



**ESPACIOS COMPLEMENTARIOS DE EDUCACIÓN EN FUNCIÓN DEL
APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE MASA INERCIAL**

Julian Mateo Salazar Rico

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

**ESPACIOS COMPLEMENTARIOS DE EDUCACIÓN EN FUNCIÓN DEL
APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE MASA INERCIAL.**

Por:

Julian Mateo Salazar Rico

Trabajo de grado para optar por el título de:

Licenciado en Física.

Asesor:

Giovanny Sierra Vargas

Línea de investigación:

Enseñanza de la ciencia desde una perspectiva cultural

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EN FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi asesor, el profesor Giovanni Sierra Vargas, quien con sus conocimientos y apoyo me ha guiado en el arduo camino que transitamos en nuestra formación profesional de manera muy empática y comprensiva.

También quiero agradecer a mis padres, mis hermanos, mis sobrinos y a Dante un compañero muy especial, quienes me han brindado apoyo y experiencias inolvidables en el transcurso de este viaje llamado vida de donde he aprendido que tanto lo dulce como lo amargo le da sabor a mi crecimiento como ser humano.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. JUSTIFICACION.....	5
CAPÍTULO II	8
2.1 ANTECEDENTES	8
2.2 MARCO TEÓRICO	11
2.3 DEFINICIÓN DEL ESPACIO.....	11
2.3.1 ESPACIO COMPLEMENTARIO	12
2.3.2 ESPACIOS DE EDUCACIÓN FORMAL Y COMPLEMENTARIOS.....	12
2.3.3 ESPACIOS DE EDUCACIÓN NO FORMAL Y COMPLEMENTARIOS	13
2.3.4 ESPACIOS DE ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA	15
2.3.5 ABORDAJE DEL ESPACIO COMPLEMENTARIO	16
2.4 APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO Y AMBIENTES CIENTÍFICOS	17
2.4.1 RELACIÓN ENTRE LA EXPERIENCIA Y EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO.....	17
2.4.2 EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS.....	18
2.4.3 EL JUEGO Y SUS RASGOS PEDAGÓGICOS	20
2.4.4 ESTRUCTURAS CONCEPTUALES	21
2.5 EL CONCEPTO DE MASA.....	22
2.5.1 EMERGENCIA DEL CONCEPTO DE MASA.....	22
2.5.2 MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS SEGÚN LEONARDO DA VINCI.....	23
2.5.3 CONCEPTO DE MASA SEGÚN JUAN BAUTISTA BENEDETTI	23
2.5.4 CONCEPTO DE MASA SEGÚN GALILEO GALILEI	23
2.5.5 CONCEPTO DE MASA Y MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS SEGÚN RENE DESCARTES.....	25
2.5.6 INERCIA SEGÚN JOHANNES KEPLER.....	25
2.5.7 CONCEPTO DE MASA Y PRINCIPIO DE INERCIA SEGÚN NEWTON	26
2.5.8 PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA DE HEINRICH HERTZ.....	27
2.5.9 INERCIA PLANTEADA POR ERNST MACH.....	28
2.5.10 CONCEPTO DE MASA INERCIAL PLANTEADO POR A. DOMÉNECH	28
CAPÍTULO III	30
3.1. METODOLOGÍA.....	30

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
3.2 DESARROLLO DE LAS EXPERIENCIAS.....	34
3.2.1 PRIMER JUEGO: TORRE DE MONEDAS.....	34
3.2.1.1 ETAPA I: PREPARACIÓN Y ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA.....	34
3.2.1.2 ETAPA II: DESARROLLO DEL JUEGO.....	35
3.2.1.3 ETAPA III: DIALOGO ANÁLISIS Y SÍNTESIS	40
3.2.2 SEGUNDO JUEGO: CARRERA CON LA INERCIA	40
3.2.2.1 ETAPA I: PREPARACIÓN Y ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA.....	40
3.2.2.2 ETAPA II: DESARROLLO DEL JUEGO.....	41
3.2.2.3 ETAPA III: DIALOGO Y ANÁLISIS DE LAS EXPERIENCIAS.....	48
3.3 EXPERIENCIA PERSONAL	48
3.4 CONCLUSIONES	51
3.5. BIBLIOGRAFÍA.....	52

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en el marco de la emergencia sanitaria a causa del SARS-CoV-2 (Covid-19), de manera que se desarrollaron estrategias innovadoras de educación realizadas en diferentes espacios de educación, como son los espacios de educación formales tales como aulas presenciales y virtuales, y los espacios de educación no formales tales como los espacios museísticos considerados, de cuarta generación y ambientes extracurriculares, que fueron adecuados para el desarrollo de juegos. Haciendo uso de las características más pertinentes de estos espacios, se diseñó una estrategia pedagógica en función del generar el aprendizaje del concepto de masa inercial en estudiantes de cursos de ciencia.

El informe del trabajo se presenta en tres capítulos: el capítulo I enmarca el planteamiento del problema, el objetivo general y los específicos, así como la justificación del trabajo. En el capítulo II se presentan los antecedentes y el marco teórico donde se definen los espacios educativos que consolidaron la base del “espacio complementario de educación”, en este capítulo, también se abordan algunos aspectos pertinentes de la teoría del aprendizaje significativo que ayudan a dilucidar una estrategia pedagógica para la implementación del trabajo y se presenta un desarrollo histórico del concepto de Masa, haciendo énfasis en los autores que realizan aportes significativos al concepto de Masa Inercial, desde la filosofía Aristotélica hasta A. Doménech. Por último, en el capítulo III se presenta la metodología en la que se enmarca el trabajo, se realiza una descripción detallada de los dos juegos desarrollados en el espacio complementario de educación no formal, con sus respectivos análisis, y se muestra la experiencia personal que como docente en formación tuve durante el desarrollo de las experiencias educativas, al finalizar se presentan las conclusiones generadas a raíz de los encuentros en espacios complementarios de educación formales y no formales con el fin de abordar el concepto de Masa Inercial con estudiantes de cursos de ciencia en la educación media colombiana.

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de práctica se desarrolló en dos espacios, el primer espacio fue el Museo de la Ciencia y el Juego ubicado en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, un lugar donde la población que participa en los talleres es bastante diversa (en términos de edades y ubicación demográfica). El abordaje de los fenómenos físicos se realizó a través de los montajes interactivos del Museo, para la presente investigación se hizo énfasis en los montajes donde se apreciaron los fenómenos mecánicos estáticos y dinámicos. Gracias a este proceso de práctica se lograron evidenciar algunas dificultades presentes en estudiantes de distintas edades en cuanto a la relación entre la masa inercial y el movimiento de los cuerpos. El segundo espacio fue el Gimnasio Pedagógico Nova Estrella, ubicado en el municipio de El Espinal – Tolima, donde se logró llevar a cabo experimentos de manera remota a través de encuentros virtuales con estudiantes de los grados décimo y undécimo.

Una de las situaciones observadas de mayor importancia, giró en torno al interés mostrado por parte de estudiantes de edad avanzada (15-16 años) en comparación con estudiantes de edades inferiores entre 8 y 13 años, alrededor de los cursos de ciencia. Esta situación despertó una inquietud que se hizo más evidente en el desarrollo de las prácticas I, II, III y IV respecto al fomento del futuro capital científico de nuestro territorio. Otra situación cuestionable fue, la falencia en la comprensión de los conceptos científicos, evidenciados en las diferentes experiencias educativas desarrolladas en el Museo y en las clases virtuales con los estudiantes del Gimnasio Nova Estrella, lo cual se traduce en una dificultad y distanciamiento por parte de la mayoría de los estudiantes, hacia los ambientes en ciencias definidos como los espacios de interacción en el cual confluyen los conceptos y las actitudes de la construcción del conocimiento científico, y en un caso particular, hacia la Física. Por ejemplo, en las cuatro prácticas desarrolladas, un caso recurrente fue la mecánica, donde sin importar los espacios, como el museo, las clases virtuales y conversatorios entre otros, fue sorprendente observar que los estudiantes aprenden de memoria las ecuaciones para resolver un sinnúmero de ejercicios y dar explicaciones, pero presentan una gran dificultad al momento de observar, argumentar y aplicar estos principios de la mecánica en situaciones de su vida cotidiana, como por ejemplo, en el desarrollo de un taller en el cual fueron utilizados cuerpos con la misma masa y puestos

en caída sobre planos con diferentes grados de inclinación, denominado braquistócrona (véase la *figura 1*), se cuestionó, antes de dejarlos caer: ¿cuál es el cuerpo que llegará más rápido al final del plano?, es en este punto donde la mayoría de estudiantes desacierta en su respuesta, aunque conozcan y apliquen las ecuaciones de movimiento de Newton para la resolución de ejercicios, no logran realizar una predicción acertada del comportamiento de estos sistemas bajo la influencia de los principios de la mecánica.

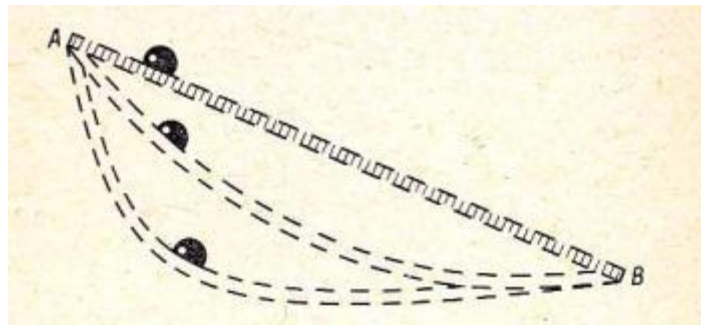


Figura 1 " Branquistócrona" tomada de:

http://arquimedes.matem.unam.mx/puemacs/PUEMAC_2008/rincon/curvas/html/braquis.html

De acuerdo con la idea planteada por Heinrich Hertz en Los Principios de la Mecánica “*El problema más directo y en un sentido el más importante que nuestro conocimiento de la naturaleza debería permitirnos resolver es la anticipación de eventos futuros de tal manera que podríamos disponer nuestros hechos presentes en concordancia con tales anticipaciones*”. (Hertz 1956, Pág. 1). El objetivo del estudio de las leyes de la naturaleza tiene como objetivo, permitir realizar predicciones acertadas de eventos futuros, en este caso, a través de qué trayectoria alcanza la meta en menor tiempo la esfera en cuestión.

De acuerdo a la cita anterior, para el presente trabajo se considerará el problema en cuanto a la anticipación de eventos futuros, descrito por Hertz, como la piedra angular que sostiene los procesos de investigación desarrollados por la física, y es este mismo problema el que genera una reflexión acerca de la importancia del factor experiencial en la consolidación del conocimiento científico, por tal motivo es pertinente relacionar este tipo de experiencias educativas desarrolladas en el Museo de la Ciencia y el Juego, mediante el juego, y llevarlas a otros espacios como el Gimnasio Nova Estrella, articulándose con las ideas abordadas previa y posteriormente en el aula. De manera que el problema de investigación se enfoca en la configuración de estos espacios educativos, para que los estudiantes tengan una representación más afín a las propiedades adscritas a las *imágenes* del mundo físico y consoliden una

predicción más acertada a los fenómenos físicos *pertinentes* en su contexto diario. Por estos motivos emerge la pregunta problema: ¿Qué efecto tienen las experiencias educativas a través del juego con el fin de acercar a los estudiantes al campo de la ciencia, de manera que fomenten la construcción del concepto científico de Masa dentro de espacios complementarios de aprendizaje formales y no formales?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar experiencias educativas, en espacios complementarios no formales mediante el juego y encuentros virtuales, posibilitando a los estudiantes de cursos de ciencia, construir y elaborar estructuras conceptuales en torno al concepto de masa.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Abordar las características y el concepto de masa inercial presentes en los estudiantes, mediante encuentros en espacios complementarios formales y no formales.
- Desarrollar dos experiencias educativas mediante el juego que favorezcan la construcción de estructuras conceptuales en los estudiantes.
- Construir con los estudiantes, representaciones del mundo natural, en el caso específico del concepto de masa inercial a través de espacios de reflexión virtuales y presenciales.

1.3. JUSTIFICACION

Es crucial enunciar que, *“los conceptos no se transmiten como se transmite la información”* (Vélez F. 2017, Pág. 12), sino que requieren de una elaboración, tanto por parte del maestro como por parte del estudiante. Según Vélez F. en 2017 *“el objetivo de la enseñanza es el aprendizaje”*, a la luz de esta afirmación se puede intuir que son las leyes de la elaboración de los conceptos en el alumno las que predominan en el proceso de enseñanza. Dichos conceptos se construyen según determinadas leyes y gracias a los trabajos desarrollados en torno a la teoría del aprendizaje por Jean Piaget, David Ausubel y Lev Vygotski entre otros, se pueden extraer factores de gran importancia para descifrar estas leyes que constituyen la construcción de conceptos científicos, presentes también en la teoría del aprendizaje significativo.” *Entre elaboración y construcción hay una diferencia de matiz que es importante resaltar. La construcción hace referencia a las estructuras o esquemas generales, la elaboración, además, a la consolidación y ornato de esas estructuras.*” (Vélez F. 2017. Pg 12)

Para abordar la construcción de conceptos científicos y brindarles un contexto, es necesario realizar un análisis retrospectivo referente a los desafíos educativos existentes, tales como, el acceso y la veracidad de la información, la puesta en práctica de saberes y la apropiación de conocimientos científicos, entre otros. (Coombs, P.H., Prosser, R.C. y Ahmmed, M. 1973)

Para el caso específico del sistema educativo colombiano es apropiado realizar un análisis desde la perspectiva de Coombs respecto a tres etapas en la solución de las problemáticas educativas emergentes como:

Cambio: Desde la Segunda Guerra Mundial, los países han sufrido cambios profundos a una velocidad asombrosa, como consecuencia de un cierto número de revoluciones mundiales de las ciencias y las tecnologías. En el caso de las instituciones educativas colombianas y en específico en el contexto del Gimnasio Nova Estrella han emergido cambios muy abruptos a raíz de la emergencia sanitaria por el SARS Covid-19, puesto que los encuentros se desarrollan de manera virtual y el entorno educativo no preveía dichas adecuaciones.

Aceptación: A pesar de que los sistemas educativos han intentado adaptarse a la velocidad y magnitud de dichos cambios, no han logrado adaptarse al ritmo de los acontecimientos a los que se encuentran ligados. Muchos estudiantes en el municipio de El Espinal no tienen acceso a un buen equipo para conectarse a las clases y otros ni siquiera tienen acceso a internet

aunando aspectos técnicos como la latencia, el ancho de banda y la velocidad de la conexión, alientan la necesidad de consolidar de nuevas propuestas educativas.

Disparidad: Existe una desproporción entre los sistemas educativos y su contexto. Esta disparidad es el principal factor de la crisis mundial de la educación, visibilizada en Colombia en el caso específico de la educación básica y media. En este caso se hace necesario el desarrollo de nuevas experiencias que permitan a los estudiantes acercarse a los ambientes científicos. Durante la pandemia se ha evidenciado una fuerte disparidad respecto a los estándares de educación propuestos por las instituciones y el acceso a la educación mediada por virtualidad, como se mencionó anteriormente, no todos los estudiantes cuentan con el equipo requerido para participar de encuentros sincrónicos.

Ahora bien, centrando la problemática en el marco del presente trabajo se puede observar la disparidad entre el sistema educativo formal y su contexto, en la medida en que se limita el desarrollo de los ambientes de ciencia, puesto que gran parte de estos ambientes están arraigados a la institucionalización y a la relación arbitraria entre el material nuevo y sus conocimientos previos en ámbitos científicos, es decir, un ambiente en donde se enfatiza la realización de un aprendizaje memorístico y no se hace una distinción clara entre el *mundo físico* y el *mundo real*, puesto que nos hemos enfocado en analizar solamente el objeto pero descuidamos las relaciones esenciales existentes entre las imágenes que recreamos de éste, (Hertz, 1956). De manera que podría afirmar que invisibilizamos todo un universo físico escondido tras cada objeto y nos ocupamos exclusivamente en la adquisición y retención de grandes cuerpos de información, desde una perspectiva acartonada y sesgada de su esencia investigativa, la cual es considerada, para el presente trabajo, el aspecto más relevante de cualquier actividad científica.

Las actividades que estimulan la curiosidad y la creatividad son las cuales, representan un mayor valor en el desarrollo de esta gran capacidad de investigación científica. Según Angulo y Avila (2010) una de las capacidades más importantes que tiene el ser humano es la creatividad, puesto que propicia la creación de nuevas ideas o soluciones innovadoras ante cualquier tipo de problema. En este caso, los problemas propuestos giran en torno al movimiento de los cuerpos.

Ante esta problemática heredada del crecimiento tecnológico y científico, se hace necesaria la implementación de nuevas estrategias educativas, que den respuesta a los diferentes cuestionamientos de las situaciones problemáticas, que con el transcurrir del tiempo han emergido, estrategias tales como, el aprendizaje significativo como herramienta en la construcción de conceptos científicos, como se desarrollará posteriormente en el texto y/o la

construcción de espacios educativos complementarios (formales y no formales) dentro del marco de la fenomenología de la física.

Para ello, desarrollar la propuesta en espacios de educación formales y no formales toma gran relevancia, puesto que estos se consolidan como espacios complementarios, espacios enriquecedores en términos educativos y en ella abundan herramientas tanto pedagógicas como tecnológicas y científicas para la representación del mundo físico. Es por esta razón que incentivar la construcción de conceptos científicos a través de un espacio complementario de educación, toma un gran sentido, puesto que este espacio es autosuficiente y propicia la participación, también les permitirá a los estudiantes observar y representar los principios que yacen detrás de los fenómenos mecánicos, desde una perspectiva científica en su contexto diario, partiendo del concepto científico de masa inercial, uno de los conceptos fundamentales de la mecánica.

CAPÍTULO II

2.1 ANTECEDENTES

En primera instancia se realizó una investigación en torno a la consolidación de espacios no formales de educación, partiendo de los documentos publicados por la UNESCO tales como la revista PERSPECTIVAS, donde se plantea, que dependiendo de los criterios escogidos se puede catalogar como “formal” cierto tipo de actividades educativas, mientras que, aplicando criterios diferentes en otro tipo de contexto se pueden catalogar actividades similares en un ámbito “no formal”, por lo que se remite a formular definiciones contextuales de educación no formal a partir de diversos parámetros, tales como la adscripción administrativa, la función, conformidad cultural, el estilo pedagógico y los sistemas de referencias, entre otros. Este caso se va a centrar en el estilo pedagógico para desarrollar un espacio de educación complementario formal y no formal. Grandstaff (1973) apunta a que en la educación “no formal” es donde yacen una serie de actividades que no forman parte del núcleo habitual de las funciones asignadas al sistema escolar. “En resumen la definición contextual no radica en lo que “es” la educación no formal sino en aquello a lo que apunta y en aquello para lo cual se hace. Podemos fabricar nosotros mismos los instrumentos que necesitamos, en vez de limitarnos a hacer lo que podamos con lo que nos hemos encontrado” Grandstaff (1973). Por otra parte, el artículo de Guillermo Orozco Gómez titulado “Los museos interactivos como mediadores pedagógicos” y publicado en la Revista Colombiana de Educación de la Universidad Pedagógica Nacional, presenta unos planteamientos muy valiosos para la consolidación del espacio museístico como un espacio no formal de educación, replanteando la manera de apreciar los museos desde la perspectiva netamente observacional hacia una perspectiva interactiva, donde se genera un proceso de comunicación, para desarrollar una experiencia educativa integral y lúdica en la que los participantes desarrollen conocimientos y saberes, y competencias comunicativas (Gomez O. 2004).

En Colombia la reglamentación en torno a la educación no formal está citada en el artículo 114 de 1996, en el artículo 4° se expresa que la educación no formal podrá ofrecer servicios de formación académica, lo cual es muy afín a los planteamientos propuestos por parte de la UNESCO.

Ahora se pondrán en contexto las investigaciones desarrolladas en torno al aprendizaje significativo en el área de las ciencias. En primer lugar Ricardo Chroback presenta un artículo titulado “Uso de estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo en los cursos de física introductoria” publicado en la revista de Enseñanza de la Física de la Universidad Nacional de Comahue en 2016. Este artículo tiene gran relevancia en la presente investigación puesto que enfatiza el problema en la memorización de definiciones sin relacionar las palabras nuevas con las ya aprendidas, por tal motivo, propone una alternativa al aprendizaje memorístico, que radica en la implementación de mapas conceptuales y la demostración de que el aprendizaje significativo es más eficiente para los estudiantes de cursos introductorios de física. (Chroback R. 2016)

Otro antecedente muy significativo, es el artículo redactado por Erika Cubides, Yulieth Romero, Hector Guzmán y Paola Roa, estudiantes de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, titulado “*El club de ciencias basado en la interdisciplinariedad y el aprendizaje significativo como estrategia pedagógica para el desarrollo de competencias científicas*” y publicado en la revista Bio-investigación en el 2011. Este artículo es producto de su proceso de práctica pedagógica desarrollado en el Instituto Pedagógico Nacional (IPN). El objetivo del club de ciencias del IPN es incentivar la participación libre y activa tanto de profesores como de estudiantes, así mismo, la curiosidad, el deseo de aprender, la capacidad de relacionarse con adelantos científicos de una manera eficaz y crítica, facilitando el crear, comunicar y construir conocimiento. Siendo estos objetivos muy afines a los objetivos del proceso de investigación a desarrollar en este proyecto de grado. (Cubides E., Romero Y., Guzman H., Roa P. 2011)

El artículo escrito por Maria Lilia Perilla y titulado “*El fenómeno de la caída libre en Galileo*” el cual es un extracto parcial de un capítulo de Tesis doctoral titulada “*El fenómeno de la caída libre y los conceptos de masa gravitacional y masa inercial*”, presentada al programa de Doctorado en Educación de la Universidad Pedagógica Nacional, la cual se llevó a cabo dentro de la línea de investigación La elaboración de los conceptos científicos, dirigida por el profesor Fabio Vélez, se presentan valiosos aportes en torno a la experimentación con cuerpos de diferentes masas en caída libre dentro de fluidos con diferente viscosidad. Estas experiencias

permitieron dilucidar el concepto de masa desde la perspectiva del medio en que se desplaza, y tienen estrecha relación con los experimentos desarrollados por Juan Bautista Benedetti. (Perilla M. 2005)

A continuación, se remite al trabajo de grado titulado “Implicaciones del tratamiento de los conceptos de Masa y Masa relativista” escrito por Fabián Ricardo Carvajal Córdoba para optar al título de Licenciado en física de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual hace una contribución a la importancia que tienen los conceptos científicos en la escuela y desarrolla ideas muy interesantes en torno al concepto de masa inercial planteadas por Martines-Chavanz. (Carvajal R. 2012). Otro trabajo de gran relevancia es el presentado por Juan Carlos Martínez Muñoz, para optar al título de Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales en la Universidad Nacional de Colombia titulado “Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de masa en los estudiantes del grado décimo de la institución educativa Raíces del Futuro”. Quien realiza apuntes significativos a la construcción histórica del concepto de Masa Inercial partiendo de Newton. También determina categorías para este concepto concorde con Domenech (1995), como lo son: categoría ontológica, categoría funcional, categoría relaciones y transposicionales y por último categoría operacional. Estas categorías son de gran importancia para el presente proyecto puesto que determina conceptos de masa desde diferentes perspectivas, facilitando así el uso del concepto para los estudiantes, puesto que facilita su determinación en los contextos diarios. (Martínez J. 2011)

De esta manera quedan referenciadas las investigaciones realizadas en torno a la educación no formal, la teoría del aprendizaje significativo y al desarrollo del concepto de masa inercial. A continuación, se desarrollará una descripción más detallada de estos tres ejes temáticos en los cuales se sostiene la investigación del presente trabajo.

2.2 MARCO TEÓRICO

Para desarrollar el presente trabajo es imperativo contextualizar el espacio en el cual tendrá lugar, para ello se exponen distintos espacios educativos como son los espacios formales, los no formales, y los no convencionales. Con el fin de construir una metodología acorde al espacio descrito en la problemática, se utilizarán los aspectos que se consideren más relevantes dentro de estos espacios educativos, de manera que se constituya un nuevo espacio llamado “espacio complementario de educación” haciendo énfasis en el uso de estrategias educativas a través del juego, puesto que para el abordaje desde un ambiente museístico interactivo es de vital importancia.

En cuanto al concepto de masa, es un concepto que ha tenido muchas transformaciones a lo largo de la historia científica, por tal razón, se presentará un análisis histórico que evidencie las diferentes perspectivas desde las que se ha abordado este concepto y donde se harán evidentes los factores más relevantes que se tendrán en cuenta para la construcción del concepto de masa en el presente trabajo.

Puesto que se abordará el espacio museístico interactivo como un espacio educativo, la educación será entendida como una “comunicación organizada y continua que tiende a suscitar el aprendizaje” según la Clasificación internacional normalizada de la educación, una estructura formalizada por la Unesco desde 1975.

2.3 DEFINICIÓN DEL ESPACIO

Como se mencionó anteriormente el espacio está definido como un espacio fuera del aula que complemente el abordaje de conceptos científicos dentro del aula, para consolidar este nuevo “espacio complementario de educación” fue necesaria la revisión y el análisis de las dinámicas que se desarrollan en espacios formales, no formales, museísticos interactivos (a través del juego) y de alfabetización científica. Como producto del proceso de práctica se logró evidenciar que el juego ocupa un lugar primordial dentro de las múltiples actividades del estudiante y en su construcción de conceptos, por lo tanto, se llevaron a cabo actividades mediante el juego que estimulen la construcción de significado en el estudiante, en este caso del concepto científico de masa inercial.

2.3.1 ESPACIO COMPLEMENTARIO

Es importante enfatizar la idea del espacio complementario como situación educativa, en concordancia con ello, el director del museo de la Ciencia de Barcelona, Jorge Wagensberg (2001) realiza una contribución apreciable, tras 20 años de experiencia en espacios no formales de educación, postula que debe ser un espacio dedicado a crear, en el estudiante estímulos a favor del conocimiento y a promover la opinión científica del ciudadano mediante conferencias, debates y seminarios. Es pertinente mencionar que las experiencias desarrolladas en el espacio complementario de educación deben diseñarse en concordancia con los temas abordados en los encuentros en espacios formales de educación, de esta manera, será explotado el potencial que tienen las experiencias para estimular la construcción de significado en los estudiantes.

2.3.2 ESPACIOS DE EDUCACIÓN FORMAL Y COMPLEMENTARIOS

La educación formal, conocida también como escolar se imparte en instituciones de enseñanza, mediante un personal docente permanente y se acoge a un plan de estudios y currículo determinado, con unas estructuras horizontales y verticales (clases de edad homogéneas y ciclos jerarquizados). Se caracteriza por tener condiciones de ingreso preestablecidas para todos, de manera que sea universal y secuencial desarrollando cierta continuidad. Hamadache A. (1991)

Es necesario hacer un análisis a las estructuras que dan forma a los espacios de educación formal, puesto que, en el caso de la Física, se hace visible la relación entre conceptos organizada en el currículo, y de esta forma se puede diseñar un avance progresivo en la construcción de nuevos conceptos como el de “masa inercial”, haciendo uso de los conceptos anteriormente abordados como “movimiento” y “reposo”.

También es importante hacer énfasis en los aspectos de la educación formal y no formal que ayudarán a consolidar un espacio educativo más enriquecedor. Por parte de la educación formal es pertinente realizar previamente, en la escuela, un cuestionamiento de los conceptos que se van a abordar en la experiencia, en este caso, el concepto de masa y el principio de inercia. De esta manera se harán evidentes las dificultades en la apropiación de estos conceptos. Según (Allard y Boucher, 1991) no deben ser experiencias aisladas, sino que deben ser complementarias, de manera que se desarrolle también un análisis mediado por el docente,

posterior a la experiencia interactiva, que propicie la apropiación de los conceptos con ayuda de algunas herramientas brindadas por la teoría del aprendizaje significativo.

2.3.3 ESPACIOS DE EDUCACIÓN NO FORMAL Y COMPLEMENTARIOS

La emergencia de la educación no formal se remonta a 1980, según un informe del Club de Roma (1980), en donde se llamaba “*el foso humano que hay que suprimir*” a la falta de correspondencia entre las situaciones cada vez más complejas creadas por la actividad humana y el lento desarrollo de nuestra capacidad para hacernos cargo de ellas. Ante este planteamiento se hace necesaria una nueva visión de enseñanza – aprendizaje, con el objetivo de mitigar esta disparidad, los autores la llamaron educación innovadora en sociedad, y se apoyaba en la anticipación consciente y la participación activa voluntaria, estos fueron los primeros eslabones en la consolidación de la educación “no formal”, puesto que se pretendía desarraigar la educación de la institucionalización. Para el caso del presente trabajo se pretende complementar la educación que está arraigada a la institucionalización, haciendo uso de las bases teóricas que en ella residen.

A raíz de la problemática expuesta anteriormente, emerge el termino de “educación no formal”, cuya definición es bastante amplia y no pretende ser definida de una manera única y universal, para ello, se emplearán definiciones publicados por la UNESCO y propuestas por autores como Ali Hamadache y Philip H. Coombs, quien define la educación no formal de la siguiente manera “*Toda actividad educativa organizada fuera del sistema de educación formal establecido y destinada a servir a una clientela y a alcanzar unos objetivos de instrucción que pueden determinarse*” (Coombs. 1973).

De manera que, retomando los postulados de Coombs, el espacio donde se desarrollaron las experiencias diseñadas para el presente trabajo fue un espacio complementario de educación no formal, puesto que sus principios proponen replantear la relación ciencia-pedagogía, a través de la creatividad como medio para la transformación.

En concordancia con Coombs, los espacios al aire libre, los foros, las exhibiciones, los experimentos, y especialmente el juego, son herramientas que permiten recontextualizar el proceso de enseñanza - aprendizaje de contenidos temáticos en el campo de la ciencia, como

el concepto científico de masa inercial, a través de la didáctica, la dinámica y la lúdica, inherente del juego, como método para involucrar a la comunidad por medio de experiencias significativas.

Desde la perspectiva de Ali Hamadache (1991) el objetivo de la educación no formal abarca todas las formas de instrucción en donde el emisor y el receptor son conscientes de un proceso de aprendizaje y en donde ambos están de acuerdo con una finalidad específica. De esta manera se puede llevar a cabo un desarrollo íntegro del concepto científico de masa inercial, a partir de la construcción de significado y de la corrección de deficiencias y contradicciones, en conjunto con la enseñanza escolar tradicional.

La educación no formal nace como complemento e incluso como sustituto de la escuela, puesto que en principio surge para dar respuesta a los fallos y defectos del sistema escolar, así lo expresa en su publicación titulada “*Educación no Formal: Concepto e ilustración*” de la revista Perspectivas (1991). Desde la perspectiva de Hamadache lo que mejor explicó la emergencia de esta educación extraescolar, fueron las ventajas que presentaba en el desarrollo socioeconómico y sociocultural.

Es pertinente hacer uso de las características de los espacios de educación no formal planteadas por Hamadache, para hacer de ellas un complemento a los espacios de educación formal:

- Su contenido es funcional y determinado a ciertos entornos. Por consiguiente, es más receptiva respecto del medio.
- Puede asumir formas diversas, heterogéneas y múltiples.
- Sus objetivos son de carácter concreto, con frecuencia a corto plazo.
- Es flexible y elástica en su aplicación.

Se utilizaron algunos aspectos mencionados anteriormente por Hamadache con relación a la construcción de un espacio de educación interactivo. Para ilustrar mejor el espacio complementario de educación no formal donde se desarrolla la experiencia, es oportuno definir el concepto de “complementario”, puesto que, nace de la necesidad de orientar a los estudiantes en la construcción de conceptos científicos, permitiendo interrogarlos, analizarlos, establecer analogías y diferencias entre fenómenos físicos y argumentar sus propias conclusiones. Por lo tanto, para que el espacio complementario de educación no formal sea capaz de incentivar la construcción de significado en el estudiante es necesario que el estudiante primero investigue,

y después sea capaz de establecer relaciones conceptuales entre lo investigado y la experiencia desarrollada haciendo uso de los criterios de comunicación yacentes en el proceso de alfabetización científica.

Para el presente trabajo se entenderá “complementario” como aquel espacio diseñado en función de enriquecer las bases teóricas abordadas en los espacios escolares formales, de manera que se puedan visibilizar los vacíos conceptuales que muchas veces se heredan del aprendizaje memorístico, y que logre superponer la experiencia educativa fuera del aula, en pro de la construcción de significado del caso específico del concepto de masa inercial.

Las características expuestas conducen a pensar el espacio complementario de educación a través del juego como un escenario para el desarrollo educativo, donde se llevan a cabo experiencias comunicativas que propician una interacción lúdica, la exploración creativa y la experimentación dirigida, en donde se posibilita el involucramiento intelectual físico y emocional de los asistentes.

2.3.4 ESPACIOS DE ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

Constancio Aguirre y Ana María Vázquez, profesores de la Universidad de Castilla-La Mancha en España, realizan un aporte muy significativo al presente trabajo, puesto que visibilizan la importancia de la construcción de un lenguaje científico comprensible tanto para el estudiante como para el maestro, mediante un artículo titulado: “*Consideraciones generales sobre la alfabetización científica en los museos de la ciencia como espacios educativos no formales*” publicado en la Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. A través del artículo fue provechoso reflexionar acerca de los procesos de alfabetización científica, puesto que uno de los problemas observados durante el proceso de práctica pedagógica fue el tímido acercamiento por parte de los estudiantes a los ambientes científicos, y es precisamente este proceso de alfabetización científica el que permite que abandonen esta timidez y se convierta en un participante activo de los procesos de aprendizaje, ya que instaura de base precedentes muy relacionados con el contexto de los estudiantes y permiten que se construya un lenguaje comprensible tanto para el estudiante como para el profesor.

Este lenguaje científico tiene como objetivo la divulgación científica, para dar a conocer de una manera fácil y accesible los avances en alguna de las ramas de la ciencia, en este caso del

concepto de masa inercial, de manera que puedan informarse y tengan una idea más clara de los adelantos científicos y tecnológicos, así como de las consecuencias del uso, desuso o mal uso de esos conocimientos en la vida diaria, un ejercicio que es complementado con la experiencia en el juego.

2.3.5 ABORDAJE DEL ESPACIO COMPLEMENTARIO

Gracias a que el denominado “Groupe de recherche sur l'éducation et les Musées (GREM)” (Grupo de Investigación sobre la Educación y los Museos) de la Universidad de Québec en Montreal - Francia, desarrolló un modelo de utilización de los museos con fines educativos, se lograron diseñar experiencias educativas en torno a tres momentos que estimulen la construcción de significado en los estudiantes, para ello es necesario potenciar la colaboración entre los espacios formales y no formales. (Allard y Boucher, 1991) Con este fin, se realiza una excelente esquematización del antes, durante y después del proceso de aprendizaje entre los espacios formales y no formales como complementarios, como se muestra a continuación:

MOMENTOS	ESPACIOS	ETAPAS	ENFOQUES	PROCESOS
ANTES	ESCUELA	Preparación	Interrogación	Cuestionamiento del objeto
DURANTE	NO FORMAL	Realización	Recolección de datos y análisis	Observación y manipulación del objeto
DESPUÉS	ESCUELA	Prolongación	Análisis y síntesis	Apropiación del objeto

Figura 1.1 “esquema GREM Allard y Boucher” Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 3 N° 3 (2004) p. 9

Se puede apreciar del esquema la experiencia en el espacio no formal, para el caso del presente trabajo la experiencia está centrada en el juego. Esta debe ser abordada previa y posteriormente en la escuela, con el fin de dotar de significado los fenómenos apreciados a través del juego y que no sean experiencias descontextualizadas que se olviden con facilidad.

2.4 APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO Y AMBIENTES CIENTÍFICOS

2.4.1 RELACIÓN ENTRE LA EXPERIENCIA Y EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Es muy importante hacer énfasis en la experiencia del museo interactivo como situación educativa, para ello se reconocerá el museo contemporáneo como de “cuarta generación” puesto que se desarrolla un proyecto específico para propiciar múltiples aprendizajes en los usuarios, en concordancia con lo expuesto, Guillermo Orozco Doctor en educación por la universidad de Harvard propone una fundamentación pedagógica para sustentar proyectos educativos en museos interactivos de ciencia y tecnología, dentro de un paradigma de exploración y descubrimiento y no de imitación y memorización. Algunas características que debe reunir el espacio museográfico para considerarse de cuarta generación son: la interactividad, alta tecnología y proyecto educativo, estas características fueron apreciadas en el espacio de práctica del museo de la ciencia y el juego y lo que se pone a consideración es el desarrollo de un proyecto educativo apropiado para la enseñanza del concepto de masa, para este trabajo se tomarán aspectos relevantes de la teoría del aprendizaje significativo.

La siguiente cita de David Ausubel tiene gran relevancia: *“El aprendizaje significativo presupone tanto que el alumno manifiesta una actitud hacia el aprendizaje significativo; es decir, una disposición para relacionar, no arbitraria, sino sustancialmente, el material nuevo con su estructura cognoscitiva, como que el material que aprende es potencialmente significativo para él, especialmente relacionable con su estructura de conocimiento, de modo intencional y no al pie de la letra (Ausubel, 1961, p. 6).”*

Prosiguiendo con la idea planteada por Ausubel, el significado recién aprendido llega a formar parte integral de un sistema ideativo particular, conforme haya una incorporación sustancial e intencionada de una tarea de aprendizaje potencialmente significativo. En consecuencia el periodo de retención se expande enormemente, es decir, al no ser una relación arbitraria y al pie de la letra, los significados toman mayor relevancia y se construyen relaciones concretas entre los conceptos y sus significados, así el estudiante se apropia de dichos conceptos, como por ejemplo el concepto de masa inercial, de manera que son evidentes para él en varios contextos, como consecuencia, retiene estos conceptos durante un periodo más largo de tiempo en comparación con conceptos adquiridos mediante el aprendizaje memorístico.

2.4.2 EL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS

El uso de procedimientos solo es eficaz si se dispone de conocimientos conceptuales adecuados, puesto que muchos estudiantes no poseen este tipo de conocimientos se hace necesario reorientar las propuestas de investigación e innovación de la didáctica hacia la comprensión de los núcleos conceptuales básicos de la ciencia. Existen fuertes concepciones alternativas a los conceptos científicos que se les enseñan a los estudiantes, por lo que los conocimientos verbales requieren un análisis de las dificultades que plantea su aprendizaje. (Pozo, 2009)

Con el fin de solventar las dificultades al abordar los conocimientos verbales desde la perspectiva de la alfabetización científica, Ignacio Pozo, plantea algunas estrategias en su libro “El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos”. La siguiente tabla, tomada del libro, nos permite realizar una diferenciación más clara entre hechos y conceptos, a través de la evaluación, y así generar una contribución a la alfabetización científica mencionada anteriormente:

<ul style="list-style-type: none">• Evitar preguntas y tareas que permitan respuestas reproductivas, es decir, evitar que la respuesta “correcta” esté literalmente incluida en los materiales y actividades de aprendizaje
<ul style="list-style-type: none">• Plantear en la evaluación situaciones y tareas nuevas, al menos en algún aspecto, requiriendo del alumno la generalización de sus conocimientos a una nueva situación.
<ul style="list-style-type: none">• Evaluar al comienzo de las sesiones o los bloques temáticos los conocimientos previos de los alumnos, activando sus ideas y trabajando a partir de ellas.
<ul style="list-style-type: none">• Valorar las ideas personales de los alumnos, promoviendo el uso espontáneo de su terminología, entrenándoles en parafrasear o explicar las cosas con sus propias palabras.
<ul style="list-style-type: none">• Valorar las interpretaciones y conceptualizaciones de los alumnos que se alejan o desvían de la idea aceptada. Esta valoración debe hacerse no sólo antes sino también después de la instrucción.
<ul style="list-style-type: none">• Utilizar técnicas “indirectas” (clasificación, solución de problemas, etc.) que hagan inútil la reproducción literal y acostumar a los alumnos a aventurarse a usar su

conocimiento para resolver enigmas, problemas y dudas, en lugar de encontrar la solución fuera de ellos (en el profesor, en el libro, etc.)

Figura 1.2 criterios para diferenciar entre hechos y conceptos (Pozo, 1992. Pág. 91)

Mediante las estrategias planteadas, se pretende incentivar la participación de los estudiantes, (un factor de vital importancia en la teoría del aprendizaje significativo) de manera que se logre dar pie a la constitución de una alfabetización científica satisfactoria.

Para propiciar un aprendizaje significativo de conceptos, es necesario realizar una organización del contenido a abordar, comenzando por las características que debe tener el material de aprendizaje para que pueda ser comprendido, la principal exigencia es que tenga una organización conceptual interna, es decir, que no constituya una lista arbitraria de elementos yuxtapuestos. (Pozo y Crespo, 2009) Es por este argumento que se desarrolla un abordaje del concepto de masa históricamente, desde la perspectiva de los científicos y filósofos más reconocidos (considerados más relevantes, guardando una relación de historicidad) en torno al movimiento de los cuerpos.

Para ilustrar con mayor claridad los aspectos del aprendizaje significativo que se consideran relevantes para el aprendizaje del concepto de masa inercial, se hará uso del siguiente diagrama realizado por Ausubel, Novak y Hanesian, en el cual se representan las condiciones ideales para propiciar un aprendizaje constructivo:

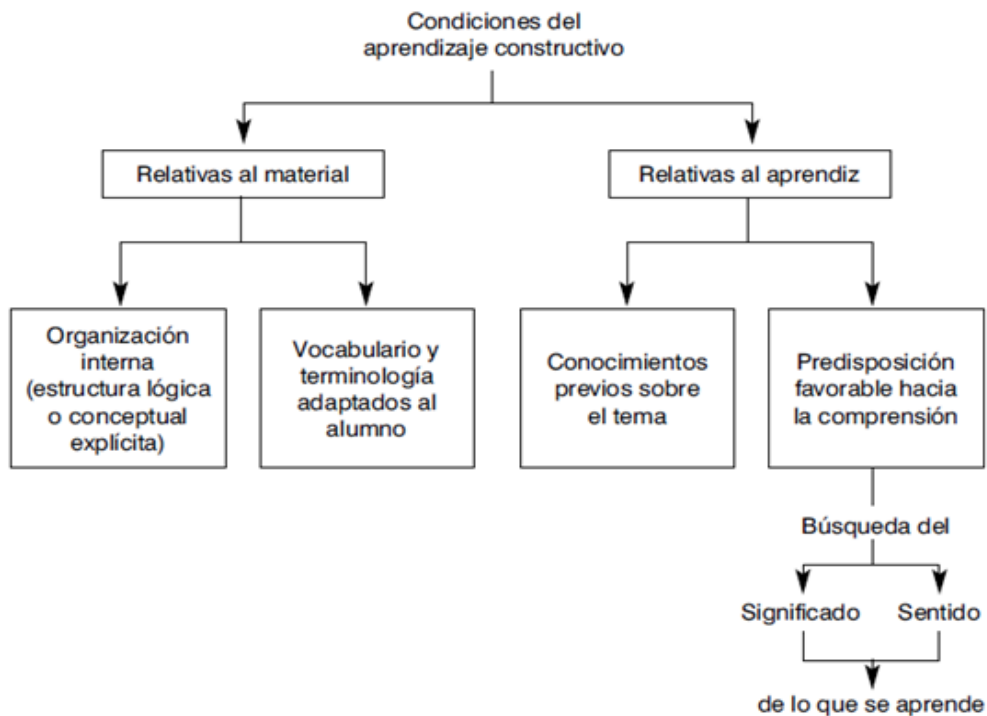


Figura 1.3 mapa conceptual de condiciones del aprendizaje constructivo (AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. y HANESIAN, H. 1978, tomado de Pozo, 1992. Pág 92)

Según Francis Bacon los investigadores no deben aceptar como verdades absolutas las premisas transmitidas por autoridades en la materia, sino plantear conclusiones basándose en hechos observados directamente en la naturaleza. En concordancia con esta afirmación se otorgará una mayor relevancia a las conclusiones producidas a raíz de la observación de los fenómenos físicos, por parte de los estudiantes, y serán estas conclusiones las fichas claves al momento de desarrollar los diálogos y los análisis de los fenómenos que giran en torno al concepto de masa (Dávila Newman, Gladys, 2006).

De esta manera se muestra la sustancial relación existente entre los espacios complementarios de educación, en función de la alfabetización científica y los aspectos considerables dentro de la teoría del aprendizaje significativo, como lo son la observación y descripción de fenómenos físicos, a fin de consolidar el aprendizaje de conceptos científicos. Habiendo realizado esta claridad, se expondrá el concepto científico al que se ha hecho alusión a lo largo del trabajo.

2.4.3 EL JUEGO Y SUS RASGOS PEDAGÓGICOS

Según (Ortega Rosario, 1996, p. 120) el juego se puede pensar como un marco educativo privilegiado gracias a la tendencia a valorar situaciones naturales y cotidianas como escenarios de desarrollo espontáneo. En concordancia con lo anterior, Piaget (1946) aborda el juego en un

estudio sobre la formación del símbolo en el niño, se puede observar lo que Piaget llama una teoría estructural. Allí plantea la relación del juego con las estructuras cognitivas de manera que el juego no es otra cosa que una orientación personal en el funcionamiento de las estructuras cognitivas generales, esta orientación es de naturaleza subjetiva y personal. Para el presente trabajo se tuvieron en cuenta tres rasgos específicos enunciados por Piaget, el subjetivismo el cual se centra en el autotelismo (máxima finalidad en la acción propia), la espontaneidad en donde se exponen la conducta indagatoria y la científica en términos de actividad espontánea no controlada y actividad espontánea controlada respectivamente, y por último el placer, Piaget propone que es la cara afectiva el autotelismo, y supone la eliminación de la meta como motor de la acción.

2.4.4 ESTRUCTURAS CONCEPTUALES

En primera instancia cabe aclarar que para que el estudiante desarrolle estructuras conceptuales, primero se alude a los “esquemas” los cuales representan lo que puede repetirse y generalizarse en acciones; es decir, el esquema es aquello que poseen en común las acciones, por ejemplo "desplazar" un objeto con una barra o con cualquier otro instrumento. Un esquema es una actividad operacional que se repite (al principio de manera refleja) y se universaliza de tal modo que otros estímulos previos no significativos se vuelven capaces de suscitarla. Un esquema es una imagen simplificada (por ejemplo, el mapa de un colegio,). (Piaget J, 1976)

Acorde con los esquemas, las estructuras conceptuales son el conjunto de respuestas que tienen lugar luego de que el sujeto de conocimiento ha adquirido ciertos elementos del exterior. Así pues, el punto central de lo que podríamos llamar la teoría de la fabricación de la inteligencia es que ésta se "construye" en la cabeza del sujeto, mediante una actividad de las estructuras que se alimentan de los esquemas de acción, o sea, de regulaciones y coordinaciones de las actividades del estudiante. *“La estructura no es más que una integración equilibrada de esquemas”* (Piaget J, 1976). Así, para que el estudiante pase de un estado a otro de mayor nivel en el desarrollo conceptual, tiene que emplear los esquemas que ya posee, pero en el plano de las estructuras como, mapas mentales, mapas conceptuales, diagramas de flujo, cuadros comparativos y dibujos que permitan relaciones entre los conceptos presentes en el estudiante con los nuevos conceptos producto de los elementos del exterior tales como las experiencias y los fenómenos físicos apreciados.

2.5 EL CONCEPTO DE MASA.

2.5.1 EMERGENCIA DEL CONCEPTO DE MASA

Las primeras concepciones datadas acerca del movimiento de los cuerpos nos llevan a Grecia, donde los aristotélicos ya comenzaban a datar su percepción de la materia y de los fenómenos referentes al movimiento de los cuerpos, en esta instancia se planteaba que todos los cuerpos tienden a estar en su estado natural, este planteamiento se evidenciaba cuando en un fluido como el agua, los cuerpos pesados caen y los cuerpos livianos ascienden. Los aristotélicos catalogaban los movimientos en dos tipos, el movimiento natural, correspondiente a los fenómenos de caída libre y el movimiento violento, como por ejemplo el lanzamiento de proyectiles.

La premisa más controversial en la filosofía aristotélica fue la de afirmar que las velocidades de caída de los cuerpos dependían de sus pesos, es decir que los cuerpos de peso mayor caían más rápidamente y los de peso menor, más lentamente. Según las investigaciones de Wohlwill, fue Filoponos, un escritor del siglo VI, quien se opuso decididamente a la afirmación de que los cuerpos con mayor peso caen más rápidamente, esta oposición tuvo gran influencia en autores como Leonardo, Cardano, Giordano Bruno, Benedetti y Galilei. (véase Wohlwill, *Ein Vorgänger Galileis im 6. Jahrhundert. Physik. Nr 1*, pág 23-32). Desde grandes pensadores como Aristóteles el concepto de masa estuvo directamente relacionado con otros conceptos, tales como la densidad y el volumen, de manera que no estuvo definido explícitamente sino más bien era parte de una relación entre la cantidad de materia y el espacio que ocupaba el cuerpo.

Como se expuso anteriormente la visión Aristotélica de causa-efecto, manifestaba que la causa yacía en el peso y el efecto radicaba en el movimiento del cuerpo, pero de acuerdo a esta lógica, a mayor peso debería haber mayor velocidad de movimiento, aunque hubieron algunos opositores, este principio se mantuvo vigente hasta que fue experimentalmente refutado gracias a los cuestionamientos planeados por Juan Bautista Benedetti (1585), y desarrollados en sus escritos "*Resolución de todos los problemas de Euclides*" y el libro "*Diversas consideraciones matemáticas y físicas* ", en los cuales desarrolló diversos experimentos en caída libre, que fueron refinados por su discípulo, el gran genio Galileo Galilei, quien determinó que el fluido por el que caían los cuerpos era de gran relevancia en la descripción de sus trayectorias, puesto que de acuerdo a la resistencia al movimiento presentada por el medio, se verían afectadas las velocidades de caída de cada cuerpo.

2.5.2 MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS SEGÚN LEONARDO DA VINCI

Para poder ilustrar de una manera más amplia la emergencia y transformación del concepto de masa se enunciarán a los autores más relevantes en cuanto al desarrollo del estudio del movimiento de los cuerpos a partir de los planteamientos aristotélicos en adelante, comenzando por Leonardo Da Vinci (1452-1519). Aunque sus trabajos no pudieron influir en gran medida en la marcha de la ciencia hasta 1797 donde fueron conocidos parcialmente por la publicación de “*Venturi*”. Leonardo da Vinci realizó algunos aportes en el aspecto filosófico del movimiento de los cuerpos, en *Venturi* (1797), Leonardo pone de pie conceptos acerca de la relación de los tiempos de caída según la longitud y la altura de un plano inclinado así como de la persistencia de todo movimiento inicial, por ejemplo, cuanto menor sea la resistencia del medio en el que se mueve un cuerpo, el movimiento se prolonga, aunque nunca habla de la persistencia cuando falta completamente la resistencia (Véase Wohlwill, *Biblioteca Mathematica*, Stockholm, 1888, pág. 19).

2.5.3 CONCEPTO DE MASA SEGÚN JUAN BAUTISTA BENEDETTI

Los aportes de Juan Bautista Benedetti (1530 - 1590), predecesor de Galileo, fueron de gran importancia, puesto que conocía la aceleración del movimiento de caída y la refiere a la suma de los impulsos de la gravedad durante el tiempo de caída. Benedetti planteaba (en oposición a la afirmación aristotélica) que la condición de movimiento de un cuerpo, no se atribuía a la influencia del aire sino a una “*virtus impressa*” sin llegar sin embargo a una completa claridad en el problema (G. Benedetti, *Sulle proporzioni dei moti local*, a Venezia 1553. *Divers. Speculat. Math. Et physic*, liber Taurini, 1585). Esta postura marca un precedente ya que sigue la corriente propuesta por Filoponos, pero en este caso tiene un fundamento experimental más robusto, cuyo sucesor (Galileo Galilei) se encarga de profundizar y hacer pública.

2.5.4 CONCEPTO DE MASA SEGÚN GALILEO GALILEI

Ahora se va a abordar al mayor opositor de la filosofía aristotélica, Galileo Galilei, partidario del “divino” Arquímedes e inmediato sucesor de Benedetti, quien también plantea que en el tiro existe una “*Vis Impressa*” (G. Benedetti), gradualmente decreciente. Planteó que la gravedad tiene un creciente predominio hacia abajo y que el movimiento de caída es acelerado,

una concepción afín a la de Hiparco (siglo II a.C.) quien afirma que cuando el proyectil se dirige hacia arriba, la *Vis Impressa* conduce una “livianidad”, hasta que esta disminuye y comienza su movimiento de caída.

Durante su estancia en Pavoda, Galileo dejó de preguntarse en el “porqué” y comenzó a preguntarse en el “cómo”, correspondiente a los movimientos de caída acelerados de los cuerpos. Gracias a sus experimentos pudo reconocer una trayectoria parabólica en el lanzamiento de proyectiles y de ahí dedujo la proporcionalidad de los espacios de caída con el cuadrado de los tiempos de caída. Respecto al movimiento uniformemente acelerado de los cuerpos, Galileo lo designó como aquel en el cual los incrementos en la velocidad eran proporcionales a la duración del movimiento. Por último, se ha llegado a hacer de la inercia una propiedad general de la materia, contenida en la concepción de Galileo de que toda circunstancia que determina un movimiento (fuerzas) provoca aceleraciones, es decir, una fuerza determina aceleraciones, entonces donde no hay fuerza no hay aceleraciones (*Le opere complete di Galileo Galilei*. Edición nacional, 20 vols. Firenze, 1890-1900).

Según Ernst Mach, Galileo descubrió la llamada ley de inercia de forma completamente incidental, afirma que sobre un cuerpo en el que no actúa ninguna fuerza, se mantiene invariable su dirección y velocidad. Para Galilei esta ley no desempeña un papel muy especial, más bien hace de la inercia una propiedad general de la materia, este principio está contenido en la concepción de Galilei de que toda circunstancia que determina un movimiento (fuerza) provoca aceleraciones. Por lo tanto, se puede afirmar que una fuerza no determina ni una posición ni una velocidad sino una aceleración, es decir una variación en la velocidad. Análogamente no puede existir una variación en la velocidad sin la presencia de fuerzas. (E. Mach “Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt” Balmes. Rauch 1847 Buenos Aires Pg. 120-121).

Según Mach (1847), una falsa tendencia hacia el rigor escolástico (escuela medioeval) puede conducir a errores tales como considerar la inercia algo evidente por sí mismo, o deducirla del principio general “el efecto de una causa persiste”, siendo el efecto la velocidad adquirida. Si consideramos por contraposición “cessante causa cessat effectus” (cuando cesa la causa cesa el efecto) tiene sentido considerar la aceleración como el “efecto”. Pero de ninguno de estos principios se puede deducir directamente el principio de inercia.

Acotando el caso a la caída libre en el vacío, Galileo observó que los cuerpos de diferentes masas caían casi a la misma velocidad, tomando la velocidad como la distancia recorrida en un tiempo determinado, Galileo observó que la diferencia en la distancia recorrida por cuerpos de masas muy diferentes fue de apenas un par de pulgadas (Galileo, G. 1976).

2.5.5 CONCEPTO DE MASA Y MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS SEGÚN RENE DESCARTES

Es importante señalar los aportes desarrollados por René Descartes, quien durante su estadía en Holanda (1617-19), se ocupó de la aceleración de la caída. Conoció como respuesta de una carta escrita a Mersenne en 1629 completamente la ley de inercia (E. Wohlwill en “Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes”, pág. 142,143), la ley del movimiento uniformemente acelerado bajo la influencia de una fuerza constante. Los trabajos de Galilei y Descartes son complementarios, por una parte, Galileo se encarga de la descripción de “cómo” se mueven los cuerpos sin ocuparse de su causa y Descartes atribuye esta causa a una “fuerza constante” encajando en resultados más generales.

Los pensamientos filosóficos generales de Descartes se pueden resumir de la siguiente manera: 1° Sin ceder movimiento a otro cuerpo no hay pérdida de movimiento (inercia). 2° Todo movimiento es originado o transmitido por algo. 3° La cantidad de movimiento originario es indestructible. Todo movimiento que se presente como aparentemente espontáneo es producido por empujes impresos invisibles.

2.5.6 INERCIA SEGÚN JOHANNES KEPLER

Los aportes de Kepler fueron muy importantes en cuanto a la descripción de las orbitas celestes como a la definición de la inercia así lo expresa a continuación. *“Kepler introdujo el término inertia en el discurso sobre el movimiento. Pero para Kepler la inertia (del término latino que significa indolencia o indiferencia) implicaba ante todo que la materia no puede por sí misma empezar a moverse. (...) Mejor dicho, debido a su inercialidad la materia necesita un motor.”* (Bernard Cohen, I. El nacimiento de una nueva ciencia. Apéndice 8, 217.)

Pero la perspectiva Newtoniana tenía una concepción diferente a lo que se refiere como inercia, en la segunda edición de los Principia afirma lo siguiente: *“no entiendo por fuerza de inercia la de Kepler por la cual los cuerpos tienden al reposo, sino la fuerza de mantenerse en el mismo estado de reposo o movimiento”*, con esta proposición Newton plantea que la fuerza ínsita puede llamarse con toda propiedad fuerza de inercia (Newton I, 2011).

2.5.7 CONCEPTO DE MASA Y PRINCIPIO DE INERCIA SEGÚN NEWTON

Ahora bien, el principio de inercia no fue formalmente definido sino hasta la aparición del padre de la física Isaac Newton, quien pretendía explicar las causas del movimiento, a partir de una serie de definiciones enunciadas a continuación: En el libro I de los Principia establece la Definición I: “*la cantidad de materia es la medida de la misma, originada su densidad y volumen conjuntamente*” (Newton I, 2011). Mediante la experimentación Newton plantea una forma de determinar su valor: “*la masa se da a conocer mediante el peso de cada cuerpo, pues la masa es proporcional al peso, como he descubierto por experimentos muy precisos con péndulos*”: (Newton I, 2011).

Por otra parte, en la Definición II:” *La cantidad de movimiento es la medida del mismo obtenida de la velocidad y de la cantidad de materia conjuntamente*” (Newton I, 2011) y III:” *La fuerza ínsita de la materia es una capacidad de resistir por la que cualquier cuerpo, por cuanto de él depende, persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo*” (Newton I, 2011).

En la Definición IV, Newton ilustra la relación entre la fuerza impresa e inercia en el estado de movimiento de un cuerpo, lo expresa de la siguiente manera: “*La fuerza impresa es la acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme*” afirma que los orígenes de la fuerza impresa pueden ser un golpe, un cambio de presión o la fuerza centrípeta y que esta fuerza no permanece en el cuerpo después de la acción ya que el cuerpo permanece en este nuevo estado únicamente por inercia (Newton I, 2011).

En un principio se consideraba la masa como la relación entre densidad y volumen, Newton no estaba satisfecho con esta definición, así que decidió referirse a la masa como una característica determinante del movimiento que era diferente de su peso, un mismo cuerpo en distintas latitudes geográficas y en distintos lugares del espacio presenta aceleraciones de la gravedad muy diferentes, se reconoce a la masa como una característica determinante del movimiento y distinta del peso. Para Newton es imposible desligar el principio de acción – reacción con el concepto de masa. Cabe aclarar que para Newton la “cantidad de materia” no es una representación adecuada para explicar el concepto de masa. Al referirse de la presión debida al peso se hace la hipótesis

$$P = mg \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Y se deduce:

$$p' = m'g \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

es decir, se define la razón de las masas como la relación de las presiones debidas a los pesos para una misma g . Fijando arbitrariamente que *los cuerpos de igual masa son aquellos que actuando uno sobre el otro se comunican aceleraciones iguales y opuestas*. El concepto de masa contiene la determinación precisa, la caracterización y la denominación de un hecho. Puede deducirse de la definición de masa la mensurabilidad de la masa por el peso (para una aceleración constante), deducción que está basada principalmente en la experiencia. Newton al igual que Galileo no se esfuerza por explicar la causa o el “porqué” del movimiento y atribuye estas razones a la acción divina, y de la misma forma que su predecesor se enfoca en describir los fenómenos “el cómo” del movimiento de los cuerpos (Mach E, 1949).

De acuerdo con las definiciones planteadas por Newton en sus Principia, hace alusión al principio de inercia, donde enuncia que un cuerpo persevera en su estado de reposo gracias a la fuerza ínsita, proveniente del latín *insītus*, que hace referencia a la fuerza “inculcada” en la materia. Esta última definición es la de mayor importancia en el presente trabajo puesto que apunta hacia la construcción de una base conceptual del concepto “Masa Inercial”.

Resumiendo, podemos dar dos definiciones del movimiento de los cuerpos, la primera es que la materia posee el poder de resistir, de ahí que todo cuerpo persista, por lo que a él le atañe, en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme. La segunda es que una fuerza aplicada es el impulso ejercido para variar el estado de un cuerpo, ya sea a partir del reposo o del movimiento rectilíneo uniforme. Estos movimientos se pueden atribuir a características de los cuerpos como lo son la masa inercial y la masa gravitacional respectivamente, de manera que la definición de masa solo puede deducirse de las relaciones dinámicas de los cuerpos en sí.

2.5.8 PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA DE HEINRICH HERTZ

Es pertinente poner en mención las ideas sobre la mecánica expuestas por Hertz, donde las “*imágenes*” que nos hacemos deben ser formadas de manera que “*sus consecuencias mentales necesarias*” deban corresponder a las “*consecuencias naturales necesarias*” de los objetos de

observación. Como lo expresa en “Los principios de la mecánica” (H. Hertz, Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt Leipzig, 1894). Hertz afirma que las masas, de acuerdo con sus vínculos se mueven en unas trayectorias lo más rectilínea posible y que toda desviación del movimiento de una masa respecto del movimiento rectilíneo uniforme se atribuye a sus vínculos con otras masas y no a una fuerza, de manera que la fuerza y la energía son conceptos auxiliares secundarios.

2.5.9 INERCIA PLANTEADA POR ERNST MACH

Ahora se pondrá en mención el principio de Mach, el cual se encarga de describir la inercia en términos de la rotación medida de dos formas independientes, la primera es de un modo local absoluto, tomando medida de las tensiones requeridas en el cuerpo para evitar que las partes externas se desprendan y la segunda con relación a las estrellas fijas.

Mach afirmaba que la materia distante en el universo determina efectos inerciales, como la rotación, de modo que si no existiera ninguna materia en el resto del universo no habría efectos de inercia o rotación.

Para Mach (E. Mach “Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt Balmes.Pg 228-232 Rauch 1847 Buenos Aires) es inadmisibile deducir la ley de inercia a partir de un principio general como el de causalidad, puesto que se le asigna a la afirmación una certeza axiomática, y puesto que también la ley de inercia recae en un espacio absoluto, lo que supone una constancia en el estado de los cuerpos abandonados a sí mismos. La crítica de Mach es de gran importancia puesto que propone cuestionamientos en torno al espacio en el que se mueven los cuerpos, ¿es un espacio absoluto en el que nos movemos? ¿existe el movimiento absoluto? Mach marca un precedente en torno a las concepciones de movimiento trabajadas desde la filosofía aristotélica hasta la mecánica newtoniana, lo que permite desarrollar nuevas perspectivas acerca del movimiento de los cuerpos y del principio de inercia.

2.5.10 CONCEPTO DE MASA INERCIAL PLANTEADO POR A. DOMÉNECH

Ahora se postularán las definiciones respecto a Masa Inercial propuestas por Doménech (1992): *“Al margen de la dicotomía entre masa inercial y masa gravitatoria, una interpretación ampliamente extendida es la que identifica masa con inercia o pesadez... La magnitud así definida se concibe como responsable de la posesión de determinadas*

propiedades o tendencias, o el ejercicio de determinadas respuestas u operaciones por los sistemas físicos a los que se atribuye.” (DOMÉNECH A. 1992). Según esto se puede definir la masa inercial a partir de la diferenciación de la masa gravitacional, y esta definición es muy afín a las características de pesadez de un cuerpo, ahora postularemos una definición más específica respecto a las propiedades inerciales de la materia: “La masa inercial se definiría como un coeficiente de proporcionalidad, característico de cada cuerpo, obtenido como relación entre las fuerzas sobre el aplicadas y las aceleraciones que experimenta.” (DOMÉNECH A. 1992).

A la luz de lo expuesto anteriormente se podría concebir de manera general, para el presente trabajo, la masa inercial como la medida de la inercia de los cuerpos. Es decir, la tendencia a mantener su estado de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme bajo la acción de cualquier tipo de fuerzas, visto de otra manera, la masa inercial es la resistencia que presenta un cuerpo para cambiar su estado de movimiento.

CAPÍTULO III

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Una parte de la metodología de este trabajo se apoya en el razonamiento inductivo, propuesto por primera vez por Francis Bacon (1561-1626), quien plantea que los investigadores deben establecer conclusiones generales basándose en hechos recopilados mediante: la observación directa de la naturaleza, la reunión de datos particulares y la realización de generalizaciones a partir de ellos (Bacon F, 2011). La población en la que se realizó la implementación del presente trabajo se encuentra entre séptimo y décimo de bachillerato, y las edades oscilan entre 10 y 14 años y de acuerdo con Bacon se tomó como punto de partida una situación específica “juego”, y mediante los fenómenos observados y al análisis en conjunto, se llegó a una conclusión general.

La presente investigación se llevó a cabo en dos fases, en la Fase I, se establecieron los criterios de diseño e implementación de las experiencias y los juegos que permitieron elaborar un concepto de Masa en los estudiantes. Entre los cuales están: crear estímulos a favor del conocimiento, estimar un tiempo de implementación prudente, organizar el contenido a abordar, el abordaje de las características y términos referentes a los espacios complementarios de educación y al concepto científico de masa, la contextualización del espacio donde se desarrollaron las actividades y la puesta en práctica de saberes que se proponen en torno a la consolidación de un espacio complementario de educación formal y no formal dentro de un paradigma de exploración y descubrimiento.

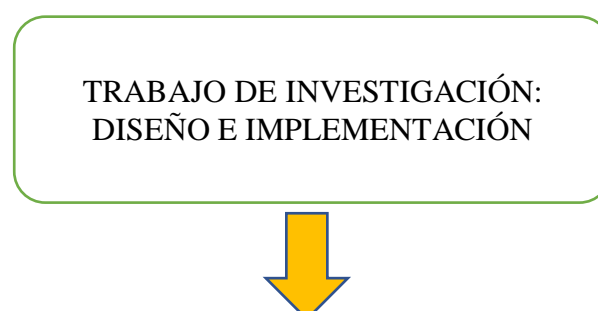
La Fase II, abordó la ejecución de los juegos, a través de actividades concordes a los criterios establecidos. Esta fase, se desarrolló en tres etapas, la Etapa I corresponde a la familiarización de conceptos y alfabetización científica mediante encuentros en espacios virtuales sincrónicos. A través del dialogo se abordaron los conocimientos previos de los alumnos, se activaron sus ideas y se trabajó a partir de ellas. Se los incentivó a parafrasear, para explicar los fenómenos mediante algunos términos presentes en el proceso de alfabetización científica como “equilibrio” y “estado de movimiento”.

La Etapa II corresponde al desarrollo de los dos juegos en un espacio dinámico, funcional y determinado a un entorno científico. El primer juego llamado “Torre de monedas” el cual consistió en apilar monedas sobre un papel ubicado en la parte superior de una botella, el objetivo del juego es desplazar el papel sin desequilibrar las monedas. Para mantener dicho equilibrio se propuso que, las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo forman un sistema de fuerzas equivalentes a cero: $\sum F = 0$ (ecuación 2)

De manera que, el sistema de fuerzas externas no impartirá ni movimiento de traslación o rotación al cuerpo rígido en cuestión (la torre de monedas). El segundo juego llamado “Carrera con la inercia” consiste en desplazar mediante un cordón atado al tobillo, un camión de juguete, sobre el cual descansa otro camión de juguete, hasta una meta ubicada a 3 metros, manteniendo el estado de equilibrio entre los dos camiones, de manera que, si el camión que descansa arriba se desplaza y se cae, el jugador deberá empezar desde el punto de partida.

La Etapa III, se llevó a cabo dentro de espacios escolares y corresponde al análisis y síntesis de los fenómenos observados mediante el dialogo y representaciones gráficas. En esta etapa los estudiantes vinculan mediante un dialogo abierto los conceptos abordados en la primera etapa y los fenómenos evidenciados en la segunda etapa, de allí surgen las conclusiones de los estudiantes.

Para ilustrar la ruta metodológica se diseñó el siguiente esquema el cual muestra las dos fases enunciadas en el proceso de diseño e implementación y las tres etapas de gran relevancia en el proceso de aprendizaje de conceptos científicos referentes a la Fase II: Desarrollo de experiencias.



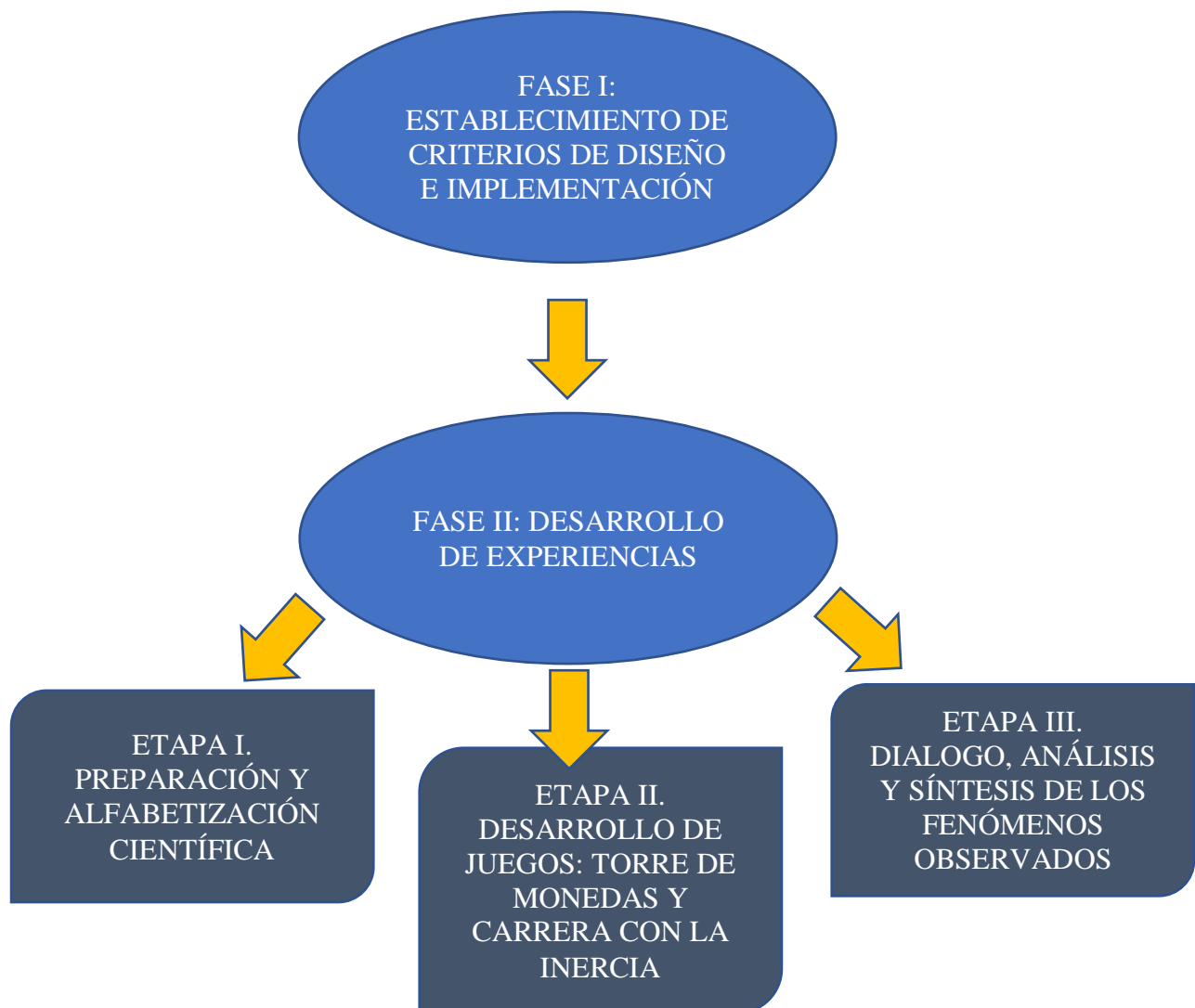


Figura 2.0 Esquema de la ruta metodológica planteada para la implementación del trabajo de investigación. (Elaboración propia)

De acuerdo con la Fase I, es necesario realizar un estudio respecto a la organización de contenidos y el espacio donde se van a abordar. Por tal motivo se configuró un espacio complementario de educación formal y no formal. En concordancia con el esquema “GREM Allard y Boucher” presentado en la página 20, se diseñaron las experiencias en tres etapas anteriormente enunciadas, dos etapas desarrolladas en espacios complementarios de educación formal y una etapa desarrollada en un espacio complementario de educación no formal. De manera que se diseñó un orden y selección de actividades educativas adecuadas que cumplieran con el enfoque GREM. Las experiencias fueron orientadas de acuerdo con los criterios de los espacios. La implementación se apoya en los modelos educativos constructivistas en instancias de valorar las ideas personales de los estudiantes de manera que se promueva el uso espontáneo de su terminología y de aprendizaje significativo como la utilización de técnicas “indirectas” que acostumbren a los estudiantes a usar su conocimiento para resolver enigmas y dudas. Con el objetivo de fomentar una comunicación más fluida entre los estudiantes y los profesores, se

proponen estructuras de interacción del grupo, en una instancia mediante encuentros virtuales y en otra instancia mediante encuentros presenciales, de manera que ambos espacios brinden herramientas de representación oportunas para los estudiantes.

En cuanto al desarrollo de la Fase II, cabe esclarecer que fue imperativo desarrollar los juegos de manera presencial, puesto que los simuladores actuales no ofrecen las características completas, para evidenciar los factores que dan forma al concepto de masa inercial, y en la mayoría de los casos, los fenómenos físicos escapan a la vista de un simulador virtual, por tales razones, se desarrollaron experiencias en momentos extraescolares. Las experiencias se desarrollaron con miras a crear estímulos a favor del conocimiento, fueron flexibles en su aplicación, haciendo uso de un lenguaje comprensible y se determinó este espacio como espacio complementario de educación no formal.

Es pertinente resaltar las tres etapas de la Fase II pues fueron de gran importancia para el aprendizaje de conceptos científicos. La primer etapa es precedente a la experiencia y consiste en la preparación mediante la exposición de conceptos, la interrogación y el cuestionamiento del objeto. Este momento fue de vital importancia en el proceso de “alfabetización científica” anteriormente enunciado, puesto que en él se propusieron de base los términos “estado” y “equilibrio” familiarizados a la mecánica y en torno al concepto científico de masa. El objetivo de este momento fue generar una comunicación más fluida entre los maestros y los estudiantes.

La segunda etapa se refiere a la experiencia del juego, para el desarrollo del trabajo se realizaron dos juegos. El primer juego titulado “Torre de monedas”, fue donde se trabajó en torno al concepto de estado de movimiento de un cuerpo, cuerpo en equilibrio, aceleración y peso, mediante un sistema mecánico estático. Es pertinente resaltar que, al resolver un problema relativo al equilibrio de un cuerpo rígido, (conociendo un cuerpo rígido como un cuerpo con un gran número de partículas que ocupan posiciones fijas entre sí) es esencial considerar todas las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo; así como también es de gran importancia excluir todas las fuerzas que no actúen directamente sobre el cuerpo. Por lo tanto, el primer paso en la construcción de un modelo del cuerpo en equilibrio es realizar un *diagrama de cuerpo libre* del cuerpo rígido en cuestión (figura 2.2).

En el segundo juego titulado “Carrera con la inercia”, se trajeron a colación los términos anteriormente enunciados en “Torre de monedas” (estado y equilibrio), con el objetivo de que

fueran utilizados de base en la construcción del concepto de masa, de manera que fuera de utilidad en un sistema mecánico dinámico cuyo objetivo es conservar el estado de movimiento de un cuerpo en cuestión.

La tercer etapa es posterior a la experiencia, en donde se realizó un diálogo, análisis y síntesis de los distintos fenómenos observados en ellas, con el objetivo de que se propicie la construcción de *Significado* del objeto en cuestión, es decir, del concepto científico de masa inercial. La finalidad de este tercer momento es permitir a los estudiantes organizar y ampliar su experiencia, estableciendo una relación de diálogo con los aportes de sus compañeros y con la información que circula en su medio cultural.

3.2 DESARROLLO DE LAS EXPERIENCIAS

3.2.1 PRIMER JUEGO: TORRE DE MONEDAS

3.2.1.1 ETAPA I: PREPARACIÓN Y ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

Para esta primera experiencia fue importante realizar un acercamiento al mundo de la mecánica con los estudiantes, en el caso específico de la estática, ya que se determinó que los contenidos referentes a la estática brindan un gran sentido en la consolidación de las bases teóricas de la mecánica. Para afianzar dichos contenidos con los conceptos presentes en los estudiantes, fue importante realizar preguntas abiertas, en momentos escolares, que permitieron construir un primer esbozo de los conceptos de los que se iban a hacer uso, por ejemplo, ¿qué es el equilibrio? ¿cuándo está un cuerpo en equilibrio? ¿cómo es el estado de movimiento de un cuerpo?

El objetivo de estas preguntas abiertas apunta a que los estudiantes conocieran los puntos de vista de sus compañeros, pudieran interpretar situaciones cotidianas desde el punto de vista de la física y pudieran construir relaciones conceptuales entre los nuevos conceptos que se están presentando y los conceptos que ya conocen, de manera que se propicie la construcción de *significado* en este espacio complementario de educación formal.

Para estos encuentros virtuales se destinaron 4 sesiones de dos horas cada una mediante la plataforma Zoom, en las cuales los estudiantes pudieron realizar aproximaciones, propuestas y representaciones del mundo físico que los rodea desde el marco de la estática (dibujos, tablas, esquemas, mapas conceptuales). Para culminar con esta fase y dar pie a la experiencia, se

propusieron las preguntas orientadoras: ¿es más fácil mantener el equilibrio de una torre de 10 monedas o de una torre de 1 moneda, al desplazar un papel debajo de la torre? ¿cómo debería ser el movimiento del papel, para que se conserve el estado de equilibrio de la torre, lo debo hacer rápido, lento, hacia arriba, hacia abajo, hacia los costados?

Se les pidió a los estudiantes que redactaran y justificaran sus respuestas con el fin de tener un insumo que pudiese compararse con su perspectiva después del juego.

3.2.1.2 ETAPA II: DESARROLLO DEL JUEGO

El desarrollo de la experiencia se llevó a cabo de manera presencial, cuyo objetivo fue desarrollar un juego en un espacio complementario no formal de educación, donde los estudiantes pudieran evidenciar fenómenos referentes a la estática, describiendo y representando sistemas mecánicos haciendo uso de conceptos como “masa”, “equilibrio” y “estado de movimiento”.

DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA II: El juego se llevó a cabo en un espacio complementario de educación no formal, una sala adecuada, un espacio reorganizable y flexible, en el cual, los participantes pudieron moverse con libertad, idóneo para realizar representaciones de los fenómenos abordados. El juego consistió en desplazar una hoja de papel, ubicada sobre la boca de una botella y en la cual descansa una masa “monedas” (Figura 2.1), procurando que se mantenga el estado de movimiento entre las monedas y la botella.

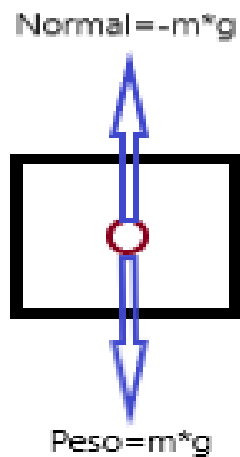
El juego constó de tres niveles de dificultad, en los cuales se variaron las masas “cantidad de monedas” que descansan sobre la botella: en el primer nivel con diez monedas, en el segundo nivel con cinco monedas y en el tercer nivel con una moneda.

En el primer nivel de dificultad del juego, se ubicó una columna de 10 monedas, cada moneda tiene una masa de 0.00995Kg de manera que la columna tiene una masa de 0.0995Kg, asumiendo la aceleración gravitacional como $\frac{9.8m}{s^2}$. De acuerdo con la (ecuación 1.1) $P = mg$, el peso que ejerce la columna sobre el papel y la botella es de:

$$Peso_1 = (0.00995Kg * 10) * \frac{9.8m}{s^2} = 0.9751 N \text{ (ecuación 3.0)}$$



(Figura 2.1, torre de 10 monedas en reposo sobre el papel y la botella elaboración propia)



(Figura 2.2, diagrama de cuerpo libre respectiva a la Figura 2.1, elaboración propia)

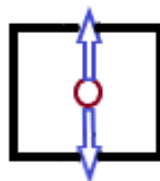
En el segundo nivel del juego, se ubicaron 5 monedas sobre el papel y la botella, en este caso se logró apreciar una variación en el peso y la fuerza normal de nuestro *diagrama de cuerpo libre* (figura 3.2), ahora el peso de la columna es de:

$$Peso_2 = (0.00995Kg * 5) * \frac{9.8m}{s^2} = 0.48755 N. \quad (Ecuación 3.1)$$



Figura 3.1, torre de 5 monedas en reposo sobre el papel y la botella, elaboración propia)

Normal = -m*g



Peso = m*g

(Figura 3.2, diagrama de cuerpo libre respectivo a la figura 3.1, elaboración propia)

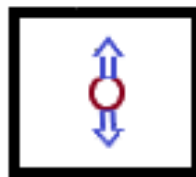
En el tercer y último nivel (que supone un mayor grado de dificultad), se ubica solo una moneda sobre el papel y la botella, la masa de la moneda es de 0.00995Kg, para la experiencia se asumirá la aceleración gravitacional como $g = \frac{9.8m}{s^2}$. De acuerdo con la (ecuación 1.1) $P = mg$, de manera que el peso será de:

$$Peso_3 = (0.00995Kg) * \frac{9.8m}{s^2} = 0.09751N. \quad (Ecuación 3.2)$$



(Figura 4.1, torre de 1 moneda en reposo sobre el papel y la botella, elaboración propia)

$$\text{Normal} = -m \cdot g$$



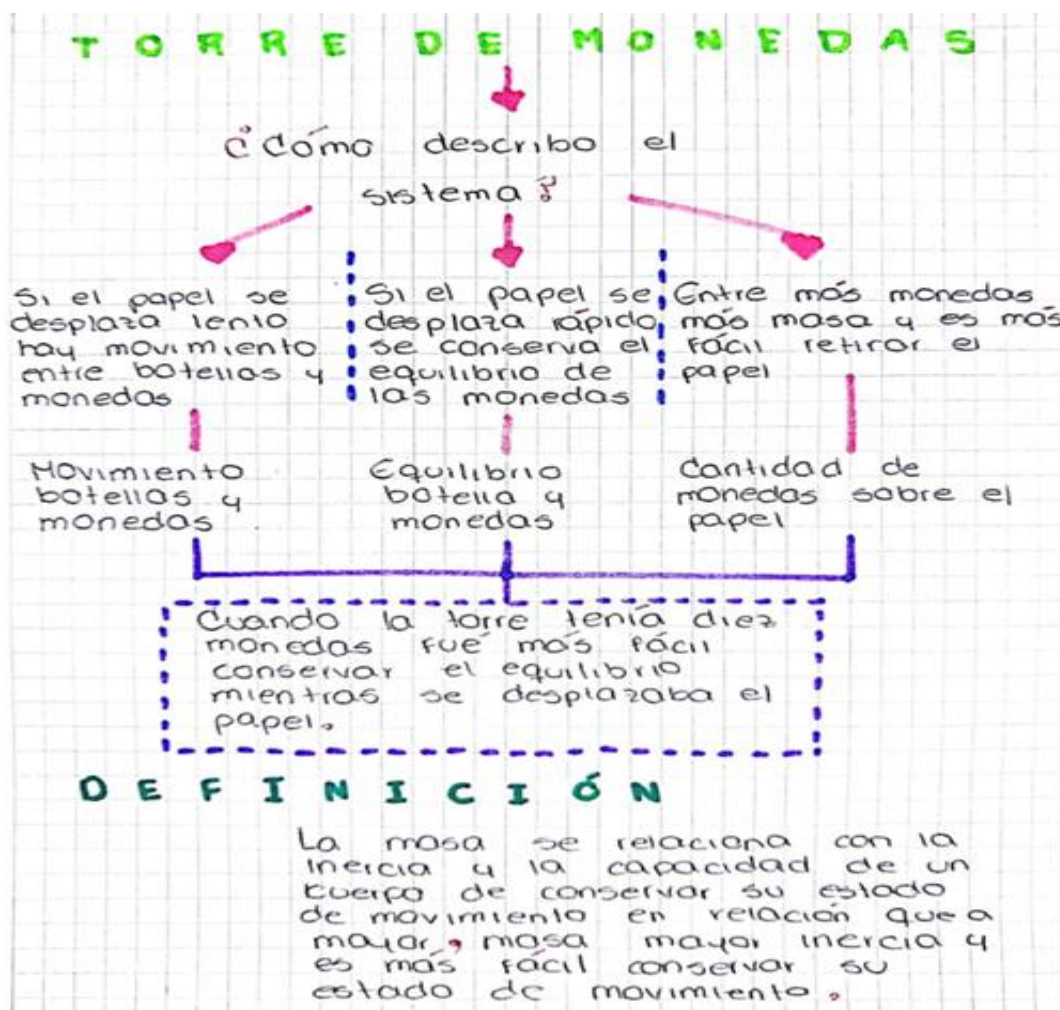
$$\text{Peso} = m \cdot g$$

(Figura 4.2, diagrama de cuerpo libre respectivo a la figura 4.1, elaboración propia)

ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA I: Los participantes lograron determinar que la fuerza necesaria para desplazar el papel ubicado bajo la columna de diez monedas es mayor que la fuerza necesaria para desplazar el papel bajo la columna de una sola moneda, de manera que lograron comprobar mediante la experiencia que a mayor masa hay mayor resistencia a la variación en el estado de movimiento del sistema (posición relativa de las monedas, papel, botella). “Se observó que la cantidad de monedas son proporcionales a la masa inercial ubicada sobre el papel, de manera que para ellos fue más fácil conservar el estado de movimiento (reposo o de “equilibrio”) de las monedas al desplazar el papel, en tanto mayor fue la cantidad de materia o “masa” ubicada sobre la botella.” Se logró evidenciar que los estudiantes

construyeron estructuras conceptuales, haciendo uso de los conceptos de “movimiento”, “equilibrio” y “estado”, relacionándolos no arbitrariamente sino sustancialmente con las ideas previas referentes al movimiento de los cuerpos. Por parte de los estudiantes, fueron diseñados mapas conceptuales y cuadros comparativos con el objetivo de afianzar los nuevos conceptos con los anteriores.

A continuación, se muestra una relación conceptual a modo de mapa conceptual elaborado por una estudiante de grado noveno del Gimnasio Pedagógico Nova Estrella:



(Figura 4.3, mapa conceptual, concepto de Masa Inercial, estudiante de grado 9°)

En el mapa conceptual elaborado por una estudiante de grado 9°, se puede apreciar el uso de conceptos tales como: equilibrio, desplazamiento, inercia, estado y movimiento los cuales fueron abordados previamente a través de encuentros virtuales. Se puede observar que ella logró construir relaciones conceptuales a modo de esquema, lo que le permitió dilucidar, haciendo uso de otras bases conceptuales, y construir el concepto de Masa Inercial.

Durante el desarrollo de la etapa II surgió el cuestionamiento ¿Por qué no se tuvo en cuenta la fuerza de rozamiento en el diagrama de cuerpo libre? En respuesta a esta cuestión se evidenciaron la presencia fuerzas que se opusieron al movimiento del papel, en primera instancia está el peso de las monedas, producto de su masa y la aceleración gravitacional, y en otra instancia la fuerza de rozamiento, la cual fue excluida del diagrama de cuerpo libre (figura 2.2) puesto que, en el caso ideal donde las monedas conservan su posición respecto a la botella la fuerza de rozamiento entre la botella y la moneda no actúa directamente sobre el cuerpo en cuestión (la torre de monedas) ya que el papel evita el contacto directo entre ellos.

3.2.1.3 ETAPA III: DIALOGO ANÁLISIS Y SÍNTESIS

Mediante un dialogo abierto entre los estudiantes, llegaron a la conclusión de que el nivel que representó una mayor dificultad en superar fue el nivel 3, en el cual se ubica una sola moneda sobre la botella y el papel, manifestaron que “ es más difícil que la moneda se quede quieta sobre la botella, porque cualquier movimiento con el papel mueve la moneda” ante esta afirmación se generó la pregunta orientadora ¿cómo se relaciona la cantidad de monedas ubicadas sobre el papel y la conservación del equilibrio de las monedas en el juego? A lo que respondieron, después de un dialogo entre ellos “entre más monedas haya, es más fácil que se queden en equilibrio cuando uno quita el papel”.

3.2.2 SEGUNDO JUEGO: CARRERA CON LA INERCIA

3.2.2.1 ETAPA I: PREPARACIÓN Y ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

Para la segunda experiencia los estudiantes tienen una nueva concepción científica del mundo físico que los rodea, producto de los procesos de alfabetización científica a raíz de encuentros y discusiones en torno al primer juego “Torre de monedas”. De manera que se hizo alusión a los conceptos presentados anteriormente: “equilibrio”, “estado de movimiento” y “masa”. En este caso se abordó el mundo de la mecánica desde la perspectiva de la dinámica, es decir, desde el análisis y caracterización de sistemas en movimiento causados por la presencia de fuerzas. De igual manera fue pertinente realizar encuentros virtuales desde la plataforma Zoom, donde se realizaron 2 encuentros de dos horas cada uno. El objetivo de estos encuentros fue que los estudiantes pudieran caracterizar sistemas dinámicos propuestos hipotéticamente mediante la exposición, y determinar diferentes marcos de referencia presentes en los sistemas

dinámicos. Con el fin de orientar el ejercicio analítico en los estudiantes, se propusieron las siguientes preguntas: Cuando una persona está en un bus ¿cómo se mueve respecto al bus y como se mueve respecto a la calle, está presente el equilibrio en alguna de estas dos situaciones? En el escenario donde una grúa está remolcando un carro ¿existe la presencia de fuerzas entre la grúa y el carro? En caso de ser afirmativa la respuesta ¿a través de qué medio se propaga dicha fuerza? Y ¿Hay presencia de fuerzas en un cuerpo en equilibrio? Descríbalas. Se pidió a los estudiantes que redactaran y representaran sus respuestas, con el fin de comparar sus puntos de vista antes y después del juego.

En este caso las preguntas se centran en un marco más específico, el de la dinámica, el objetivo del ejercicio conceptual fue que los estudiantes pudieran establecer diferencias entre sistemas estáticos y sistemas dinámicos, mediante tablas de semejanzas y diferencias entre sistemas, la participación abierta con sus compañeros y mediante la exposición de sus puntos de vista, estableciendo redes semánticas que propicien la construcción de conceptos en espacios complementarios de educación formal.

Como preámbulo a la experiencia de juego, se propuso la pregunta orientadora: ¿en qué situación es más fácil mantener el estado de movimiento de un camión, cuando está cargado con una gran masa, o cuando no tiene presencia de masas adicionales?

3.2.2.2 ETAPA II: DESARROLLO DEL JUEGO

En esta etapa se desarrolló el juego en un espacio complementario de educación no formal, donde los estudiantes aplicaron los conceptos de “masa”, “inercia” “estado de movimiento”, “fuerza” y “equilibrio” en la descripción de un sistema mecánico dinámico.

DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA II: El juego se llevó a cabo en un espacio complementario de educación no formal, una sala amplia que contó con el espacio suficiente para que los estudiantes pudieran moverse con libertad, con poca presencia de contaminación auditiva y con un tablero en donde se pudieran realizar representaciones de los fenómenos observados. El juego consistió en desplazar un camión de juguete (mediante un cordón atado al tobillo), sobre el cual descansa una volqueta de juguete (a la cual se le pueden adicionar masas, Figura 5.1) hasta una meta ubicada a 3 metros del punto de partida, de manera que se

conservar el estado de movimiento entre la volqueta y el camión, es decir que, si la volqueta se cae, el participante deberá comenzar desde el punto de partida. Cabe aclarar que el participante impartió la fuerza que desplazó al camión mediante la tensión del cordón, a medida que dio pasos para avanzar como se muestra adelante en la Figura 5.2.



(Figura 5.1, volqueta amarilla con masa adicional en reposo sobre camión rojo, elaboración propia)

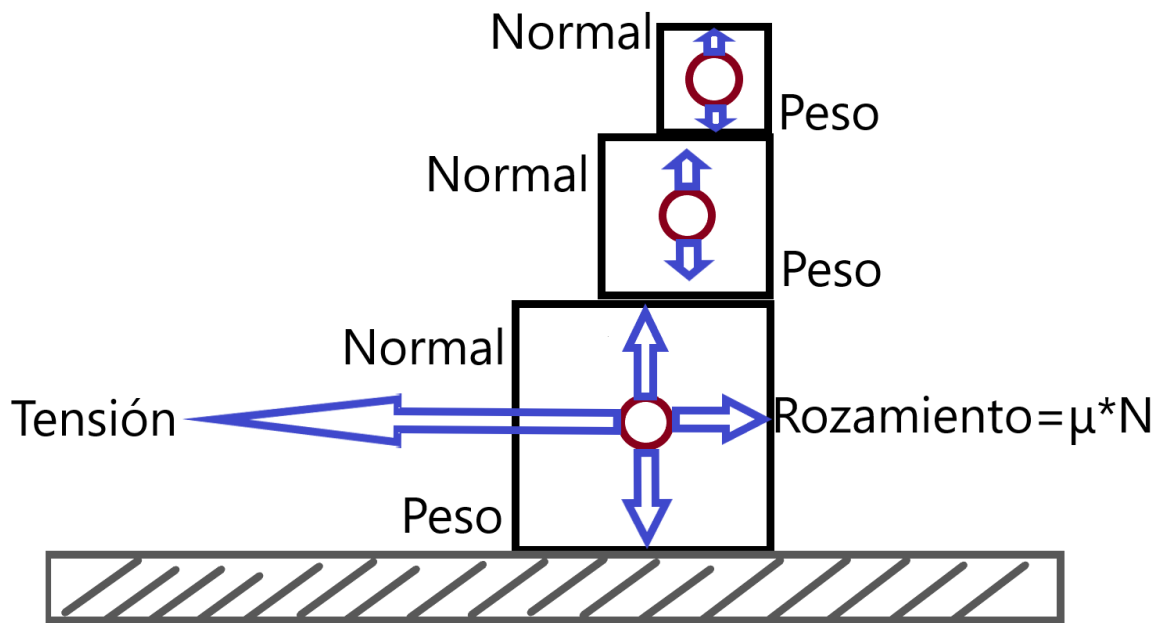


(Figura 5.2, volqueta amarilla con masa adicional sobre camión rojo atado al tobillo de Alejandro, elaboración propia)

El juego “carrera con la inercia” tuvo dos niveles de dificultad, en el primer nivel se desplazó el camión con la volqueta amarilla y una masa adicional de 250g, como se muestra en la figura 5.1, de manera que el peso del sistema es:

$$Peso_1 = (0.25Kg + 0.30Kg + 0.45Kg) * \frac{9.8m}{s^2} = 9.8 N \quad (\text{Ecuación 4.0})$$

Como se mencionó en la experiencia anterior fue imperativo diseñar un *diagrama de cuerpo libre* para evidenciar las fuerzas que influyen en el movimiento del cuerpo, de manera que se consideraron tres masas y se ubican las fuerzas presentes mediante la figura 5.3:



(Figura 5.3, diagrama de cuerpo libre correspondiente a la figura 5.2, elaboración propia)

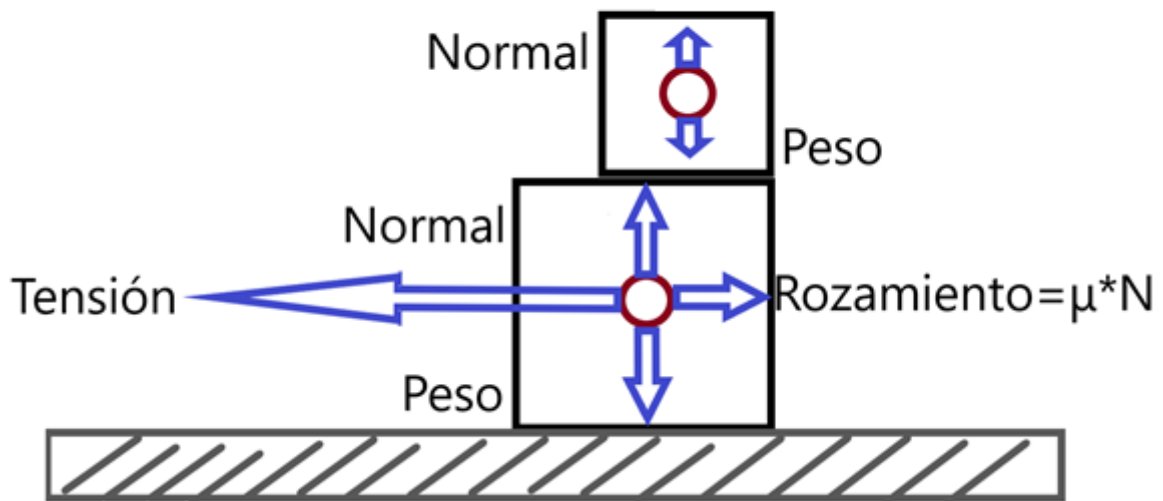
En el segundo nivel se desplazó el camión con la volqueta amarilla sin presencia de masas adicionales, como se muestra en la figura 5.4, de manera que el peso del sistema es:

$$Peso_2 = (0.30Kg + 0.45Kg) * \frac{9.8m}{s^2} = 7.35 N \quad (\text{ecuación 4.1})$$



(Figura 5.4, volqueta amarilla sin presencia de masas adicionales en reposo sobre el camión rojo, elaboración propia)

El diagrama de cuerpo libre para evidenciar las fuerzas que influyen en el movimiento del cuerpo (figura 5.5) tiene la siguiente configuración:



(Figura 5.5, diagrama de cuerpo libre de la figura 5.2 en ausencia de masas adicionales, elaboración propia)

Los participantes manifestaron que detener un camión pesado en movimiento representa una mayor dificultad que detener un camión con poco peso, aunque se muevan con la misma rapidez. Expresamos el enunciado anterior afirmando que el camión de gran peso tiene una mayor “cantidad de movimiento” que el camión de poco peso. Por “cantidad de movimiento”

se indica la inercia en movimiento. (Hewitt, 2004) En forma más específica se define la cantidad de movimiento como el producto de la masa de un cuerpo por su velocidad:

$$\text{cantidad de movimiento} = \text{masa} * \text{velocidad}$$

$$\text{cantidad de movimiento} = m * \vec{v} \text{ (ecuación 4.2)}$$

Los cambios de cantidad de movimiento pueden suceder cuando hay un cambio en la masa del objeto, un cambio en la velocidad del objeto o ambas. En este caso se analizará el caso desde la perspectiva del cambio de velocidad del cuerpo, para ello debe presentarse una aceleración, y ¿qué produce una aceleración? La respuesta es: una fuerza. Mientras mayor sea la fuerza que actúa sobre el cuerpo, mayor será el cambio en la velocidad y en consecuencia en la cantidad de movimiento. (Hewitt, 2004)

Se observó otro factor muy importante respecto al cambio en la cantidad de movimiento: el tiempo, es decir durante cuánto tiempo es aplicada esa fuerza, al aplicar una fuerza \vec{F} durante un corto periodo de tiempo, se generó un ligero cambio en la cantidad de movimiento del camión, pero cuando fue aplicada la misma fuerza \vec{F} durante un periodo largo de tiempo, se obtuvo como resultado una variación significativa en la cantidad de movimiento del mismo cuerpo en cuestión. De manera que para variar la cantidad de movimiento de un cuerpo es importante tanto la magnitud de la fuerza \vec{F} como el tiempo durante el cual actúa esta fuerza. El producto de la fuerza por este intervalo se llama **impulso**:

$$\text{Impulso} = \vec{F} * t \text{ (ecuación 4.3)}$$

De las ecuaciones 4.2 y 4.3 se obtiene que el impulso es directamente proporcional al cambio de la cantidad de movimiento:

$$\vec{F} * t = \Delta(m * \vec{v}) \text{ (ecuación 4.4)}$$

ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA II:

En el análisis se realizaron comparaciones entre los dos niveles y cuál representó una mayor dificultad para completar el juego, el primer nivel con presencia de la masa adicional de 250g y el segundo nivel sin presencia de masas adicionales a los camiones de juguete. Al finalizar las experiencias se realizó el cuestionamiento a los participantes ¿en qué nivel fue más fácil de mantener el equilibrio entre la volqueta amarilla y el camión rojo hasta llegar a la meta? A lo que los participantes respondieron, después de un dialogo entre ellos: “cuando la volqueta amarilla tenía un peso extra, hacía más presión, y se quedaba en su lugar”.

De manera que se relacionó la presión ejercida por la volqueta amarilla a la masa inercial del sistema y a la conservación de equilibrio. En esta experiencia también se desarrollaron estructuras conceptuales por parte de los estudiantes con el fin de crear una representación del mundo natural referente a la dinámica de los cuerpos. En este caso se hizo uso conceptos abordados anteriormente como “equilibrio”, “movimiento” y “fuerza”. Se realizaron representaciones mediante cuadros comparativos que mostraron el movimiento y sus características con sus opuestos, es decir, si el camión se movía rápido/lento, en qué momentos se movía hacia adelante/atrás, si la fuerza que se aplicaba era mucha/poca.

De manera que se construyó una relación conceptual, en donde los estudiantes del Gimnasio Pedagógico Nova Estrella determinaron qué escenarios fueron más convenientes para mantener el estado de movimiento entre el camión y la volqueta que descansa sobre él estableciendo una clara estructura conceptual como se muestra a continuación:

¿EN QUÉ SITUACIONES SE CONSERVA EL EQUILIBRIO ENTRE LA VOLQUETA AMARILLA Y EL CAMIÓN ROJO?

Situación			Justificación
Cuando halamos la cuerda	Rápido	Lento	
	x		Cuando halo la cuerda rápido llego más rápido a la meta.
Cuando aplicamos una fuerza	Grande	Pequeña	
		x	Cuando halé la cuerda con mucha fuerza el camión andó, pero la volqueta se cayó. Se perdió el equilibrio
En presencia de masas	Grandes	Pequeñas	
	x		Cuando el paquete extra está sobre la volqueta amarilla, hace más presión y se queda en su lugar sobre el camión.
Movimiento de la volqueta amarilla respecto al camión	Hacia la parte delantera del camión	Hacia la parte trasera del camión	
	Se mueve hacia adelante cuando el camión frena	Se mueve hacia atrás cuando el camión comienza a andar	

(Figura 5.6, cuadro comparativo dinámica, elaborado por un estudiante de grado 7°)

3.2.2.3 ETAPA III: DIÁLOGO Y ANÁLISIS DE LAS EXPERIENCIAS

A través de un encuentro virtual mediante la plataforma Zoom, los estudiantes expusieron sus análisis respecto a la conservación del estado de movimiento en un sistema dinámico, en primera instancia se realizó la distinción en cuanto a los sistemas estáticos y dinámicos dependieron de la construcción de marcos de referencia, ante lo cual un estudiante determinó que: “la volqueta amarilla que está arriba, está quieta respecto al camión rojo que está abajo” ante esta afirmación se propuso la pregunta ¿cómo se encuentra la volqueta amarilla respecto al punto de partida? A lo que otro estudiante respondió: “la volqueta amarilla se mueve de la línea de partida, pero esta quieta sobre el camión rojo”. Para analizar y sintetizar la experiencia se hizo uso de una cámara de grabación y de la reproducción de las experiencias en un encuentro virtual. Los estudiantes contaron con tiempo y el uso de las herramientas de representación ubicadas en la plataforma Zoom, para expresar sus puntos de vista y sus conclusiones.

3.3 EXPERIENCIA PERSONAL

En primera instancia elaboré los diseños a partir de los insumos obtenidos a raíz de la investigación en educación no formal, teoría del aprendizaje significativo y la construcción de conceptos científicos, de manera que la experiencia de práctica en el Museo de la Ciencia y el Juego ayudó significativamente a vislumbrar qué tipo de diseño podría construirse para estudiantes de cursos de ciencia y tuviera la facilidad de recrearse en espacios como: el hogar, institución urbana, rural, lugares recreativos, laboratorios, museos interactivos, entre otros.

Basado en las investigaciones del aprendizaje significativo, los espacios museísticos como situaciones educativas, espacios de educación no formal, el razonamiento inductivo y los procesos de alfabetización científica, estas experiencias tienen potencial educativo para llevarse a cabo en espacios extraescolares como por ejemplo, desde casa, puesto que el factor experiencial fuera de un contexto educativo netamente formal, posibilita al estudiante a desarrollar estructuras conceptuales en torno al concepto de masa, así como también le permite comprender y actuar concorde a este concepto en un contexto más general.

En cuanto a la implementación, fue curioso observar que cuando se aborda la experiencia desde la perspectiva de “juego” los estudiantes presentan una mayor disposición a participar y a construir hipótesis con la finalidad de “ganar” el juego.

Es necesario mantener parámetros constantes y otros variables en las experiencias, por ejemplo, en el juego “Torre de monedas” se deben variar las masas ubicadas sobre la botella, y se debe mantener constante la cantidad de movimiento aplicada al papel, así se evidencia qué torre presenta mayor resistencia al movimiento o cual tiene más “inercia”, de manera que el diseño parte de ubicar un cuerpo en caída libre, a una altura determinada de la hora sobre la que descansan las monedas, de esta manera siempre se aplica la misma cantidad de movimiento, para este caso el cuerpo usado fue una moneda y la altura fue de 60cm.

En el segundo juego los participantes intentaban llegar a la meta en el menor tiempo posible, sin embargo, al aplicar una fuerza muy grande en un intervalo corto de tiempo, se sometía al sistema a una aceleración abrupta y el estado de equilibrio entre la volqueta amarilla y el camión cambiaba drásticamente. De manera que, después de muchos intentos, evidenciaron que, al aplicar varias fuerzas pequeñas, ponían al camión rojo en movimiento, y al mismo tiempo, se conservaba el estado de equilibrio entre la volqueta amarilla y el camión.

Por tal motivo la metodología se apoya en el razonamiento intuitivo, en las observaciones sobre los fenómenos particulares de una clase y en el diálogo respecto a los conceptos expuestos y su relación con lo observado, puesto que para algunas estrategias del aprendizaje significativo apuntan a que es necesario realizar una contextualización de los saberes previos de los estudiantes, así mismo para la consolidación de nuevos conceptos, mediante un análisis crítico con la participación activa de grupos de discusión.

La ruta metodológica se desarrolló inicialmente por la descripción de lo que representa la educación no formal, desde sus comienzos a nivel internacional y luego, puntualizando la situación en el marco de educación colombiano a través del campo museístico y cómo se constituye un espacio complementario de educación entre educación formal y no formal. Seguidamente se realizó una contextualización acerca del aprendizaje significativo en el área de las ciencias, partiendo de la distinción del método de aprendizaje memorístico, usado recurrentemente en la escuela colombiana, y planteando dichos espacios como espacios complementarios de aprendizaje.

Se consideró de gran importancia abordar los conocimientos previos de los estudiantes en torno al concepto de masa inercial, puesto que la Teoría del Aprendizaje Significativo resalta que es imperativo realizar un sondeo de conocimientos previos, para poder abordar las temáticas con el objetivo de que adquieran un mayor significado para los estudiantes. De manera que,

abordando estos tres ejes temáticos espacios complementarios, teoría del aprendizaje significativo y concepto de masa se puedan desarrollar experiencias que estimulen el aprendizaje significativo de conceptos fundamentales de la física como lo es el concepto de masa inercial, y de esta manera los estudiantes puedan tener un acercamiento al mundo de la física desde su contexto diario.

A continuación, se presenta un mapa conceptual que ayudó a caracterizar los sistemas físicos de los juegos abordados, desde la perspectiva de la estática y de la dinámica, poniendo a discusión sus semejanzas y sus diferencias. El mapa conceptual fue de valor significativo para los estudiantes al momento de comenzar a desarrollar sus propias estructuras conceptuales, puesto que tuvieron la oportunidad de manifestar sus opiniones e hipótesis a través de espacios de dialogo generado en torno al éste.

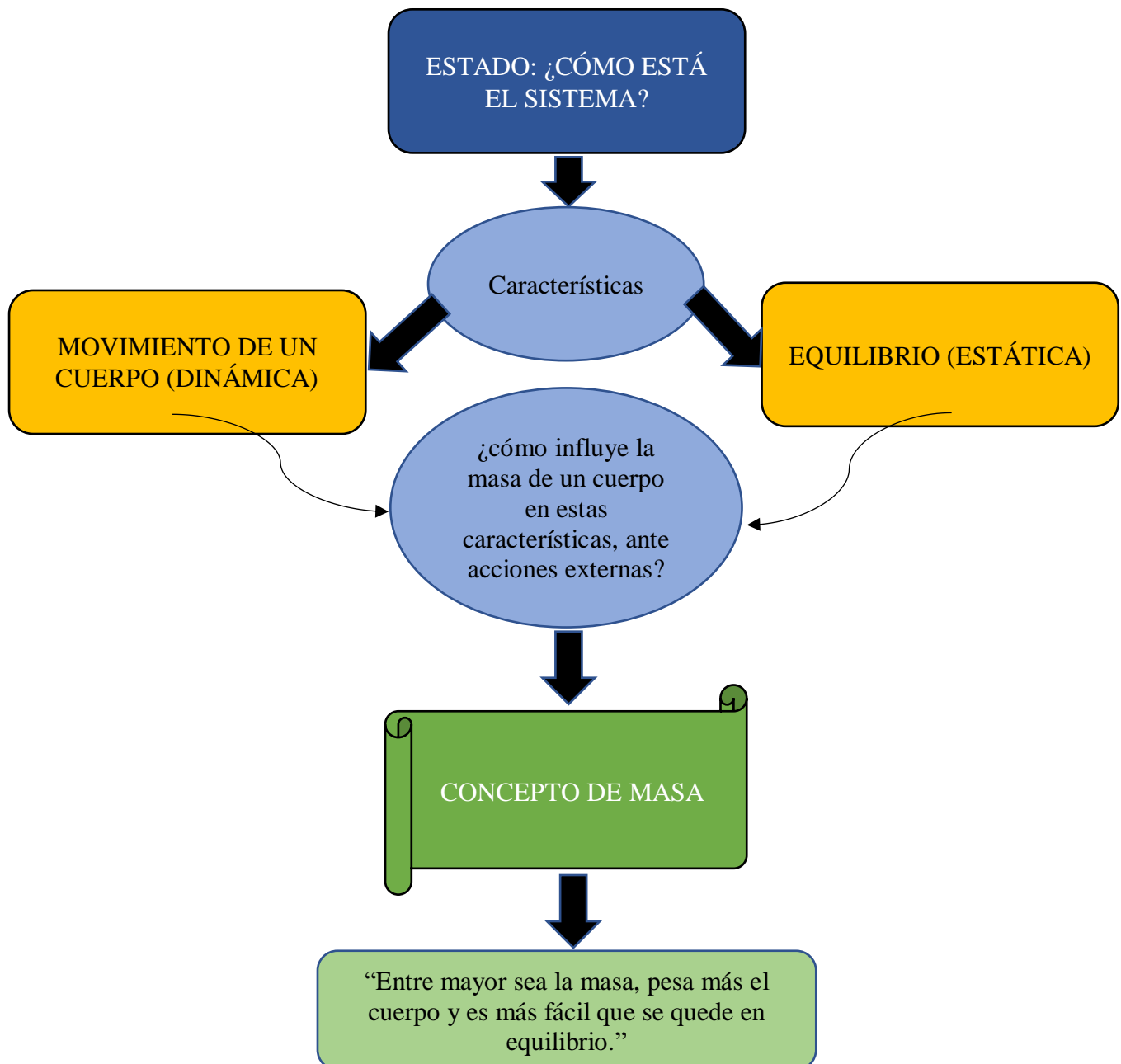


Figura 6.0, Esquema de caracterización del concepto científico de Masa. (Elaboración propia)

3.4 CONCLUSIONES

- Incentivar a los estudiantes a explicar fenómenos físicos con sus propias palabras, promueve la relación de conceptos en la construcción de estructuras conceptuales.
- Es de gran importancia abordar las ideas referentes al concepto de masa inercial en los estudiantes, puesto que hay características del concepto de masa a las cuales se les da forma en espacios formales de educación y existen otras características del concepto de masa que se asientan en espacios no formales de educación a través del juego. De manera que trabajar a partir de las ideas de los estudiantes respecto al movimiento, brinda un gran valor en la construcción del *Significado* del concepto de masa. En la medida en que se relacionan los nuevos conceptos con los conceptos de masa ya presentes en el estudiante. Es preciso valorar las ideas de los estudiantes referentes a la descripción de sistemas físicos, a través de distintos tipos de representaciones tales como, mapas conceptuales, cuadros comparativos, dibujos y diálogos.
- La versatilidad de los espacios generados mediante el juego brinda una serie de herramientas significativas que permiten dilucidar diferentes representaciones del mundo natural. Las representaciones posibilitan la creación a través de imágenes, la expresión de sentimientos, nuevos cuestionamientos, nuevas ideas, y esto es posible gracias al ambiente generado en el juego, es decir que al jugar los niños crean y aprenden.
- Los participantes de las experiencias aprendieron a caracterizar diferentes fenómenos físicos propios de la mecánica mediante la construcción del concepto científico de Masa. De acuerdo con Cerda (2005), la interpretación que se le da a los fenómenos no puede ser captada plenamente por la estadística, se apoya en la inferencia intuitiva, acude preferentemente a la observación y la entrevista abierta y por último centra el análisis en los fenómenos y los efectos observados.
- Las experiencias fueron diseñadas con un propósito específico, evidenciar y representar los fenómenos referentes al movimiento de los cuerpos que ilustren el concepto de masa inercial.

- Dentro de las características del juego se pudo evidenciar que la conducta científica como actividad espontánea controlada brinda poderosas herramientas para la elaboración de estructuras conceptuales, puesto que se plantea un objetivo para los estudiantes y logran llegar a él de distintas formas de representación.

3.5. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, C., & Vazquez, A. (2004). Consideraciones generales sobre la alfabetización científica en los museos de la ciencia como espacios educativos no formales. *Revista Electrónica De Enseñanza De Las Ciencias* Vol 3, 1–26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/998/99815914005.pdf>

Angulo Tenesaca, P., & Avila Hernández, L. (2010). Desarrollo de la creatividad de los niños en la etapa escolar (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2315>

Allard, M. y Boucher, S.(1991). *Le musée et l'école*. Montreal: HMH, 136 p.

Artículo 114 del 15 de enero de 1996. Por el cual se reglamenta la creación, organización y funcionamiento de programas e instituciones de educación no formal. Constitución Política de Colombia.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. y HANESIAN, H. (1978) *Educational Psychology. A Cognitive View*, 2ª ed. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston (Trad. cast. De M. Sandoval: *Psicología Educativa*, México: Trillas, 1983).

AYALA, M. M. Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. *Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. Pro-Posições*, Campinas, SP, v. 17, n. 1, p. 19–37, 2016. Disponible em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/proposic/article/view/8643653>

Beer, F. P., & Johnston, E. R. (1979). *Mecánica vectorial para ingenieros ESTÁTICA* (Tercera edición, Vol. 1). McGraw-Hill Education.

Bernard Cohen, I. (1585) El nacimiento de una nueva ciencia. Apéndice 8, 217 G. Benedetti, *Sulle proporzioni dei moti local*, a Venezia 1553. *Divers. Speculat. Math. Et physic*, liber Taurini,

Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza (2011) Vol. 4 No6 ISSN 2027-1034. Primer semestre de 2011, Bogotá, Colombia, p. p. 125- 154.

Carvajal Cordoba, R (2012). Implicaciones del tratamiento de los conceptos de masa y masa relativista (Trabajo de grado). Universidad Pedagógica Nacional.

Cerda, H. (2005). Los elementos de la investigación. Editorial el Búho LTDA. Bogotá D.C.

Chrobak, R. (1995). Uso de estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo en los cursos de Física introductoria. *Revista de Enseñanza de la Física*, 8(1).

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/16242/16077>

Coombs, P.H., Prosser, R.C. y Ahmmed, M. (1973), *New Paths to learning for rural children and youth: Non-formal education for rural development*. Consejo Internacional para el Desarrollo de la Educación, Nueva York.

Dávila Newman, Gladys (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, 12(Ext),180-205.[fecha de Consulta 20 de Abril de 2021]. ISSN: 1315-883X. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76109911>

DOMÉNECH A. (1992) El concepto de masa en la Física Clásica: Aspectos Históricos y Didácticos. En: *Revista Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 10 No 2,1992. P.223-226.

DOMÉNECH, F. (1995). *Aproximación Experimental a la Situación Educativa desde el MISE: Una aproximación diferencial y estructural*. Tesis Doctoral. Dto. de Ps. Evolutiva y Educativa. Universidad de Valencia.

Francis Bacon (2011), *La gran restauración (Novum organum)*, trad., introd. Y notas Miguel Ángel Granada, apéndice Julian Martin, Tecnos, Madrid, 2011. (Clásicos del Pensamiento).

G. Benedetti (1585), *Sulle proporzioni dei moti local*, a Venezia 1553. *Divers. Speculat. Math. Et physic*, liber Taurini, 1585

Galileo, G. (1976). *Consideraciones y demostraciones sobre dos nuevas Ciencias*. Madrid: Editora Nacional.

García Blanco, A. (1981). Didáctica del museo: el montaje didáctico. *Boletín De La ANABAD*, (0210-4164), 421–426. Recuperado de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=965346>

Gómez Cano, M (2015). *Reflexiones sobre las concepciones masa y peso: una propuesta didáctica para el aula inclusiva*. Universidad Pedagógica Nacional.

Grandstaff (1978). *La educación no formal como concepto*. PERSPECTIVAS VOL. VIII Marvin P.200-206

H. Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt* Leipzig, 1894

Hamadache, A. (1991). La educación no formal: concepto e ilustración. *Perspectivas: Revista Trimestral De educación Comparada*, (0304-3053), 123–137

HAWKING STEPHEN (2005). *A hombros de Gigantes: Las Grandes Obras de la Física y la Astronomía*. Cuarta Edición. Barcelona: Editorial Crítica, 2005. p.651, 652.

Hertz, Heinrich (1956). *The Principles of Mechanics*. (New York: Dover Publications, 1956) Authorized Translation by D. E. Jones and J. T. Walley. Preface by H. von Helmholtz.

Hewitt, P. G. (2004). *Física Conceptual* (9.a ed.). Pearson Educacion.

Le opere complete di Galileo Galilei. Edición nacional, 20 vols. Firenze, 1890-1900

Leon De la Vega, J. (2018). *Física para filósofos: Principio de Relatividad, Ley de Inercia y la fe en lo imposible*. (Doctorado). Universidad Autonoma de Madrid.

Martínez Muños, C (2011). *Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de masa en los estudiantes del grado décimo de la Institución Educativa Raíces del Futuro*. Universidad Nacional de Colombia

Newton, I. (1983): *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*.

Orozco Gomez, G. (2004). Los museos interactivos como mediadores pedagógicos. *Revista Colombiana De educación Núm. 46 (2004): 2004, (0120-3916), 1–17*. Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/RCE/article/view/550>

Orozco Gomez, G. (2004). Los museos interactivos como mediadores pedagógicos.

Perilla Perilla, M. (2013). *El fenómeno de caída libre en Galileo* (Tesis doctoral). Universidad Pedagógica Nacional.

Piaget, J., & TEORICOS, A. (1976). *Desarrollo cognitivo*. España: Fomtaine.

Piaget, J. (1946). En castellano: *La formación del símbolo*. Ed. F.C.E. México, 1961

Pozo, J. I., & Crespo, M. A. (2009). *Aprender y enseñar ciencia: Del conocimiento científico al conocimiento cotidiano* (Sexta ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. Morata.

<https://doi.org/10.5294/edu.2017.20.2.5>.

POZO, J.I. (1992) “El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos”. En: C. Coll; J.I. Pozo; B. Sarabia y E. Valls: *Los contenidos en la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*. Madrid: Santillana.

Rosario Ortega. (1996) *El juego en la educación primaria*. Cultura y Educación 8:1, páginas 115-128.

UNESCO. (1947), *Education de base, fonds commun de l'humanité*, París, resumen de Handbook of suggestions for the consideration of teachers and others concerned with elementary school, publicado en la misma fecha por la Oficina de Educación del Reino Unido.

Vélez, Fabio & Ph, U. (2017). LA ELABORACIÓN DE LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS. TED: Tecné, Episteme y Didaxis. 10.17227/ted.num3-5703.

Wagensberg, J. (2001). A FAVOR DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO (LOS NUEVOS MUSEOS). *ÉNDOXA: Series Filosóficas*, n." 14. 2001, (2174-5676), 341-. Recuperado de <http://revistas.uned.es/index.php/endoxa/article/view/5031/4850>