que una rueda tenía un barrote y podían montarse dos personas para dar un empujón después empezaba a girar, las personas que estaban montadas eran una gorda y una flaca al estirar los brazos la gorda la velocidad aumentaría y si la flaca lo hiciera disminuiría la velocidad por que las masas tienen que mantener un equilibrio para estar en ese punto.¹⁰”

“Giróscopo de equilibrio: La dirección del vector establecido en el “manubrio” trata de ‘ser conservada por la bicicleta ya que este se ha girado 180° lo que afecta la conservación del momentum angular y este sistema está diseñado de modo que sea el mismo (se conserve) ya que cuando no se cumplen las condiciones para esto como la conservación de la dirección esta no se da, es una de las condiciones necesarias.”

“Quizás alguna vez nos hemos preguntado por qué cuando nos montamos en una bicicleta y estamos en movimiento no nos caemos, pero por el contrario cuando estamos quietos si lo hacemos . . . Resulta que todo sucede por la conservación del Momentum Angular. Cuando hay velocidad la fuerza gravitacional actúa sobre las ruedas de la bicicleta haciendo que

¹⁰Lo que se hizo fue poner dos estudiantes en la plataforma de inercia rotacional, la idea era que mientras una de ellas estiraba los brazos, la otra los contrajera, para que la frecuencia angular se mantuviera constante. Sin embargo, dada la diferencia de masa entre las estudiantes, ocurrió lo que relata este equipo

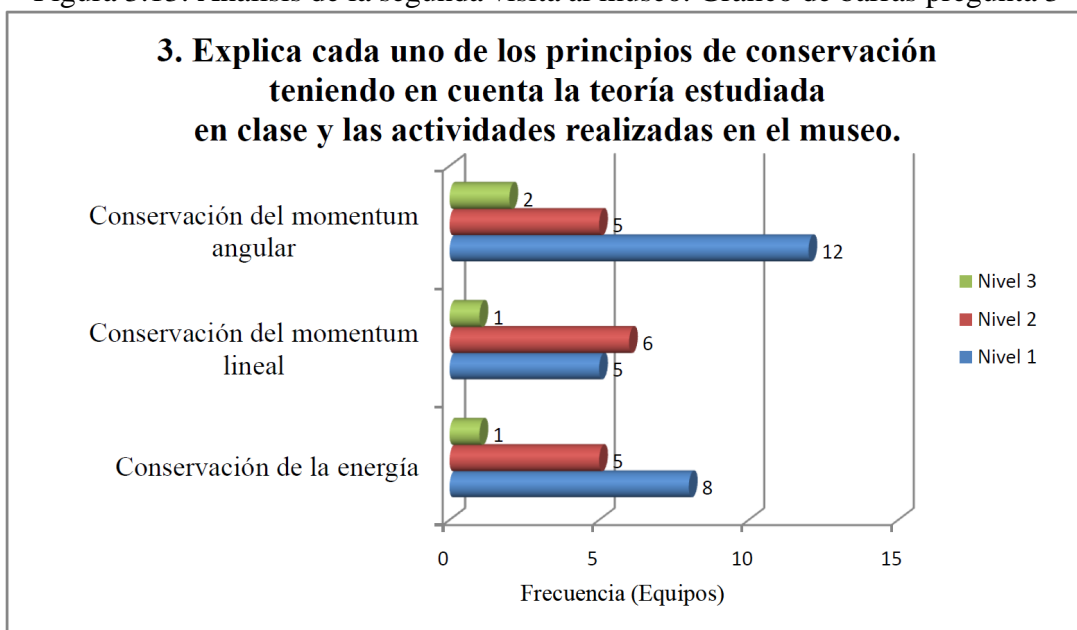
esta se caiga para un lado, por otro lado, cuando estamos en movimiento las ruedas efectúan oscilaciones a gran velocidad la fuerza no actúa directamente sobre estas haciendo que el equilibrio se mantenga.”

“Giróscopo de equilibrio: En esta experiencia existen dos vectores posición, uno en el área total del sistema y otro en la rueda que le da el movimiento. Ambos vectores deben ser fuerzas contraponentes para que el Momentum Angular se conserve por así decirlo. Si el vector posición de la rueda va para arriba el vector del sistema total debe ser para abajo y viceversa.”

$\vec{L}.3$ “Giróscopo descolgado: La experiencia consta de hacer girar un neumático de bicicleta que se encuentra suspendido por un lado a gran velocidad. Si la velocidad es muy alta la fuerza gravitacional ejercida sobre la rueda disminuye y a medida que la velocidad va disminuyendo la fuerza ejercida por la gravedad sobre el neumático será mayor. O sea que entre mayor sea la magnitud del vector posición menor será la fuerza gravitacional ejercida sobre la rueda y mayor será la velocidad. El neumático cuando se encuentra inmóvil está en una posición horizontal debido a que está suspendida por un costado, al hacerla girar pasa a estar de forma vertical y es allí cuando se muestra la ley de conservación del momentum angular, ya que aquí se puede observar el vector posición dependiendo del punto y el sentido de giro que se esté observando.”

“La conservación del momentum angular se puede representar por medio del “giróscopo descolgado” que se evidencia cuando al al ponerse a girar intenta la llanta buscar a estar en equilibrio y que en la rotación que hace este cuerpo describe arcos de igual amplitud o sea que su momento angular está dirigido hacia su eje.”

Figura 3.13: Análisis de la segunda visita al museo. Gráfico de barras pregunta 3



CAPÍTULO 4

Conclusiones

Los museos de cuarta generación tienen un rol educativo, en tanto acercan a los visitantes a la ciencia de una forma simple, divertida, haciéndola atractiva por medio de las experiencias interactivas. Se reconoce el museo de cuarta generación como un espacio educativo, con estrategias alternativas a las formales, que aproximan a las estudiantes a los fenómenos que ocurren en su entorno.

Adicionalmente, se reconoce la complementariedad de la educación formal y la no formal representadas por la Institución Educativa y el museo de cuarta generación, respectivamente; pues se relacionan los conceptos que se estudian en el aula de clase (incluyendo las actividades experimentales) con las experiencias interactivas, ya sea profundizando lo estudiado, o generando expectativas por lo que se estudiará.

El trabajo realizado en el museo complementa al del aula. Por medio de las actividades que se encuentran en el museo se puede introducir, complementar o profundizar determinada temática; convirtiéndose el museo al final, en otra herramienta didáctica disponible en cualquier etapa de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Sin desmeritar que también estas pueden ser muy útiles en la construcción y apropiación del conocimiento científico por parte del estudiante.

En la realización de las actividades se trascendió la manipulación de experiencias interactivas o la diversión de las estudiantes, considerando la formalidad de los conceptos

estudiados en la escuela y el museo, para explicar desde la física las experiencias cotidianas relacionadas.

En cuanto a los aspectos semejantes a los dos espacios, se encuentra su valor educativo y complementariedad, reflejada en el vínculo teoría práctica; además de la existencia de mediadores educativos (el docente de la institución educativa o los guías en el museo de cuarta generación), la experimentación (en los laboratorios de ciencia o en el museo) que busca verificar teorías estudiadas o ilustrarlas en cierto contexto. Esto está estrechamente relacionado con los modelos físicos disponibles en estos espacios, en los cuales se promueve la comunicación entre las estudiantes cuando se hace trabajo grupal.

También se presentan ciertas diferencias asociadas al tipo de actividades realizadas en cada espacio, la distribución espacial, los recursos, la experimentación, la interactividad, la comunicación y la evaluación de aprendizajes. Estos aspectos se presentan en ambos espacios, pero de forma distinta, lo que resalta nuevamente la complementariedad de los dos centros educativos.

Las estudiantes establecen diferencias entre la disciplina científica (en este caso la física entendida como los constructos teóricos que se recopilan en los libros de texto y que se estudian en la escuela, donde se suelen establecer numerosas idealizaciones que se alejan de los fenómenos reales) y sus experiencias cotidianas. En este sentido, se reconoce la importancia del museo, el cual establece vínculos entre las teorías estudiadas en la escuela y los fenómenos de la naturaleza en los que están presentes, por medio de las experiencias interactivas, que reproducen los fenómenos físicos de una manera controlada, es decir, es una aproximación a lo que ocurre en la cotidianidad. Esto constituye un motivo para ver la física como una ciencia que permite explicar su mundo y que por tanto los contenidos estudiados no son ajenos, sino que hacen parte de su cotidianidad.

Cuando se categoriza las preferencias de las estudiantes relacionadas con las experiencias interactivas del Parque Explora por ejes temáticos, se nota claramente que existe un dominio marcado de la mecánica clásica; ámbito conceptual dentro del cual está enmarcada la mayoría de las experiencias interactivas relacionadas con física. Esto muestra que

tanto en la escuela como en el museo se estudian los mismos dominios conceptuales. Esto puede asumirse desde dos perspectivas diferentes: por una parte, el apoyo que el museo puede brindar a la escuela en cuanto a los Estándares curriculares, y por otra la carencia que tiene este espacio para abordar conceptos que no están contemplados en el currículo escolar; siendo muchos de ellos de gran interés e importancia para una formación integral en física, como por ejemplo lo relacionado con termodinámica y electromagnetismo.

Por lo general, es difícil realizar actividades experimentales que permitan verificar los principios de conservación del momentum lineal, la energía y el momentum angular. Las dificultades radican en los altos márgenes de error, debidos a la complejidad de controlar y medir la disipación de la energía del sistema físico en cuestión, cuando se diseñan actividades que permitan estudiar la conservación de la energía y el momentum lineal. En cuanto a la conservación del momentum angular, las dificultades son mayores, pues realizar montajes que permitan visualizar sus efectos mecánicos y tomar mediciones, sumado a las dificultades que implica su tratamiento vectorial, impide verificar el principio. Este puede ser uno de los motivos por los cuales no se incluye el estudio de este principio en los estándares curriculares de ciencias naturales. Algunas experiencias del Parque Explora están directamente relacionadas con estos principios físicos, lo que permite diseñar actividades que ilustren estos principios. Este hecho motiva la incorporación del estudio del momentum angular en el currículo escolar.

Es importante relacionar los contenidos teóricos con la cotidianidad. En este caso, los conceptos estudiados en el aula de clase (magnitudes escalares y vectoriales, energía, momentum lineal, momentum angular, principios de conservación) se relacionan indirectamente con situaciones cotidianas a partir de las experiencias interactivas disponibles en el Parque Explora (Péndulo Golpeante, Colisiones elásticas, Inercia Rotacional, Giróscopo de Equilibrio y Giróscopo Descolgado). Como complemento a esto, se evidencia que en efecto, las experiencias interactivas mencionadas ilustran los principios de conservación, independientemente de su funcionamiento y los factores disipativos presentes, lo cual se deduce de las citas extraídas de los informes presentados por las estudiantes y en

las explicaciones orales dadas a las situaciones planteadas en la socialización de la segunda visita, en la cual se mostraron situaciones cotidianas directamente relacionadas con las experiencias interactivas del Parque Explora.

Durante la explicación teórica de los principios de conservación en el aula, las estudiantes se mostraban escépticas frente a estos resultados. Esto no significa que no se entendiera el enunciado del concepto o la forma de aplicarlo en una situación hipotética, sino que se exigía una verificación experimental, donde la teoría estudiada correspondiera con situaciones observables. Durante la segunda visita esta exigencia fue satisfecha, sin la necesidad de realizar mediciones precisas ni cálculos matemáticos, lo cual se infiere de las afirmaciones de las estudiantes y a las explicaciones de los principios de conservación relacionando los aspectos teóricos con las experiencias interactivas. No se deduce de esto que la formalización matemática sea innecesaria, sino que hacerla en el museo es impertinente, pues resulta complicado hacerlas, dada la existencia de factores externos que no se tienen en cuenta en la teoría estudiada a nivel de educación media.

Después de analizar las respuestas a la tercera pregunta de la segunda visita, de discriminarlas por principio de conservación y nivel de explicación que se daba a cada principio y tabular la información obtenida, se concluye que la mayoría de las estudiantes lograron explicar adecuadamente los principios de conservación, relacionando la teoría de clase con las actividades de la ruta de conservación. Esto indica que es posible establecer una relación sinérgica entre la educación formal y los museos interactivos de ciencia que favorezca la formación en física, en particular el estudio de los principios de conservación en mecánica.

La presencia de mediadores (guías-docentes) en ambas visitas es importante, aunque se reconocen ciertas diferencias. Por el carácter de la primera visita, fue posible el acercamiento entre las estudiantes y los guías del Parque Explora, pues no se requería de una preparación en torno a un concepto específico, lo cual facilitó la comunicación entre ellos al momento de interactuar con las experiencias y acercarse al lenguaje científico correspondiente. Por el contrario, para la segunda visita fue indispensable un conocimiento

específico del proceso de aprendizaje de las estudiantes respecto a los principios de conservación, esto es, las actividades que se realizaron en la institución educativa previas a la visita y el lenguaje físico que ellas conocían en el momento. En este sentido es posible afirmar, que si un guía del museo está al tanto del proceso seguido con las estudiantes en la escuela, estará capacitado para desarrollar adecuadamente la ruta de conservación, de forma similar a la que se hizo en esta ocasión. Prueba de ello es el hecho de que aunque dos de los acompañantes en esta visita tuvieron un contacto limitado con las estudiantes, implementaron la ruta de conservación apropiadamente.

Entre las diferencias identificadas entre las dos visitas se encuentra que la primera no requirió de una preparación conceptual rigurosa, mientras que para la segunda este aspecto era indispensable, por lo cual se realizó una serie de actividades relacionadas con los objetivos de las visitas, en especial de la segunda. Además se contó con material bibliográfico (documentos y cuadernos) en los que se encuentran algunas explicaciones y ejemplos teóricos. Así mismo, se reconocen ciertas diferencias, como: la especificidad del tema, pues la primera visita fue de exploración libre y si bien se reconoció el concepto de conservación en varias de las experiencias interactivas, no se profundizó mucho en el tema, mientras que en la segunda visita, el énfasis fue mayor. Así mismo, encuentran una relación más directa entre los temas estudiados en clase, específicamente los principios de conservación en mecánica, y el recorrido hecho en la segunda visita.

También se establecen diferencias en cuanto al tipo de recorrido, y la distribución espacio-temporal, esto es, en la primera visita se recorrieron tres salas, en las cuales las estudiantes tenían la libertad de elegir las experiencias que les llamaban la atención y la duración del recorrido fue considerable, mientras que en la segunda sólo se interactuó con cinco experiencias y el tiempo fue menor. Sin embargo, esto permitió centrarse exclusivamente en los principios de conservación, con una extensión temporal por experiencia interactiva mayor que en la primera visita. En el mismo sentido, la distribución que se hizo de las estudiantes permitió que pudieran contrastar las actividades realizadas con cada guía-docente.

Según las respuestas de las estudiantes a las preguntas planteadas en el video “Los principios de Conservación en ‘Acción’” presentado durante la socialización de la segunda visita, se puede concluir que el modelo conceptual asociado a los principios de conservación estudiado en la institución educativa, cumple con los criterios de viabilidad propuestos por Halloun. Esto se justifica en el hecho del reconocimiento de los modelos físicos del Parque Explora y los observados en el video como referentes del modelo conceptual, lo que indica que el modelo es corroborado empíricamente. En las explicaciones de las estudiantes del funcionamiento de las experiencias interactivas del museo y las situaciones presentadas en el video se evidencia que el modelo satisface el criterio de coherencia y conformidad racional. De esta manera, se concluye que el modelado es una actividad que hace posible que el estudiante relacione su entorno con los constructos teóricos que la ciencia, en particular la física, realiza para interpretar la naturaleza.

Por último, hay que anotar que en los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales, no se considera explícitamente a los museos de cuarta generación como espacios educativos que contribuyen a la educación formal. Esto parece contradecir el artículo 49 de la Ley General de Cultura de 1997, en donde se afirma que el *Ministerio de Cultura y el Museo Nacional deben estimular el carácter activo de los museos al servicio de los diversos niveles de educación como entes enriquecedores de la vida y de la identidad cultural nacional, regional y local* (Ministerio de Cultura, 1997).

Referencias

Aubad, R. (2007). El Parque Explora de Medellín y su compromiso con las competencias científicas. *Revista Museológica* Vol. 10. No. 18-19, Colombia.

Beyer, M. (2004). *Ciencia y cultura: paradojas de un objeto al interior de un museo de ciencias*. Extraído el 17 de febrero de 2009 desde www.redpop.org/8reunion/9rrp_ponencias/maemiliabeyer.doc

Blanco, Á. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* Vol. 1. No. 2, España.

Boulter, C. Y Gilbert, J. (2005). Texts and Contexts: Framing Modelling in the Primary Science Classroom. En *Research in Science Education in Europe*. Union Kingdom: The Falmer Press.

Días-Barriga, F. Y Hernández, G. (2003). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México: McGraw-Hill Interamericana.

Duit, R. Y Glynn, S. (2005). Mental Modelling. En *Research in Science Education in Europe*. Union Kingdom: The Falmer Press.

Duschl, R. Y Erduran, S. (2005). Modelling the Growth of Scientific Knowledge. En *Research in Science Education in Europe*. Union Kingdom: The Falmer Press.

Feynman, R. (1983). *El carácter de la ley física*. España : Antoni Bosch.

Freire, P. (1985). *Pedagogía del Oprimido*. México: Editorial siglo XXI.

Greca, I. Y Moreira, M. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. En *Caderno Catarinense de ensino de física*. Vol. 15. No. 2. Brasil.

Guisasola, J. et al (2005). Diseño de estrategias centradas en el aprendizaje para las visitas escolares a los museos de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* Vol. 2. No. 1, España.

Halloun, I. (2006). *Modelling Theory in Science Education*. Netherlands: Springer.

Joyce, B. Y Weil, M. (2002). *Modelos de Enseñanza*. España: Editorial Gedisa.

Ministerio de Cultura (1997). *Ley de Cultura 397 de 1997*. Colombia.

Ministerio de Educación Nacional (1998) *Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Colombia.

Ministerio de Educación Nacional (2004). *Estándares de ciencias naturales y educación ambiental*. Colombia.

Nerssesian, N. (1992). How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. En *Cognitive Models of Science, Volume XV*. United States of America: University of Minnesota Press.

- Nerssesian, N. (2008). Mental Modeling and Scientific Model-based Reasoning Practices. En *Creating Scientific Concepts*. United States of America: Massachusetts Institute of Technology.
- Norman, D. (1983). Some Observations on Mental Models. En *Mental Models*. United States of America: Lawrence Erlbaum.
- Orozco, G. (2004a). La apuesta educativa del “Trompo Mágico” museo interactivo de Guadalajara. *Mediaciones* No. 3, Colombia.
- Orozco, G. (2004b). Los museos interactivos como mediadores pedagógicos. *Revista colombiana de educación* No. 46, Colombia.
- Pozo, J. y Gómez, M. (1998). *Aprender a enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. España: Ediciones Morata.
- Rodríguez, G. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. España: Ediciones Aljibe.
- Sánchez, C. (2004). *Los museos de ciencia, promotores de la cultura científica. Dirección general de divulgación de la ciencia*. México: UNAM.
- Savater, F. (2005). Potenciar la razón. *Agenda Cultural Alma Mater*. No. 110. Colombia.
- Segura, D. (2005). ¿Es la física que se aprende una contribución para comprender el mundo?. *Innovación y Ciencia*. Vol. 12. No. 4. Colombia: ACAC.
- Solbes, J. Y Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las ciencias* Vol. 16. No. 3, España.

Sutton, C. (2005). The Scientific Model as a Form of Speech. En *Research in Science Education in Europe*. Union Kingdom: The Falmer Press.

Varela, C y Stengler, E. (2004). Los Museos interactivos como recurso didáctico: El Museo de las Ciencias y el Cosmos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 3. N0. 1. España.

Vigil, L. (1998). *Didáctica y modelos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales*. Extraído el 23 de agosto de 2007 desde <http://www.mongrafias.com/trabajos25/didacticaciencias-naturales.shtml#modelos>.

Anexos

Anexo 1



Centro Formativo de Antioquia: CEFA

Introducción a los principios de conservación.

Nombres: _____

Objetivo: Comprender el significado del concepto conservación en el ámbito de la física, a través de la lectura y la observación de fenómenos físicos presentes en actividades experimentales.

Introducción.

Los principios de conservación son fundamentales en el estudio de la física. Se encuentran presentes en sus diferentes ramas, como por ejemplo: Mecánica, Termodinámica, Electromagnetismo, Relatividad y Mecánica Cuántica.

Actividad 1. Lectura introductoria al concepto de conservación.

“Supongamos que la física, o mejor la naturaleza, pueda considerarse análoga a una inmensa partida de ajedrez con millones de piezas y que tengamos que descubrir las leyes que siguen estas piezas al moverse. La partida se juega muy rápido, con lo que resulta difícil tanto ver cómo seguir el juego. Sin embargo, poco a poco conseguimos hacernos una

idea de algunas de las reglas. Existen además ciertas reglas que podemos llegar a deducir sin necesidad de estar pendientes de algunas de las jugadas. Por ejemplo, supongamos que sobre el tablero existe solamente un alfil en un cuadro negro, y puesto que el alfil siempre se desplaza diagonalmente, y por tanto no cambia de los cuadros de un color a los de otro, si por un momento nos distraemos mientras se juega, para volver luego a mirar, cabe esperar que el alfil esté todavía en cuadro negro, quizás en un sitio distinto, pero siempre en un cuadro del mismo color.”¹ En general, aunque se modifique la posición del alfil en el tablero, hay una característica que se mantiene siempre igual: el color de la casilla en la que se encuentra.

En la física una ley de conservación significa que existe una cantidad que se puede calcular en un momento determinado y que, mientras la naturaleza va transformándose sin cesar, si se calcula de nuevo en un momento posterior la cantidad será la misma de antes.

Con base en el anterior texto, responde:

- ¿Qué entiendes por conservación? Ilustre con un ejemplo en el campo de la física.
- ¿Se puede hablar de conservación si cambia alguna característica del objeto analizado?
- Explica el significado del siguiente enunciado. "La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma" ¿Tiene alguna relación con la idea de conservación?

¹Feynman, Richar. El carácter de la ley física. Pág. 47.

Anexo 2



Centro Formativo de Antioquia: CEFA

Laboratorio de física: Principios de conservación.

Nombres: _____

Actividad 2. El péndulo.

En esta experiencia se fija un péndulo a una parte alta. Luego se suelta libremente desde la cara de una alumna. Responda a la siguiente pregunta.

- ¿Será posible que de regreso, el péndulo golpee a la estudiante? Explique.

Deje caer un péndulo y mida el tiempo que tarda en hacer una oscilación completa. Repita este procedimiento varias veces cuando el péndulo todavía este oscilando. Haga lo mismo soltando el péndulo desde diferentes amplitudes. Luego, llene la siguiente tabla y grafique los datos obtenidos en un plano cartesiano

Amplitud (A)						
Periodo (T)	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después

Actividad 3. Planos inclinados

En esta experiencia se pretende que los estudiantes establezcan las variables que intervienen en la determinación de la velocidad final de caída de un cuerpo por un plano inclinado, y así mismo se determine la existencia de algún principio de conservación implícito en el fenómeno de la caída de los cuerpos.

Materiales

- Rampas de diferentes longitudes
- Canicas
- Cronómetro
- Regla

Procedimiento

1. Tomar varias rampas y disponerlas en diferentes inclinaciones, de tal manera que los extremos inferiores de todas queden alineados. Mida con un transportador la inclinación de cada una de las rampas.
2. Elija un punto cualquiera de alguna de las rampas y mida la distancia h desde el suelo al punto (altura).
3. Ubique la esfera en ese punto y déjela rodar por la rampa y calcule la velocidad con la que llega al final de ella.
4. En las otras rampas busque puntos para los cuales, al soltar la esfera, la velocidad de llegada al final de la rampa sea la misma que en numeral anterior. Mida la altura a la que están estos puntos.

5. Haga una tabla para registrar la inclinación de la rampa y la altura a la que se soltó la esfera para que llegara al suelo con la misma velocidad que en el primer caso.
6. Grafique los datos en un diagrama cartesiano.

Inclinación (θ)				
Altura (h)				

- ¿Qué estrategia empleó para encontrar las alturas?

- ¿Qué clase de grafica se obtuvo? ¿Qué significa esto?

- ¿Se manifiesta algún principio de conservación en esta experiencia? Explique cómo ocurre esto.

Anexo 3



Centro Formativo de Antioquia: CEFA

Actividad de trabajo independiente: Tipos de energía

Nombres: _____

Consulta acerca de los distintos tipos de energía y trata de responder a las preguntas del siguiente cuestionario.

Ejemplo de auto-cuestionario que puede ser utilizado para contrastar lo que se ha aprendido en una tarea de estudio independiente a partir de libros de texto.

1. ¿Cuáles son las ideas principales del texto?
2. ¿He encontrado aparentes inconsistencias entre partes diferentes del texto?
3. ¿Puedo explicar el contenido del texto con mis propias palabras?
4. ¿Son razonables las afirmaciones o resultados a los que se llega?
5. ¿Hay diferencias entre mis ideas iniciales sobre el contenido del texto y lo que se afirma en él?

6. ¿Qué problemas de comprensión he encontrado? Escriba los conceptos que no entiende y explique las razones.
7. ¿Se discuten los límites de aplicabilidad de los conceptos, ecuaciones, principios o teorías que se presentan?

Anexo 4



Primera visita de las estudiantes del grado décimo, modalidad ciencias químicas de la institución educativa Centro Formativo de Antioquia (CEFA) al Parque Explora.

Objetivos:

- Conocer el Parque Explora de la ciudad de Medellín, para establecer relaciones sinérgicas entre la educación formal y los museos de ciencia en el ámbito de la física.
- Identificar las opiniones y actitudes que tienen las estudiantes en lo referente a la relación museo-escuela.
- Reconocer en las experiencias interactivas del Parque Explora fenómenos físicos relacionados con el concepto de conservación.

Las siguientes preguntas pretenden establecer la percepción y aceptación que tienen las estudiantes acerca del museo como centro de aprendizaje y la identificación del concepto de conservación en algunas experiencias interactivas exploradas. La respuesta de cada una debe ser argumentada.

1. En general, ¿Cuál crees que es el objetivo de las actividades propuestas por el museo?

2. ¿Qué diferencias y semejanzas puedes establecer entre el museo y el aula como espacios de aprendizaje?
3. ¿De qué manera aportan las experiencias del museo a tu proceso de formación académica en el área de física?
4. Describe brevemente algunas de las experiencias interactivas que más llamaron tu atención.
5. ¿Qué fue lo que más te impacto de dichas experiencias interactivas?
6. ¿Identificas fenómenos relacionados con el concepto de conservación en algunas experiencias interactivas del museo?

Anexo 5



Los principios de conservación en mecánica.

Nombre: _____

Energía mecánica

Energía cinética

La energía cinética está asociada a los cuerpos en movimiento. Supongamos que un cuerpo de masa m se mueve en cierto momento con una rapidez² v entonces su **energía cinética** se define por

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Como todo tipo de energía, la energía cinética y más adelante la energía potencial, son magnitudes escalares y su unidad de medida es el Joule, que se representa por J y equivale a

$$Joule = Kg \frac{m^2}{s^2}$$

²El término rapidez se refiere a la magnitud del vector velocidad \vec{v} , de modo que rapidez y velocidad son conceptos distintos, pues el primero es una magnitud escalar y el segundo es una magnitud vectorial. Para que la notación sea más sencilla se ha utilizado v y no $\|\vec{v}\|$ para denotar la la rapidez.

Para ilustrar esto, supongamos que tenemos un cuerpo de masa $2,3\text{kg}$ que se mueve según el vector $\vec{v} = \begin{bmatrix} -5\text{m/s} \\ 7,6\text{m/s} \end{bmatrix}$. Hallemos la energía cinética de dicho cuerpo. Calculemos en primer lugar el cuadrado de la rapidez, es decir, el cuadrado de la magnitud de la velocidad

$$v^2 = \|\vec{v}\|^2 = \left(\sqrt{\left(-5\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + \left(7,6\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} \right)^2 = 25\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 57,76\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 82,76\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Después de esto realizamos el producto y conseguimos que

$$E_c = \frac{1}{2}(2,3\text{Kg}) \left(82,76\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right) = 95,174\text{J}$$

Energía Potencial

En física se entiende por energía potencial, aquella que puede utilizarse para producir movimiento, es decir, obtener energía cinética. Sabemos que la velocidad de caída de un cuerpo depende exclusivamente de la altura desde la cual se dejó caer dicho cuerpo y de la aceleración gravitacional del sistema en la que se encuentra. Esto permite definir un tipo de energía que depende de la altura y es conocida como energía potencial. Si tenemos un cuerpo de masa m que se encuentra a una altura h desde cierto marco de referencia (que puede ser el suelo), definimos la energía potencial como

$$E_p = mgh$$

donde g es la aceleración gravitacional del sistema, como por ejemplo, la aceleración gravitacional terrestre. Notemos que en ningún momento se afirma que el cuerpo se encuentra en reposo respecto al marco de referencia, por lo cual tiene sentido calcular la energía potencial cuando el cuerpo se está moviendo.

Consideremos por ejemplo, un cuerpo de masa $3,5\text{Kg}$ cuya posición está dada por el vector $\vec{r} = \begin{bmatrix} 6,4\text{m} \\ 9,2\text{m} \end{bmatrix}$, respecto al suelo. Supongamos además que el cuerpo está en la Tierra y por tanto, la aceleración gravitacional del sistema es $9,8\text{m/s}^2$. Podemos entonces encontrar la energía potencial. Para esto, calculemos la altura, la cual corresponde a la segunda

coordenada del vector posición, es decir, $h = 9m$. Entonces

$$E_p = (3,5Kg)(9,8m/s^2)(9,2m) = 351,56J$$

Ley de conservación de la energía mecánica

La energía mecánica de un sistema físico se define como la suma de la energía cinética y potencial. Si tenemos un cuerpo de masa m , que se encuentra a una altura h respecto a cierto marco de referencia y se mueve en ese momento con una velocidad v , entonces si la aceleración gravitacional del sistema es g , la energía mecánica del cuerpo es

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

es decir, la suma de la energía cinética y potencial en esa situación. Notemos que se ha considerado en los dos sumandos la misma masa m .

El principio o ley de conservación de la energía mecánica establece que en un sistema aislado, la energía mecánica permanece constante, es decir, que sin importar la variación de la energía potencial y cinética, cuando estas se suman, el valor que se obtiene es siempre el mismo. Por ejemplo, supongamos que se estudia en la Tierra un cuerpo de masa $m = 8,9Kg$ que inicialmente se encuentra a una altura $h = 3m$ y se mueve con una rapidez $v = 12,6m/2$. Tiempo después se vuelven a tomar las mediciones de la altura y la masa, encontrando los valores $h = 7,1m$ y $m = 8,3Kg$ respectivamente.

¿Cuál será la rapidez con la que se mueve el cuerpo en ese momento? Para dar solución a este interrogante, utilizamos el principio de conservación de la energía mecánica.

La energía mecánica calculada a partir de los datos en el primero momento es: $E_{m1} = \frac{1}{2}(8,9Kg)(12,6m)^2 + (8,9Kg)(9,8m/s^2)(3m) = 968,142J$. Después de haber cambiado las condiciones iniciales, es decir, en el segundo momento $E_{m2} = \frac{1}{2}(8,3Kg)v^2 +$

$(8,3Kg)(9,8m/s^2)(7,1m)$. Realizando las operaciones se tiene $E_{m2} = (4,15Kg)v^2 + 577,514J$.

La ley de conservación de la energía establece que $E_{m1} = E_{m2}$ y por tanto, $E_{m2} = 968,142J$. Reemplazando este valor en la ecuación obtenida antes se tiene $968,142J = (4,15Kg)v^2 + 577,514J$. Podemos despejar v^2 para obtener

$$v^2 = \frac{968,142J - 577,514J}{4,15Kg} = 94,127 \frac{m^2}{s^2}$$

Notemos que para que la respuesta quede en m^2/s^2 es necesario sustituir $J = Kgm^2/s^2$ y después simplificar las unidades. Luego, extraemos raíz cuadrada y se consigue que $v = 9,702m/s$ es la velocidad del cuerpo en ese momento.

Momentum lineal

Definición del momentum lineal

Consideremos un cuerpo de masa m que se mueve con un velocidad \vec{v} . Se define el vector momentum lineal \vec{P} , como aquel que tiene la dirección y sentido del vector \vec{v} y cuya magnitud es:

$$\|\vec{P}\| = m\|\vec{v}\|$$

De este modo, tenemos que el momentum lineal es una magnitud vectorial que corresponde al producto del vector velocidad por el escalar masa, tal cual se definió este producto en la unidad de vectores y por tanto, al vector definido antes se le denota por $\vec{P} = m\vec{v}$.

Si tenemos un sistema físico compuesto por n cuerpos, digamos C_1, C_2, \dots, C_n , donde la letra C significa cuerpo y el subíndice es una etiqueta, podemos encontrar el vector momentum lineal para cada uno de los cuerpos que componen el sistema. Supongamos

que la masa y la velocidad del cuerpo C_1 son m_1 y \vec{v}_1 respectivamente; la masa y la velocidad del cuerpo C_2 son m_2 y \vec{v}_2 respectivamente; y así sucesivamente con los demás cuerpos, hasta el n -ésimo. Entonces, el momentum lineal del cuerpo C_1 es $\vec{P}_1 = m_1\vec{v}_1$, el momentum lineal del cuerpo C_2 es $\vec{P}_2 = m_2\vec{v}_2$, etc.

Podemos sumar estos vectores $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \dots, \vec{P}_n$ (los cuales no están necesariamente en el mismo plano), según las técnicas estudiadas para la adición de vectores en general y obtener lo que se denomina **el momentum total del sistema** y se representa por \vec{P}_T . Esto puede hacerse, por que cada uno de ellos tiene la misma unidad de medida, esto es, Kgm/s . Debemos observar sin embargo, que si es el caso, debemos realizar conversión de unidades, por ejemplo, si algunas masas se expresan en gramos y otras en kilogramos, o unas velocidades en m/s y otras en Km/h , es decir, es necesario estandarizar las unidades de medida del mismo modo que sucede con las magnitudes escalares. En lo único que se ve afectado el vector al cambiar las unidades de medida es en su magnitud, pero no en su dirección ni sentido.

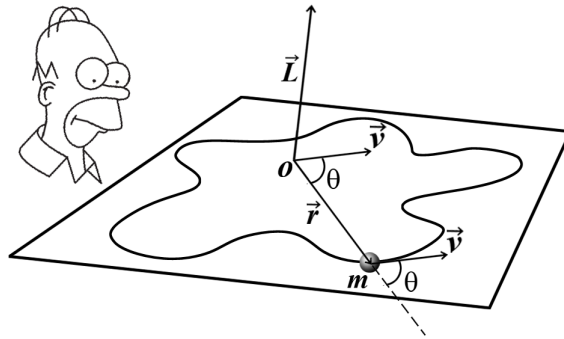
Ley de conservación del momentum lineal

Supongamos nuevamente que tenemos un sistema físico aislado conformado por n cuerpos. El principio o ley de conservación del momentum lineal establece, que el momentum total del sistema permanece constante. Esto no significa que el momentum lineal de cada cuerpo que compone el sistema permanezca invariante, sino que aunque al interior del sistema se presenten cambios en el momentum lineal de algunos o todos los cuerpos que lo componen (por ejemplo cuando estos colisionan), cuando se calcula el momentum total del sistema, siempre se obtiene el mismo vector. En otras palabras, si se calcula el momentum total del sistema en un momento 1 y se obtiene un vector \vec{P}_{T1} y después de cierto tiempo se vuelve a repetir el cálculo y se obtiene un vector \vec{P}_{T2} , entonces se debe tener la igualdad $\vec{P}_{T1} = \vec{P}_{T2}$.

Momentum angular

Definición del momentum angular

Consideremos un cuerpo de masa m que se mueve sobre un plano en una trayectoria curva como muestra la siguiente figura:



En esta ilustración se muestra el cuerpo en cierto momento, para el cual la velocidad está dada por el vector \vec{v} y la posición respecto a un punto O por el vector \vec{r} . Estos vectores forman entre si un ángulo θ , el cual se obtiene al prolongar el vector posición, según la línea punteada, o al trasladar el vector velocidad al punto en que se encuentra aplicado el vector posición. Tengamos que en cuenta que la medida del ángulo debe estar entre 0° y 180° .

Definimos el **momentum angular** del cuerpo respecto al punto O como el vector \vec{L} que satisface las siguientes características:

- La magnitud es el escalar $\|\vec{P}\| = m\|\vec{v}\|\|\vec{r}\|\sin(\theta)$.
- La dirección es perpendicular al plano que contiene la trayectoria, es decir, al plano que contiene al punto O y los vectores \vec{r} y \vec{v} .

- El sentido es hacia el observador, si este ve que la trayectoria se recorre con un sentido de giro contrario al de las manecillas del reloj, como es el caso que se ilustra en la figura, donde el observador se encuentra arriba del plano. En el otro caso (el observador ve que el sentido de giro coincide con el de las manecillas del reloj), el sentido es opuesto al del caso anterior. El sentido de giro está determinado por el sentido del vector velocidad, pues este indica hacia donde se mueve el cuerpo.

Observemos que el sentido del momentum angular es independiente del observador. Consideremos nuevamente la figura. El observador ve que el cuerpo recorre la trayectoria en el sentido de giro contrario al de las manecillas del reloj y por tanto, el sentido del momentum angular es hacia él (hacia arriba). Si el observador estuviera en la otra región del espacio determinada por el plano (debajo del plano), entonces vería que el sentido de giro coincide con el de las manecillas del reloj y por tanto, en este caso el vector no iría hacia el observador, sino en el sentido opuesto, es decir, nuevamente hacia arriba. Con esto podemos concluir que el vector momentum angular está determinado de manera única por la masa, la velocidad y la posición.

Ley de conservación del momentum angular

Análogamente al caso del momentum lineal, podemos considerar un sistema compuesto por n cuerpos, calcular el momentum angular de cada uno de ellos, respecto al mismo punto O , de acuerdo a la posición respecta a este punto y a la velocidad con la que se mueve. Después de esto los sumamos y obtenemos el **momentum angular total** del sistema.

La ley de conservación del momentum angular establece que el momentum angular total de un sistema aislado permanece constante, es decir, puede variar el momentum angular de cada componente del sistema respecto a un punto O (por ejemplo al girar el plano en el que se mueve el cuerpo), pero no ocurre así con el momentum lineal total.

Un ejemplo en el que se utiliza la ley de conservación del momentum angular para fines prácticos es el giróscopo, que consiste en una rueda metálica que gira alrededor de un eje que pasa por su centro. El eje está atado a un aro que puede girar sobre su eje. Para ver su funcionamiento visita <http://es.wikipedia.org/wiki/Gir%C3%B3scopo>. La rueda metálica se hace girar a alta velocidad, de modo que el momentum angular tenga una magnitud considerable. Este aparato se utiliza para la navegación y tiene un doble propósito:

- Si la nave se balancea, la rueda del giróscopo permanece en su posición, indicando al navegante cual es la posición adecuada.
- Cuando la nave gira para cambiar de rumbo, la rueda sigue nuevamente en su posición, lo cual puede ayudarle al navegante a retomar el rumbo inicial. Por ejemplo, el eje del giróscopo puede estar alineado en la dirección norte-sur, lo cual permite que el navegante se oriente.

Anexo 6



Segunda visita de las estudiantes al Parque Explora.

Objetivos:

- Ilustrar los principios de conservación del momentum lineal, momentum angular y energía mecánica, mediante algunas experiencias interactivas disponibles en el Parque Explora, para profundizar lo estudiado en el aula de clase.
- Contrastar las experiencias de las estudiantes en el caso de una visita estructurada hacia un concepto específico, frente a una visita de exploración libre.

Responde los siguientes numerales. Cada respuesta debe estar sustentada de acuerdo a las actividades realizadas en la Institución Educativa CEFA y el Parque Explora.

1. ¿Qué diferencias y semejanzas estableces entre las dos visitas hechas al Parque Explora?
2. ¿Cómo relacionas las experiencias vividas en esta segunda visita, con lo estudiado en el aula de clase, referente a los principios de conservación?
3. Explica cada uno de los principios de conservación teniendo en cuenta la teoría estudiada en clase y las actividades realizadas en el museo.