

**IMPLICACIONES DEL TRATAMIENTO DE LOS CONCEPTOS DE MASA
Y MASA RELATIVISTA**

Fabián Ricardo Carvajal Córdoba

Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Física

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C.

2012

**IMPLICACIONES DEL TRATAMIENTO DE LOS CONCEPTOS DE MASA
Y MASA RELATIVISTA**

Fabián Ricardo Carvajal Córdoba

Trabajo de grado para optar el título de Licenciado en Física

Asesor:

Tufik Zambrano


UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C.


2012

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>REFLEXIÓN AL SERVICIO</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 3	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Implicaciones Del Tratamiento De Las Nociones De Los Conceptos De Masa Y Masa Relativista En La Educación Media Vocacional.
Autor(es)	Carvajal, Fabián
Director	Zambrano Férrez, Tufik
Publicación	Bogotá, 2012, 48 páginas
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Masa, Masa Relativa, Propuesta Didáctica, Newton, Einstein.

2. Descripción
<p>En este trabajo se desarrollará una discusión referente a las falacias que menciona el profesor colombiano Regino Martínez-Chavanz en su artículo sobre el tratamiento de la masa (ver referencias bibliográficas). Parece que el concepto de masa se concibiera universal, pero no se puede establecer fácilmente cuál definición conceptual es la usada en la Relatividad después de haber tratado la mecánica clásica. La masa relativa presenta ciertas dificultades conceptuales que parece que existieran unas falacias lógicas en su definición. Estas falacias son abordadas y tratadas con ciertas reflexiones que son llevadas al aula de clase por medio de una implementación didáctica. Lo anterior, resalta la importancia de la Relatividad en el aula y el aprendizaje de los conceptos científicos con un análisis detallado.</p>

3. Fuentes
<p>Las fuentes bibliográficas más relevantes para el desarrollo de este trabajo fueron:</p> <p>Arriasecq, I., & Greca, I. (2004). Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 3, N° 2</i>, 211-227.</p> <p>Astolfi, J. P. (1987). El aprendizaje de conceptos científicos: Aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. <i>Investigación y experiencias didácticas (INRP)</i>, 1-9.</p> <p>Doménech Carbó, A. (2001). El debate sobre la masa relativista: El problema definicional y otros aspectos epistemológicos. <i>Int. bachillerato de Buñol</i>, 331-336.</p> <p>Jammer, M. (2001). <i>Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy</i>. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Realidad al servicio</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 3	

Martínez-Chavanz, R. (2011). Einstein: científico y filósofo. En R. Martínez-Chavanz, *Acerca de la masa y su tratamiento dado por Einstein y Garavito* (págs. 141-244). Cali, Colombia: Colección Artes y Humanidades.


Naiden, A. L. (20 de Agosto de 2005). TEORÍA DE LA RELATIVIDAD, A AÑOS LUZ DE LA ENSEÑANZA EN LAS ESCUELAS MEDIAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. *Instituto Cardoso, Caseros, Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina.

4. Contenidos

El concepto de masa atrapa muchas nociones, análisis matemáticos y filosóficos que encierran un problema de definición del concepto cuando es llevado al aula de clase dentro del marco de la enseñanza. Lo anterior se mostrará ampliamente en el capítulo 1, donde se aborda el concepto científico. Un concepto clave en la física es la masa, y existen varios tipos de masa que serán expuestos en el capítulo 2, presentando las dificultades de definir la masa en mecánica clásica o física moderna. Se hace la discusión de las falacias que encuentra Martínez-Chavanz en su trabajo llevando a importantes reflexiones. Para involucrarse más en la discusión mencionada, se propone implementar un trabajo de aula con el propósito de hacer un análisis en el aula de clase acerca de las nociones de la definición de masa y sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje, descritas a lo largo del capítulo 3, mostrando la discusión, resultados y análisis de resultados de la implementación. Por último, el trabajo resalta la importancia de incluir la enseñanza de la relatividad especial en el aula de clase, mostrando las conclusiones finales.

5. Metodología

En el trabajo se fundamenta el análisis en el aula de clase del bachillerato en grado décimo desde un recorrido por un breve panorama que describe los problemas y dificultades que tiene el concepto de masa, a partir de la discusión y reflexión de un artículo de texto del profesor Regino (Martínez-Chavanz 2011). El panorama se muestra desde la mecánica clásica hasta la física moderna. Se implementan unos instrumentos que da a grandes rasgos la visión de la didáctica que se da en el aula de clase de una institución educativa en particular. El propósito es demostrar el entendimiento y apropiación que tienen los estudiantes del concepto de masa en relatividad, evidenciando un fuerte llamado al cambio de didáctica y la necesidad de hacer discusiones conceptuales en física.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Formación de Profesores</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 3	

6. Conclusiones

Se concluye claramente que hay un fuerte llamado de atención hacia la didáctica en la enseñanza de la física moderna, pues se muestra que un análisis y un tratamiento de las definiciones conceptuales. Es cierto que muchos autores muestran que la enseñanza de la física moderna presenta más dificultades que ventajas. Pero el siguiente trabajo resalta que desde la enseñanza de la Relatividad se pueden lograr objetivos educativos y que el cambio de didáctica en física es urgente y necesario. El trabajo resalta lo anterior en la importancia de hacer análisis de conceptos científicos, en este caso de la masa relativa. También, es una invitación a continuar con la ola de inclusión al currículo de la física moderna en las aulas, pues allí, aunque existan problemas en la enseñanza, el aprendizaje y la comprensión hay un tesoro de conocimiento inexplorado todavía por la mayoría de docentes por falta de alternativas pedagógicas que estén directamente relacionada con la enseñanza de la física moderna y en este caso de la teoría de la relatividad de Einstein.

Elaborado por:	Fabián Carvajal
Revisado por:	Tufik Zambrano

Fecha de elaboración del Resumen:	08	11	2012
--	----	----	------

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es dedicado a mis padres Rocío y Alberto quienes siempre me apoyaron en el camino para ejercer la docencia. Al Maestro Tufik Zambrano por su incondicional apoyo, y su gran mano me logró guiar en momentos cruciales.

Agradezco toda la comprensión y paciencia de Adriana Peña que me vio en este largo camino universitario. Y a esa inspiración que mantiene mis sueños y firmes y contundentes.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	iv
INTRODUCCIÓN	1
1. PRIMERA PARTE: LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS	4
1.1 DEFINIR LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS	4
1.2 CONCEPTOS MÉTRICOS	6
1.3 TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA	6
1.4 OBSTÁCULOS COGNITIVOS	7
2. SEGUNDA PARTE: DEFINIR LA MASA	9
2.1 PROBLEMAS AL DEFINIR MASA	9
2.2 MASA EN MECÁNICA CLÁSICA	13
2.2.1 MASA INERCIAL.....	14
2.2.2 MASA GRAVITACIONAL.....	16
2.3 MASA RELATIVA.....	17
2.3.1 ENERGÍA Y MASA RELATIVISTA	18
2.3.2 PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA	19
2.4 REFLEXIONES ACERCA DE LAS FALACIAS MENCIONADAS POR MATINEZ-CHAVANZ SOBRE LA MASA RELATIVA	20
2.4.1 DILATACIÓN DEL TIEMPO	21
2.4.2 CONTRACCIÓN DE LA LONGITUD	22
2.5 HIPÓTESIS LLEVADA AL AULA DE CLASE.....	23
3. TERCERA PARTE: INCURSIÓN DE LA RELATIVIDAD EN EL AULA	24
3.1 CONTEXTO DE LA ACTIVIDAD	24
3.1.1 CONTEXTO DE LA POBLACIÓN.....	24
3.1.1 CONTEXTO DE LA ESTRATEGIA.....	25
3.2 RESULTADOS ESPERADOS	26

3.2.1 INSTRUMENTO 1	26
3.2.2 INSTRUMENTO 2	28
3.2.3 INSTRUMENTO 3	29
3.3 RESULTADOS ENCONTRADOS	30
3.3.1 RESULTADOS INSTRUMENTO 1	30
3.3.2 ANÁLISIS INSTRUMENTO 1	32
3.3.3 RESULTADOS INSTRUMENTO 2	34
3.3.4 ANÁLISIS INSTRUMENTO 2	35
3.3.5 RESULTADOS INSTRUMENTO 3	35
3.3.6 ANÁLISIS INSTRUMENTO 3	37
4. VENTAJAS ACADÉMICAS DE INCLUIR LA RELATIVIDAD EN EL CURRÍCULO	39
5. CONCLUSIONES	41
6. BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	45

CONTENIDO DE GRÁFICOS Y TABLAS

FIGURA 1. Subsunción del sistema conceptual al mundo real de (En Díez & Moulines, 1999).....	5
FIGURA 2. Transposición didáctica de primer y segundo nivel (En Díez & Moulines, 1999).....	7
IMAGEN 3. Gnomon para determinar el radio de la Tierra. Imagen tomada de internet. http://darkskydiary.files.wordpress.com/2011/06/442px-sundial_2r.jpg	16
IMAGEN 4. Planeta Tierra. Imagen tomada de internet. http://www.astromia.com/solar/fotos/tierra1.jpg	17
IMAGEN 5. Principio de Equivalencia en una nave espacial. Experimento mental. Imagen tomada de internet. http://www.youtube.com/watch?v=xnG4WHhjoTY	19
FIGURA 6. Regla medida en reposo. 30 cm de longitud propia.....	22
FIGURA 7. Regla medida en movimiento a una velocidad de 0,89 c. 13,67 cm de longitud.....	22
TABLA 8. Ítems desarrollados en el instrumento 2	28
TABLA 9. Resultados esperados del instrumento 3.....	30
TABLA 10. ITEMS del instrumento 1.....	31
TABLA 11. Resultados obtenidos de cada ítem del instrumento 1.....	32
TABLA 12. Tabla que muestra los resultados obtenidos del instrumento 2.....	34
GRÁFICO 13. Gráfico de barras que muestra los resultados obtenidos del instrumento 2. Microsoft Excel 2007.....	35
TABLA 14. Tabla que muestra los resultados obtenidos del instrumento 3.....	36
GRÁFICO 15. Gráfico de barras que muestra los resultados obtenidos del instrumento 3. Respuestas para Newton.	36
GRÁFICO 16. Gráfico de barras que muestra los resultados obtenidos del instrumento 3. Respuestas para Einstein.....	37

PRESENTACIÓN

La enseñanza de las ciencias tiene como base pedagógica y académica el aprendizaje de los conceptos científicos. Los conceptos científicos conforman los cimientos de una teoría aceptada. En física, los conceptos juegan un papel importante dentro del aprendizaje y desarrollo cognitivo de un estudiante. Un concepto clave en la historia de las ciencias es el de *la masa*. Este concepto ha sido abordado a lo largo del tiempo por una gran variedad de personajes, científicos y autores de teorías importantes que conforman todas las Ciencias Naturales. Sin embargo, en cuanto a un análisis se refiere, ha pasado desapercibido por muchos otros de los grandes científicos de la historia. Lo anterior debido a la complejidad terminológica, lingüística y semántica que comprende.

Aquí, se tratará el problema de la significación de la masa por parte de Albert Einstein (1879-1955) en su teoría de la relatividad especial, pasando brevemente por Isaac Newton (1642-1727) para destacar aspectos relevantes que pesan en la teoría de la física moderna. Se configura así el objetivo del presente trabajo:

Realizar una discusión frente a los conceptos de masa y masa relativista mostrando las dificultades y problemáticas que trae el concepto de masa entre la mecánica clásica y la relatividad especial.

La masa contextualizada en el marco de la física presenta una configuración que fue cambiando con el tiempo. Newton distinguió la masa en dos tipos que denominó la masa gravitacional y la masa inercial; aunque siempre observó que las dos clases de masa poseían el mismo valor numérico, no prestó mucha importancia a este hecho, ya que evidenció una diferencia conceptual entre ellas. Por otro lado, Einstein no diferenció conceptualmente esta clasificación de masa; pero al enunciar su famosa masa relativa que depende de la velocidad, la masa quedó entonces definida en términos operacionales mediante la función de Lorentz, diferenciando así una masa en reposo y una masa relativa.

Al realizar un análisis detallado de las incidencias del tratamiento conceptual que abordó Einstein, se encuentran ciertas falacias en la definición del concepto de masa que serán el eje central de la discusión a lo largo del trabajo. Lo anterior, enmarcado desde el trabajo que realiza Martínez-Chavanz 2011 en su artículo.

Se plantean, por lo tanto, las siguientes inquietudes que permiten allegar una idea más clara de los objetivos del trabajo. ¿Cuál es la importancia de realizar análisis conceptuales en la enseñanza de la física?, ¿Qué dificultades tiene la enseñanza de los conceptos científicos en la física?, ¿Cuáles son los tratamientos históricos más importantes para la masa?, ¿Existe alguna diferencia conceptual entre masa e inercia?, ¿Cómo se halla la medida de la masa de un cuerpo?, ¿Es correcto afirmar la posibilidad de una masa que se puede medir en movimiento como lo plantea Einstein con la masa relativa?, ¿Es necesario distinguir clases de masa?, ¿Es posible corregir el tratamiento conceptual de la masa y la inercia en la relatividad? Si bien, la intención del estudio no es dar respuesta a todos y cada uno de los anteriores interrogantes, estos permiten conformar el ambiente adecuado para plantear el problema que da contexto al presente trabajo:

Parece que el concepto de masa se concibiera universal, pero no se puede establecer fácilmente cuál definición conceptual es la usada en la Relatividad después de haber tratado la mecánica clásica. La masa relativa presenta ciertas dificultades conceptuales que parece que existieran unas falacias lógicas en su definición.

Este aspecto supone examinar el aula de clase para confirmar la asimilación, comprensión y entendimiento de la teoría de la relatividad especial. Para llevar a término la posible solución del problema, se propone la acción de una serie de objetivos específicos:

Recorrer históricamente, desde Newton hasta Einstein el tratamiento del concepto de masa, resaltando cómo se obtiene su medida y establecer la posterior consecuencia conceptual -que no determinó Einstein- al plantear la posibilidad de medir la masa de un cuerpo en movimiento y proponer la masa relativa.

El último objetivo, se enmarcará en la incursión en el aula, en donde se pretende indagar por las consecuencias que se derivan al no realizar un análisis conceptual previo a la enseñanza de la relatividad, lo que permite preguntar por la aceptación, por parte de los estudiantes, del concepto de masa relativa como la posibilidad de medir la masa de un cuerpo en movimiento.

De esta manera se plantea el diseño del escrito dividido en cuatro partes. Cada cual desarrollará un elemento importante y de conexión anclada con el concepto de masa. Como se dijo anteriormente, el fin es destacar la importancia de los conceptos científicos en la educación, pero teniendo en cuenta que para ello se requiere tener como referente que al enseñar no se trata de transmitir el conocimiento sino de construirlo, así está a la base una educación que permita formar personas y sociedades capaces de enfrentar los grandes cambios que propone la ciencia día tras día.

Con el propósito de fortalecer la línea de investigación a la cual pertenece este trabajo, previamente se realizó una breve revisión de otros trabajos de investigación en el marco de la teoría de la relatividad de Einstein y su enseñanza en la escuela.

En el Centro de Documentación del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional se ha hecho la revisión de los siguientes trabajos:

- El experimento mental y su función pedagógica. Autor: Cruz María Echeverri; Henry Salazar. Asesor: Francisco Rodríguez.
- Algunos elementos epistemológicos para la enseñanza de la teoría de la relatividad. Autor: Olga Romero. Asesora: María Mercedes Ayala.
- El método histórico crítico y la enseñanza de física moderna: interpretación del efecto fotoeléctrico. Autor: Fabiano Cotachira, Bertha Guáqueta. Asesor: Juan Carlos Orozco.
- Análisis formal de los conceptos de espacio y tiempo. Autor: Clara Pacheco; Walter Pulido. Asesor: Julián Urrea.

Algunas consideraciones acerca del concepto erróneo de masa relativista. Autor. Javier Francisco Nosa. Asesor: Mauricio Mendivelso.

La teoría de la relatividad no es un campo nuevo del todo, la relatividad fue usada en la física por Galileo quien le puso el matiz matemático y físico del asunto, y después Newton incorporando el cálculo que él mismo desarrollara en su fructífera vida, le daría la

estructura que permanecería inmóvil hasta la llegada en el siglo XX, con Einstein y su nueva teoría de la relatividad. Pero Galileo no es el primero en hablar de conceptos que se trabajan en la teoría. El tiempo, el espacio y la masa ya interesaban a muchos pensadores de la antigua civilización, Aristóteles entre otros, destaca en el discurso acerca del tiempo y el espacio. (Arriasecq & Greca, 2004)

Durante cientos de años hasta llegar a Einstein los conceptos eran aceptados dentro del marco de la mecánica de Newton. Pero es Einstein quien con sus increíbles y sencillos experimentos mentales crea una teoría basada en la cotidianidad, en responder cosas que muchos se habían preguntado pero que nadie se había atrevido a contestar. Así es como se da un nuevo significado a la masa, entre otros conceptos.

La teoría se desarrolla en los inicios del siglo XX cuando en 1905 un joven arriesgado propone con sus planteamientos una nueva forma de concebir el mundo: la Teoría de La Relatividad Especial, nombre muy adecuado porque años más tarde la teoría sería desarrollada ampliamente por él mismo con La teoría de la Relatividad General. (Naiden, 2005)

INTRODUCCIÓN

De las grandes teorías que surgieron a inicios del siglo XX, es la teoría de la Relatividad propuesta por A. Einstein una de las más importantes. Su trabajo es reconocido como uno de los mejor estructurados y hace de Einstein uno de los más grandes científicos en la historia de la ciencia y en especial de la Física (Arriasecq & Greca, 2004). La teoría encierra muchos aspectos de interés propios de la física, la matemática, la filosofía y la historia entre otros. Tal teoría denominada completa y útil dentro del mundo científico y moderno del siglo XX abarca un gran número de discusiones frente a su enseñanza en la educación media vocacional. Algunos investigadores del tema adoptan la postura de la enseñanza de la física clásica como recurso suficiente dentro de esta etapa de la educación y, se deja de lado la enseñanza de la física moderna, comprendida por la mecánica Cuántica y la Relatividad de Einstein (Pérez & Solbes, 2003)

Por otro lado, se propone la introducción de la enseñanza de la Física Moderna en el aula de clase como espacio propicio para pensar en los problemas que se construyeron en la física clásica y así mirar el contexto del nacimiento de esta teoría tan importante. Pero, existe una postura en la cual la didáctica se ha dejado de lado en el marco de la enseñanza de la física en el bachillerato, aunque estos interrogantes se retoman de nuevo a principios del siglo XXI como es el caso de: (Naiden, 2005), (Pérez & Solbes, 2003), (Berenguer, 1997) entre otros. Lo anterior muestra que hay fuertes bases con varios de autores que afirman que la enseñanza de la física moderna y en particular de la Relatividad de Einstein está muy lejos de ser apropiada por las escuelas, por lo menos en el contexto iberoamericano de la educación.

Recogiendo algunas de las controversias que se presentan a la hora de introducir al aula la enseñanza de la física moderna, en este caso la teoría de la Relatividad de Einstein, se encuentra una problemática central: El tratamiento de las definiciones del concepto de masa en la relatividad parece presentar problemas de definición conceptual, lo anterior analizado desde la propuesta del artículo de (Martínez-Chavanz, 2011). De esta forma se realiza una propuesta de trabajo basada en las definiciones del concepto de *masa* y *masa relativista* desde el tratamiento de Newton hasta Einstein. El trabajo se centrará en el análisis de las nociones de masa que surgen en la teoría de la relatividad para discutir si realmente las falacias que nombra Martínez-Chavanz en su texto son consideradas por parte del docente y sus estudiantes y las implicaciones en la definición del concepto.

El concepto de masa atrapa muchas nociones y análisis matemáticos y filosóficos que enmarcan el problema de su definición en el contexto del aula de clase, esto se mostrará un poco más ampliamente así:

La primera parte del trabajo desarrollará el problema de los conceptos científicos, tratando de definirlos, y mostrando una de las categorías que se destaca en las ciencias: los conceptos métricos, que proveen la utilidad de establecer a la masa como uno de ellos. En esta misma parte del trabajo, se plantean inquietudes respecto a la forma de educar en ciencias y precisamente cómo se enseñan los conceptos científicos. Para esto, el soporte teórico será la transposición didáctica que permite concretar el planteamiento del problema

en la necesidad de hacer un análisis conceptual. Ese análisis involucra a los principales actores de la educación que, en el marco de la transposición didáctica son: el científico con el saber sabio y el texto que replica y modifica el anterior saber y que es el insumo del docente en ciencias, quien posteriormente moldeará el conocimiento en otro nivel para llevarlo a la escuela y a los estudiantes.

Para cerrar la primera parte de los conceptos científicos, se plantean las problemáticas que se encuentran al intentar comprender los conceptos científicos. Se describe un panorama en donde la educación en ciencias no está diseñada para afrontar cambios radicales en el pensamiento. El concepto científico en sí, plantea obstáculos y dificultades en la enseñanza, pero se muestra la importancia de conocer e investigar estas dificultades ya que son el insumo para crear estrategias de superación y lograr construir una educación que genere personas críticas, capaces, formadoras, investigadoras, creativas y analíticas que cambien paradigmas científicos y educativos. Teniendo en cuenta que existen dificultades y que estas son el insumo de la producción pedagógica en investigación, la segunda parte aborda las problemáticas que plantea el concepto de masa en su definición, operacionalización y enseñanza. La masa es estudiada desde el tratamiento conceptual y lingüístico que le dio Isaac Newton en la mecánica clásica y desde la perspectiva radical de Einstein.

La segunda parte encierra la problemática principal de la discusión del presente trabajo, cual es la consecuencia de que Einstein no distinguiera entre la masa y la inercia, que desencadenó en una falacia conceptual desde el análisis del trabajo de Martínez-Chavanz. Se trata del planteamiento de una masa relativa al movimiento que aumenta dependiendo de la velocidad del marco respecto a un laboratorio y la imposibilidad que exista ésta por contener falacias de tipo lingüístico y conceptual.

Los problemas al definir la masa se centran en tratar de encontrar si la masa sí se diferencia de la inercia y que si es posible hacerla distinguible en el marco de la relatividad. También se discute el tratamiento de que la medida de la masa sólo se puede obtener cuando el medidor está en el mismo marco de referencia inercial que el objeto a medir, según el contenido del artículo de Martínez-Chavanz. La noción de masa relativa de Einstein supone que es posible obtener la medida de la masa de un cuerpo cuando se encuentra en movimiento. Lo anterior muestra la primera falacia conceptual que se encuentra a la base de la discusión: Einstein plantea que existe además una masa en reposo. La segunda falacia, que se discute, es que definir a la masa en reposo es una redundancia lingüística, lo que implica un cambio conceptual de lo que Einstein definió como la masa relativa. El análisis describe que la masa relativa debe ser desechada y ser introducido el concepto de inercia que es más adecuado. Todo lo anterior, es llevado a una discusión con un análisis que lleva a ciertas reflexiones pedagógicas en el tratamiento conceptual abordado.

Enmarcando de nuevo la problemática encontrada con la educación, se formula en la tercera parte una observación de la incursión de temas de relatividad en el aula de clase. Se presentan una serie de instrumentos, aplicados en el aula, que mostrarán las incidencias principales de abordar la teoría cuando no se hace un tratamiento conceptual como el descrito en este trabajo. En este orden de ideas se siguen las clases de un docente de física en el colegio CANAPRO quien ha involucrado la enseñanza de la física moderna en su

currículo pero que lo hace siguiendo contenidos de libros de texto usuales en la física. Lo anterior indica que se sigue la enseñanza de la relatividad sin un análisis conceptual.

El análisis de estos resultados mostrará lo que piensan los estudiantes de la teoría; si esta es aceptada, comprendida, y asimilada o por el contrario no existe un aprendizaje significativo. Por último, se presentan las conclusiones y un apartado dedicado a resaltar que a pesar de las dificultades que tiene la enseñanza de la física moderna en la escuela, también presenta varias ventajas que deben ser consideradas para dinamizar el quehacer del docente.

1. LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

Los conceptos científicos no son ajenos a los niños y las niñas en la escuela. Los conceptos son parte vital en los primeros pasos de la formación científica. En el artículo de Patricia Gallego se menciona la relevancia de enseñar ciencias considerando la importancia de los conceptos científicos, indicando que “*en las últimas décadas se ha producido una verdadera revolución en las formas de concebir la ciencia, el trabajo científico, la tecnología, entre otros*” (Gallego Torres, Castro Montaña, & Rey Herrera, 2008). De esta manera algunos autores han mencionado una tendencia, todavía no muy aceptada por científicos y pedagogos, llamada la ciencia de enseñar las ciencias como (Izquierdo & Sanmartí, 2001; Gallego Bladillo, Gallego Torres & Perez Miranda, 2002) mencionados en el artículo de (Gallego Torres, Castro Montaña, & Rey Herrera, 2008).

Como complemento a la relevancia y pertinencia mencionada, el objetivo de enseñar en ciencias es la necesidad de formar personas creativas y capaces de desarrollar nuevas ideas, de identificar y resolver problemas, además de ser personas comprometidas con el destino común de sus semejantes, citando nuevamente a Patricia Gallego, “*que estén interesados en construir, en compartir, en producir y capaces de adaptarse rápidamente a los cambios*” (Gallego Torres, Castro Montaña, & Rey Herrera, 2008). Por lo anterior, queda claro que una educación dedicada a la transmisión de conocimiento científico, encargado de recitar definiciones de conceptos no es la ideal para cumplir el objetivo mencionado. Para ello, la educación debe ser una tal que propicie espacios de motivación, indagación, investigación y criticidad.

Los conceptos científicos como la base de las teorías científicas conforman la base de la educación científica y por ello la importancia de abordarles con un sentido y detalle. A continuación se aborda lo que son los conceptos científicos aclarando antes que no se realiza una profunda discusión ni un análisis propiamente filosófico o psicológico del tema.

1.1 DEFINIR LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

Los conceptos son las unidades más básicas, y por ello mismo imprescindibles, de toda forma de conocimiento humano, y en especial del conocimiento científico (Díez & Moulines, 1999). Así es como se ha apreciado, desde los antiguos tiempos de los griegos clásicos con Platón, que en los conceptos reside no sólo una gran importancia dentro del conocimiento sino que tiene un sinfín de controversias. En especial, los conceptos científicos que en esencia son la base fundamental de una teoría científicamente aprobada también requieren un análisis y un estudio centrado desde la filosofía para poder ver sus implicaciones, controversias y usos en la ciencia y en la enseñanza de las ciencias, y en este caso de la enseñanza de la física.

Desde un punto filosófico, los conceptos deben establecerse a través de criterios que fundamenten la idea y aproximación a lo que se entiende por concepto. En primer lugar, una de las corrientes filosóficas que no toma parte la ciencia y, por lo tanto, es rechazada en el presente trabajo es el *nominalismo* extremo de los conceptos según el cual sencillamente no existen los conceptos o éstos no son sino expresiones verbales de los seres humanos. Otra de las corrientes filosóficas rechazadas aquí afirma que hay un conocimiento “no

conceptual”, que es claramente inadmisibile por el conocimiento científico (Díez & Moulines, 1999).

Los conceptos no son objetos empíricos, por lo tanto no hacen parte del mundo real o al reino de los sentidos como alguna vez lo planteó Gottlob Frege (Rosario Barbosa, 2010). De esta manera, los conceptos se definen como entidades abstractas. Al no ser empíricos, si se lograra conocer los objetos reales (sin discutir lo que es real y lo que no) y además reconocerlos, entonces sería gracias a los conceptos que dispone cada individuo. Consecuentemente a esto los conceptos permiten identificar, diferenciar, comparar, etc.

Pero contemplada una *ubicación* de los conceptos en lo que se denomina el mundo conceptual y el mundo real, se debe establecer una relación o un proceso para transferir de un mundo a otro. A esto se le llama la *subsunción* definida como: “*un concepto subsume a uno o varios objetos. Es decir, que el objeto cae bajo el concepto, o que el concepto se aplica al objeto*” (Díez & Moulines, 1999). Los objetos en general hacen parte del mundo real, en donde también se establece que se encuentra el lenguaje creado mediante símbolos y signos. El lenguaje es la expresión del concepto a través de términos que residen en el mundo conceptual o sistema conceptual y que además es una relación no-recíproca. Para traer esos conceptos al mundo real se hace necesaria la aparición del proceso de subsunción. La siguiente figura explica claramente lo mencionado (Díez & Moulines, 1999).

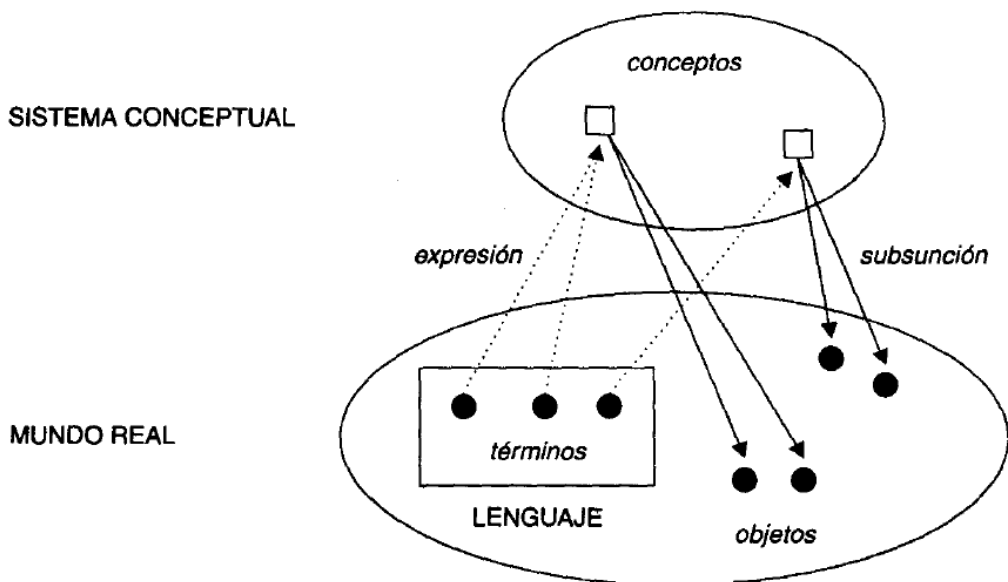


FIGURA 1. Subsunción del sistema conceptual al mundo real de (En Díez & Moulines, 1999).

La figura muestra los dos conjuntos separados, el de conceptos y objetos que se unen por relaciones denominadas la expresión y la subsunción por medio del lenguaje. El vasto mundo de los conceptos no es siquiera imaginable por la mente humana, y aterrizarlo en el mundo real no es una tarea fácil ni para el científico ni para el no científico.

De lo mencionado anteriormente, se establece una categorización de los conceptos. Cada categoría clasifica y organiza grupos de conceptos que cumplen un propósito. En general, la categoría de los conceptos métricos es la más usada en la ciencia moderna ya que presenta algunas ventajas sobre otro tipo de conceptos como se verá más adelante.

1.2 CONCEPTOS MÉTRICOS

La ciencia es el conjunto de varias disciplinas que se encargan de un estudio determinado de la naturaleza. Por ejemplo, la física se encarga del estudio de las propiedades y comportamiento del espacio, el movimiento, el tiempo, la materia, la energía y la masa, así como sus interacciones. Nótese que la física se encarga del estudio de la naturaleza por medio de leyes universales a través de la concepción de conceptos que son elegidos para determinar la disciplina específica. Para ello, se hace uso de los conceptos métricos, que en pocas palabras son la matematización de la disciplina. Para explicar lo anterior se realizará un ejemplo con el concepto de *masa*, a propósito de la intención del presente trabajo.

Ejemplo:

El objetivo de establecer un concepto científico es poder permitir la clasificación del concepto mismo. Por ejemplo, el concepto masa se clasificaría de la siguiente manera: Conceptos de “masivo”, “más masivo”, “menos masivo”, “muy masivo”, “poco masivo”, etc. De esta manera se pueden realizar clasificaciones y comparaciones pero con ambigüedades. Si se dice que Pedro es “más masivo” que Juan, entonces queda claro que Juan es “menos masivo” que Pedro. Pero, al establecer un concepto métrico de masa se hace lo mismo de una manera más fina. Asimismo al concepto se le asigna una función numérica que permite establecer las clasificaciones, comparaciones y mediciones. Entonces si se toma el valor numérico de la masa para Pedro (masa de 80 Kilogramos) y el de Juan (65 Kilogramos) es más fácil hacer comparaciones y relaciones entre ellos, como decir cuántas veces es más masivo Pedro que Juan.

Tal como lo muestra el anterior ejemplo, los conceptos métricos tienen ventajas para facilitar la comprensión del concepto en sí. Enseñarlos es la tarea del maestro, no interesa si sólo se remite a transmitir el conocimiento. Dentro de la enseñanza de las ciencias, los conceptos juegan un papel muy importante y tal vez fundamental, enseñarlos y aprenderlos son un problema definido por la educación tanto por parte del docente como del estudiante. Los procesos que le ocurren a los conceptos científicos adquiridos y asimilados en el docente y posteriormente en el estudiante son el objeto de estudio de una teoría llamada Transposición Didáctica.

1.3 TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

Históricamente, los conceptos “recorren un largo camino” y, como se mostrará a continuación, cuando de enseñar ciencias se trata aparecen unos actores que desempeñan su rol en la educación. El científico, los libros de texto, el docente y los estudiantes hacen parte de ese camino educativo por el que la enseñanza de las ciencias se ha detenido a observar en lo conceptual.

La transposición didáctica es una teoría creada por el francés Michel Verret en el año de 1975. Esta importante teoría aborda el problema de los conceptos, y en especial de los conceptos científicos trabajados en el campo de la educación. Se establece que el conocimiento científico determinado por las teorías que conforman todo el ámbito es denominado un *saber sabio*, que además está conformado por un sistema de conceptos no comprensible para la enseñanza. Por medio de la trasposición didáctica lo que se busca es una adaptación para llegar a un *saber enseñar* que sería la versión comprensible apta para la enseñanza en forma de un *objeto enseñanza*. La siguiente figura del artículo de (Solarte, 2006) muestra las relaciones de lo expuesto anteriormente:



FIGURA 2 .Transposición didáctica de primer y segundo nivel (En Díez & Moulines, 1999).

La teoría muestra que los conceptos científicos son transpuestos por el docente dado por el primer nivel, y los estudiantes nuevamente transponen el saber enseñar en un objeto de enseñanza. Aparece entonces una recontextualización del saber evidenciado en la variedad conceptual que muestran tanto los docentes como los estudiantes en educación en ciencias.

Sin embargo aunque se muestre un recorrido lineal en la figura 2, la transposición didáctica debe llevar implícito un factor agregado que posibilite y en lo posible trate de asegurar una comprensión y entendimiento (hablando de los actores que participan en la transposición de saberes). Por lo anterior, se deriva que existen ciertos obstáculos cognitivos que, en el caso de la escuela, el estudiante y el docente deben afrontar. Se deben tener en cuenta los obstáculos ya que sin la pre existencia de éstos, la educación simplemente no tendría problemas y toda la preocupación por incorporar nuevas didácticas pedagógicas sería en vano.

1.4 OBSTÁCULOS COGNITIVOS

Antes de proponerse el Constructivismo como alternativa pedagógica, la escuela tenía como propósito la transmisión de conocimiento científico. Este aspecto no es algo ajeno a lo que ocurre actualmente. Afectada gravemente por la falta de la didáctica en el aprendizaje y la no realización de un análisis profundo del sentido que se tiene de educar, la escuela se describe como la cimentación de un proyecto escrito que queda en el papel, pero que en la práctica docente al final resulta vacía, sin sentido y con el viejo objetivo de transmitir conocimiento científico (Astolfi, 1987).

De esta manera, se encuentran dificultades en la enseñanza de las ciencias y en el tratamiento de los conceptos científicos. Aparecen entonces obstáculos cognitivos que, al contrario de lo que su nombre lo indica, simplemente son un punto de referencia para superar dificultades que se resaltan en un proceso educativo de enseñanza. Según lo mencionado, ahora la escuela moderna requiere una visión diferente a la de recopilar o recitar una definición conceptual para abordar una teoría y, por otro lado, la de realizar

ejercicios algebraicos y aritméticos como es y ha sido el sentido tradicional de la enseñanza en ciencias.

Lo expuesto anteriormente abre un panorama en la enseñanza de la física que será resaltado a lo largo del siguiente escrito. La enseñanza de las ciencias y la enseñanza de la física tienen como base el análisis de conceptos científicos. Un análisis que requiere el trabajo detallado del docente y del estudiante. Los conceptos científicos, como se ha mencionado, son la base de las teorías científicas y por ello realizar un análisis de un concepto importante, como "*la masa*", es pertinente y necesario para la práctica docente.

En adelante se reflexionará acerca de la enseñanza del concepto de masa y las implicaciones en la teoría de la relatividad con la masa relativista, intentando comprobar la hipótesis de la teoría mencionada anteriormente. El concepto de masa, como concepto métrico se verá transpuesto por mediación de la historia de la ciencia (con el aporte de dos científicos protagonistas que son Newton y Einstein), las definiciones elaboradas por el docente y finalmente en la apropiación que hacen los estudiantes.

2. DEFINIR LA MASA

2.1 PROBLEMAS AL DEFINIR MASA

La concepción de la masa ha pasado por todos los estadios del pensamiento humano. Tratar de definirla no es un problema de los científicos naturales, ni mucho menos de la modernidad. Cada época ha tenido grandes pensadores que aportan algo nuevo a la concepción del mundo, ya sea reestructurando, cambiando o simplemente eliminando. Tal es el caso de la *masa*, en donde la solución del problema de medirla no es semejante a la de las múltiples concepciones que se han presentado cuando se trata de definirla. Por ello, al buscar una definición de masa lo más comprensible conlleva dar una definición lógica y científicamente satisfactoria. Es posible que al indagar en algunos libros de texto, escolares y universitarios, se encuentren definiciones que no cumplan con el criterio anterior, por ejemplo lo hace un texto escolar que afirma que “*se ha definido la masa m de un cuerpo como una cantidad que depende del número de protones, neutrones y electrones que conforman ese cuerpo*” (Zalamea G., Rodríguez M., & París E., 1995) o también definir simplemente a la masa como *la cantidad de materia* que tiene un cuerpo sin ir más allá de la concepción o tratamiento, o la forma de medirla (Villegas & Ramírez, 1998).

Para la obtención de la medida de la masa primero hay que anotar que la masa como medida fundamental en la física se define por medio de unidades en una variedad de sistemas. La variedad de sistemas es definida por el uso o la importancia que se le da a la medida. Por ello en 1960, durante la Conferencia General de Pesos y Medidas, se estableció reconocer las más importantes unidades físicas y crear así un Sistema Internacional, en donde la masa es definida por la unidad Kilogramo.

Muchos autores de libros de texto universitario o escolar se detienen a explicar cómo se mide la masa. A modo de ejemplo, se encuentra esta definición de *medición* en un texto de física: “*Medir es comparar una magnitud con otra de su misma especie que se toma como unidad. En toda medición intervienen necesariamente dos partes: el sistema que queremos medir y el aparato de medida.*” (Alonso & Rojo, 1986) (p. 3). Para el caso de la masa se comparan patrones, previamente establecidos.

En las nociones de *masa* parece no haber una claridad en su definición, evolución o contexto dentro de la enseñanza de la física. Es por ello que tanto el maestro como el estudiante crean nociones del concepto de masa gravitacional o inercial en el marco de la mecánica clásica de Newton o la masa relativa y masa en reposo en la relatividad especial de Einstein. No se trata de afirmar que Einstein por ser uno de los últimos genios del mundo científico tenga la absoluta razón cuando habla de sus concepciones acerca del tiempo, espacio y masa. Y mucho menos, que Newton por haber planteado sus conceptos hace varios siglos se haya equivocado en sus trabajos. No se trata de dogmatizar los términos, de enaltecer a Einstein por describir nuevamente la forma de percibir el mundo o rechazar a Newton por su distinta percepción del mundo (Russel, 1985).

Hay dos posturas frente a la definición de masa. La primera, trata de definir a la masa como una propiedad intrínseca de los cuerpos, es decir que la masa caracteriza la naturaleza

del cuerpo y por lo tanto su definición conceptual debe apuntar a propiedades que sean medibles y observables directamente. Lo anterior, pensando en que no es afectada por otros factores o variables físicas. En pocas palabras, la primera postura apunta a la existencia de una única masa que rige en las ciencias. La segunda postura, apunta a definir la masa como un concepto que depende y hace parte de otras variables, y que por lo tanto tiene diferentes definiciones de masa, negando que haya sólo un concepto de masa universal. Para ampliar más las dos posturas se realizará una discusión en torno a la problemática que trae la definición de la masa.

Si se quiere conocer la medida de la masa de un cuerpo sin necesitar de un campo gravitacional o un instrumento de medida que dependa de campos gravitacionales homogéneos entonces aparece el primer problema de medir la masa, desde la primera postura señalada anteriormente. Se supone constante la aceleración gravitacional con la que se mueve un cuerpo en caída libre en la Tierra, y la forma usual de medir su masa sería usando una balanza. Por lo tanto para tomar esta medida el instrumento depende exclusivamente del campo gravitacional donde se encuentre el cuerpo. Lo anterior se refiere a una masa gravitacional, ya que si el cuerpo se pusiera lejos del campo gravitacional de la Tierra u otro cuerpo con campo gravitacional considerable, entonces la medida del instrumento de medida sería nula o diferente en cada punto.

Tratar de pensar en un instrumento de medida de la masa que no dependa de algún tipo de campo convierte a la primera postura de la masa muy ideal. Si la masa tiene un carácter intrínseco entonces al tratar de encontrar esa propiedad se vuelve casi imposible de lograr. Ese carácter intrínseco lleva a la posibilidad de que exista sólo una masa. Aquí reside el primer problema, ya que existe una diferencia conceptual que se establece en la mecánica clásica entre la masa gravitacional y la masa inercial, y también aparece en la Relatividad Especial de Einstein. Más adelante se ampliará como se definen cada una de estas masas.

Ahora, referente a la segunda postura, la masa interactúa directamente con el mundo dinámico. La masa no se puede aislar completamente para observar su naturaleza intrínseca, sino que se hace necesario que interactúe con mínimo otro cuerpo para observar sus características a partir de unas ya conocidas. Es así como la masa inercial hace su aparición en el mundo científico. Si un cuerpo se encuentra en reposo respecto a un observador, y se aplica una fuerza para que cambie su estado de movimiento entonces existe una relación entre la interacción con el cuerpo que hace posible medir que tanto *cuesta* hacer ese cambio de estado, y es a lo que se le denomina la masa inercial. La masa inercial referida inicialmente a la resistencia de cambiar su estado de movimiento.

La segunda postura muestra la posibilidad de que existan diferentes conceptos de masa. La segunda clasificación que se hace, después de la masa inercial, es de la masa gravitacional, la cual depende de una medida directa, un instrumento de medida y la presencia de un campo gravitacional. En este caso, cuando colocamos un cuerpo en una balanza en la Tierra se está tomando la medida de la masa gravitacional.

En el marco de la relatividad especial aparece una caracterización de la masa diferente en principio de la masa clásica. Para Einstein, la masa no se determina como inercial o gravitacional, o al menos esto no lo hace explícito en su trabajo. La masa en esta

nueva teoría aumenta con la velocidad cuando está cercana a los valores de la velocidad de la luz. Se le denomina la masa relativa, y hace su aparición en una ecuación relativista que incluye a la masa en reposo.

En este punto de la masa relativista aparece una interesante discusión que será abordada a continuación. Se expondrán los puntos de vista de un autor que plantea aspectos interesantes sobre el tratamiento de la masa y después se hará una discusión de lo que propone el texto citado.

El profesor colombiano Regino Martínez-Chavanz de la Universidad de Sorbona en París publicó un artículo llamado “Einstein: científico y filósofo. *Acerca de la masa y su tratamiento dado por Einstein y Garavito*” en el año 2011 en el cual señala, en uno de sus apartados, las falacias que trae la masa relativa expuesta en la Relatividad Especial argumentando y sintetizando al final de su texto.

Martínez-Chavanz señala a lo largo de la primera parte acerca de las definiciones y formas de medir la masa. Indica que para realizar la medida de la masa, ésta debe estar en *reposo* para tener certeza del cálculo o medida que se quiere tomar. Es decir, lo mencionado anteriormente se realiza estableciendo un marco de referencia inercial en donde se suponga en reposo la masa a la cual se le quiere hallar su medida.

Lo mencionado anteriormente sobre el estado en reposo es un punto clave en su discusión ya que la masa debe considerarse en ese estado cuando se quiere saber el valor de medida. Aquí aparece la primera falacia que señala el autor, denominándola una falacia lingüística. La falacia tiene que ver con la definición de masa que expone el autor en la cual afirma una única forma de obtener la medida de la masa. Esa medida de la masa se hace únicamente en reposo, y niega la posibilidad de medir la masa en un marco de referencia distinto. La falacia entonces muestra que la masa en reposo que aparece en la relatividad especial es una redundancia lingüística por lo cual debe ser cambiada o rechazada por el momento.

Se muestra que, para Einstein, hablar de masa e inercia es equivalente, es decir se usa el término sin distinción lingüística, operacional o conceptual, o que simplemente habla de una masa diferente a la tratada hasta el momento. Lo que se hace en la relatividad especial es distinguir una masa que depende de la velocidad respecto a un marco inercial y una masa en reposo que se considera en el mismo marco inercial que hace la medida. El autor también señala de la siguiente manera que si se estableció que la medida de la masa se hace en el mismo marco de referencia inercial, se está determinando la condición de la imposibilidad de medir la masa cuando se encuentra en movimiento respecto a otro marco de referencia inercial. Aquí Martínez-Chavanz escribe que Einstein comete otra falacia desde lo que se ha comentado hasta el momento. La masa relativa no puede ser contemplada porque genera inconsistencia lógica en la definición.

Ahora, según lo comentado se hace la relación con la mecánica clásica al tratar el concepto de masa. El artículo señala un interrogante ¿en la Relatividad Especial se usa el mismo concepto de masa utilizado por Newton?

Según las definiciones operacionales y lingüísticas tratadas en la mecánica clásica de los conceptos de masa e inercia, es válido afirmar que son idénticas. En la teoría de la

relatividad de Galileo-Newton, la materia clásica posee masa en dos sentidos (Martínez-Chavanz, 2011):

1) *La masa o masa material, en su primera acepción clásica, define la cantidad de materia intrínsecamente contenida en un cuerpo. Es una reminiscencia de la cantidad de movimiento que es proporcional a la cantidad de materia. La masa es capacidad material.*

2) *La masa, en su segunda acepción, define el coeficiente numérico de inercia o resistencia al cambio de estado de movimiento de un cuerpo. La masa inercial o masa de inercia es capacidad resistiva.* (Martínez-Chavanz, 2011)

Lo anterior muestra la búsqueda del autor por definir a la masa como materia a partir de la naturaleza intrínseca. Indica que la masa en la mecánica clásica se refiere a la masa inercial como la resistencia a cambiar de estado de movimiento. La intención de definirlo es que cuando es llevado el concepto a la relatividad, conserva ciertas características referidas a la inercia.

Continuando con la discusión, el autor señala que después de haber identificado las falacias que contiene esta parte de la teoría de Einstein, es posible hacer unos ajustes conceptuales para que la teoría no sea rechazada. El ajuste que propone el autor es el cambio conceptual del término de masa relativa por inercia relativa. Al introducir el término de inercia se establece una gran diferencia conceptual entre la masa y la inercia.

Hablar de la masa relativa tomando los aspectos que se han comentado acerca del concepto de masa es el punto álgido de la discusión. Einstein enunció que la masa es relativa al movimiento, y aumenta conforme la velocidad medida lo haga también. Einstein enunció lo anterior de la siguiente manera:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Recordar que para Einstein no existe diferencia entre la masa m en movimiento, de la masa m_0 en reposo, en cuanto a la definición conceptual. Donde v es la velocidad del cuerpo respecto a un marco de referencia y c es la velocidad de la luz en el vacío.

Respecto a lo mencionado anteriormente, Martínez-Chavanz afirma que “ m_0 es justamente un caso particular de la masa relativista ($m_r = m(v) = m_0\gamma$) o que son definiciones de la masa según el referencial donde se mida, es, desde todo punto de vista lógico, una aseveración inconsistente”. (Martínez-Chavanz, 2011).

Cuando se define que la masa depende de la velocidad, en realidad se comete una equivocación conceptual ya que el concepto masa en reposo m_0 y la masa relativa m son diferentes. El primero es la masa y el otro es la inercia

$$I(v) = I = m_0\gamma \quad (\text{Ecuación 2})$$

La ecuación 2, muestra la corrección conceptual que propone el autor. Ya no es la masa la que depende de la velocidad. En cambio es la inercia la que depende y aumenta con la velocidad. Es decir que la inercia depende de la velocidad del cuerpo, y no la velocidad como se ha considerado anteriormente. Se deja en claro que “poner la ‘masa relativista’ de

cada una de las partículas sería una insensatez, sería hablar de su inercia, que depende de su velocidad, en cada uno de los infinitos referenciales de inercia” (Martínez-Chavanz, 2011).

La inercia es entendida como la dificultad de cambiar el estado de movimiento, por lo que requiere suministrarse más energía cinética para lograrlo. La Inercia tiene las mismas unidades que la masa. Pero conceptualmente adquiere importancia ya que liga el momentum y la energía del sistema. Como se definió que la inercia depende de la velocidad, entonces quiere decir que a medida que aumenta la velocidad es más difícil cambiarle su estado de movimiento al siguiente. Para explicar la inercia de un cuerpo y la inercia relativa se toma el siguiente ejemplo.

EJEMPLO

Considérese un cuerpo que tiene una masa de 200 gramos. Si el cuerpo adquiere una velocidad de $0,70 c$ respecto a un observador en reposo, entonces la inercia que adquiere el cuerpo a esa velocidad es de:

$$I(v) = I = m_0 \gamma$$
$$I = (200 g)(1,4002)$$
$$I = 280 g$$

El cuerpo aumentó su Inercia por lo que se sería consecuente pensar que para velocidades mayores es mucho más difícil de cambiar su estado de movimiento. Sin embargo el cuerpo tendrá la misma masa independiente de cuanto cambie su inercia.

A continuación se presentan las diferentes definiciones de masa tanto en el marco de la mecánica clásica como en la relatividad especial de Einstein, para apreciar el recorrido y los diferentes contextos en los que se mueve este concepto en la física. Este panorama no será tan extenso como realmente lo es, sin embargo se muestran algunos puntos en la discusión que serán utilizados más adelante en la incursión al aula de clase (capítulo 3). Esto mostrará puntos clave sobre la discusión que se irá presentando teniendo en cuenta el artículo de Martínez-Chavanz y su tratamiento de la masa relativa. Se presentarán algunas reflexiones sobre lo que implica determinar el trabajo de Einstein como un contenido con falacias y la importancia de hacer un análisis de este tipo de trabajo.

2.2 MASA EN MECÁNICA CLÁSICA

El concepto de masa en la mecánica clásica establecida por Isaac Newton (1642 - 1727) fue diferenciado por la masa gravitacional y masa inercial. Esta diferenciación se hace desde un punto histórico, pues la masa gravitacional ya había sido establecida, tratada y utilizada mucho antes que Newton. Este hecho es constatado mediante la remisión de la creación de la balanza de brazos hace casi 1200 años y su uso en la biblia cuando se denomina el término de peso que contiene a la masa gravitacional (Jammer, 2001).

Desde el punto de vista clásico, la masa se clasifica en masa inercial y gravitacional. Es bien sabido, que numéricamente el tratamiento de la masa gravitacional y la masa

inercial no difieren. Sin embargo, los contenidos conceptuales son muy diferentes y por ello es que se hace la diferencia a pesar de la equivalencia numérica de su medida.

Desde el punto de vista newtoniano, la masa (ya sea gravitacional o inercial) cumple el principio de conservación. La primera persona en enunciar el principio de conservación fue Lavoiser (1743-1794) en el año 1789, llamado de conservación de la masa. Este principio se mantuvo presente en la mecánica clásica por décadas y décadas de ciencia newtoniana.

A continuación se muestra el tratamiento y explicación que hacen un par de autores usados en la escuela para definir el concepto de masa. Pero antes de mostrar ese panorama, se señala una de las definiciones de masa que se podría encontrar fácilmente en un libro de texto de ciencias o internet.

Newton define a la masa en términos geométricos al introducir el término de densidad de masa, como se ve en la forma

$$m = V\rho \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde V es el volumen que ocupa un cuerpo y ρ es la densidad de masa por unidad de volumen. Esta definición de masa ciertamente presenta serios problemas porque se equipara con la definición conceptual de la densidad. Por lo tanto, esta definición es más apropiada para definir a la densidad como la cantidad de masa por unidad de volumen y no a la masa como se pretende en la ecuación 3.

Continuando con la discusión, aparece un autor colombiano (Martínez-Chavanz, 2011) que indica que la medición de la masa sólo se logra cuando el cuerpo medido está en el mismo sistema de referencia inercial que el medidor. Es decir, plantea la imposibilidad de medir la masa de un cuerpo cuando se encuentra en movimiento respecto a un sistema de referencia diferente.

2.2.1 Masa Inercial

El tratamiento conceptual de la masa inercial no es una discusión que se logre resolver fácilmente. Es más, hay que indicar que tiene tal variedad de dificultades que el marco del siguiente trabajo no alcanza a abarcar en su totalidad. Tales dificultades son evidenciadas en la gran cantidad de autores que hablan sobre el tratamiento conceptual de la masa, pero de aquí en adelante Max Jammer y su libro (Jammer, 2001) serán el soporte de las discusiones en torno a la masa en mecánica clásica. Lo que a continuación se muestra es un breve panorama de las definiciones de la masa inercial a lo largo de la historia señalando algunos de los muchos que han hablado del tema.

La primera definición se elige de un libro de texto de física que dedica un apartado a explicar sólo la masa inercial. El libro de texto indica que: *Es la masa en la cual la gravedad de un lugar (de la Tierra) dado por la ley de gravitación universal no afecta o influye* (Resnik & Halliday, 1977, p. 520). La masa inercial se opone al cambio en la velocidad según el principio de inercia. Se toma el valor de la fuerza para la segunda ley de Newton:

$$F = m a \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde la fuerza F actuando sobre un cuerpo con masa m , produce un movimiento acelerado a . La relacion aritmetica de la masa según la ecuacion 4 es:

$$m = \frac{F}{a} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Si a un cuerpo se le aplica una fuerza F de tal manera que se mueva con una aceleracion a , entonces la razon entre F y a muestra que para hacer cambiar el estado de movimiento de un cuerpo en reposo con una fuerza mucho mayor que el valor de la aceleracion, se encuentra una resistencia inercial al movimiento proporcional llamada la masa inercial. La relación muestra la medicion de la masa desde la razón entre la fuerza F y la aceleracion a . Esta definicion de masa presenta un problema de circularidad pues, como lo muestra la ecuacion 4, la intencion es definir a la fuerza en términos de la masa y la aceleración, por lo tanto al establecer la masa como la fuerza dividido entre la aceleracion muestra una circularidad de definicion ya que el objetivo es definir a la masa pero en términos de la fuerza que tampoco se define. De lo anterior se deja en claro que, la masa definida como la proporcion entre la fuerza y la aceleracion no es adecuada por definir a la masa en terminos de un concepto primitivo o no definido como la fuerza.

Max Jammer (Jammer, 2001), indica la forma como Galileo define la masa en términos de lo que él mismo definía como la “massa” de un cuerpo pero teniendo en cuenta las cantidades fundamentales de la mecánica como el espacio, el tiempo y el momentum. Para explicar la definicion de lo que Galileo pensaba de la masa inercial (aclarando que nunca la definió como masa inercial, ni pensaba en la masa como una cantidad fundamental de la mecanica) se describe un ejemplo.

Galileo diría que, se tienen dos cuerpos A y B que van a ser chocados inelásticamente y frontalmente. Respecto a un marco inercial S el cuerpo A se mueve con una velocidad u_A , y el cuerpo B se mueve con una velocidad $-u_B$. Queda claro que los cuerpos se mueven en direcciones contrarias dirigiendose a un punto en común para chocar inelásticamente. Las velocidades de los cuerpos cumplen que $u_A = -u_B$. De tal manera que al chocar conforman la partícula A+B que tiene una masa $m_{A+B} = m_A + m_B$. Aplicando en principio de conservacion del momentum se tiene que

$$m_A u_A + m_B u_B = m_{A+B} u_{A+B} = (m_A + m_B) u_{A+B}$$

Lo anterior muestra que $u_{A+B} = 0$, e implica directamente que las masas de los cuerpos A y B son iguales $m_A = m_B$. De esta prueba que manifiesta Galileo desde su principio de conservacion, se puede establecer que si se diera el caso en que la masa de A fuera mayor que B, o $m_A > m_B$, se podria establecer a partir de saber que $u_A = -u_B$ pero $u_{A+B} \neq 0$ y sabiendo que la direccion de la velocidad u_A es la misma que la de la velocidad u_{A+B} .

Lo anterior muestra una definicion de la masa inercial ya que la dinamica del cuerpo muestra una resistencia al movimiento por lo cual se relaciona con la inercia.

Se puso a prueba el principio de conservacion del momentum de Galileo, con éste se demuestra que la masa tiene un sentido referencial, es decir que el concepto de masa se

define apartir de cantidades físicas de la mecanica conocidas como la velocidad y el momentum.

2.2.2 Masa Gravitacional

La masa gravitacional es definida operacionalmente por la ley de Gravitación Universal de Newton (ver ecuación 4) y por la segunda ley (ecuación 2). Newton determinó que la interacción entre dos masas produce un campo gravitatorio y que en La Tierra se produce un campo de este tipo debido a la gran cantidad de masa medida desde la ley mencionada. Se toma el valor de la fuerza, la ley se enuncia tomando la magnitud del vector:

$$F = G \frac{M M'}{r^2} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde F es la fuerza de interacción entre las masas. La constante de gravitación universal G y las masas de los cuerpos que interactúan M y M' . La expresión $1/r^2$ muestra que la Fuerza es inversamente proporcional a la distancia al cuadrado. A modo de ejemplo, se ilustra a continuación la medición de la Masa M' de la Tierra que sería una masa gravitacional.

Para poder tener referencia de la medición de la masa de la Tierra, se debe tener en cuenta el experimento de Cavendish, quien muy hábilmente por métodos indirectos realiza una medición bastante acertada de la masa de la Tierra, realizando el experimento para determinar la constante de gravitación G , y con la ayuda de la medición del radio de la Tierra en donde se utiliza la construcción de un GNOMON (Resnik & Halliday, 1977)

La segunda ley de newton afirma que todo cuerpo cambia de movimiento cuando se le imprime una fuerza, dado por la forma:

$$F = ma \quad (\text{Ecuación 4}).$$



IMAGEN 3. Gnomon para determinar el radio de la Tierra. **Imagen tomada de internet.**
http://darkskydiary.files.wordpress.com/2011/06/442px-sundial_2r.jpg

Donde la fuerza F actuando sobre un cuerpo con masa m , produce un movimiento acelerado a . Newton desentrañó los secretos del universo con su famosa ecuación de fuerza gravitacional dada por la ecuación 5, mencionada anteriormente:

$$F = G \frac{M M'}{r^2}$$

La medida de la masa por medio de la fuerza gravitacional dada por la ley de atracción universal de Newton se llama masa gravitacional. En este caso reemplazando los valores hallados por la construcción del Gnomon para el radio de La Tierra, Constante Universal de gravitación, y la aceleración de la gravedad en La Tierra se halla la masa de La Tierra. El valor numérico y el proceso para encontrarlo se describen más adelante en el presente trabajo ya que es relevante para entablar la discusión acerca de la definición de masa y la forma de medirla.



IMAGEN 4. Planeta Tierra. **Imagen tomada de internet.**

En la Tierra, sabiendo que existe ese campo gravitatorio definido por la mecánica de Newton se establece la medida de la masa gravitacional partiendo de la segunda ley de Newton como se había mencionado anteriormente. Por lo tanto, la magnitud de los vectores fuerza y peso se definen como:

$$F = m a \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$W = m g \quad (\text{Ecuación 6})$$

La ecuación (6) muestra a W como la fuerza que ejerce la tierra sobre cualquier cuerpo con masa m que cae con una aceleración g constante en caída libre. De esta manera el término m , indica la masa gravitacional de un cuerpo que puede ser medido con un instrumento de medida llamado la balanza. Para establecer una medida en la balanza, primero se elige un patrón. En este caso para la masa se elige un patrón de medida, por ejemplo el *gramo*. Ahora lo que se hace es la construcción de un aparato que mida la masa. Esto consiste en medir otros cuerpos respecto al patrón de medida, es decir, comparar la cantidad de veces que tiene el cuerpo medido respecto a la unidad patrón (gramo en este caso). De esta manera si el aparato de medida construido me indica que posee más, menos o igual masa que la masa patrón, entonces existe una relación $m_m/m_p = k$ (la masa medida en el aparato sobre la masa patrón es igual a su proporción), es decir que k indicará cuantas veces es la masa medida respecto a la masa medida.

La característica principal de la balanza es medir la masa gravitacional. La medida de la masa en este punto presenta un problema, ya que requiere de un instrumento de medida y está sujeto a las condiciones del lugar donde se encuentre, como por ejemplo la gravedad.

Si la balanza se llevara lejos de un campo gravitacional, la balanza indicaría un valor nulo. Esta condición deja claro que la medición de la masa no caracteriza una propiedad intrínseca de la masa o que el instrumento de medida no es el indicado para lograr conocer su naturaleza.

2.3 MASA RELATIVISTA

Albert Einstein (1879 – 1955) en su trabajo publicado en 1905 acerca de la teoría de la relatividad especial indica que el tiempo se dilata (dilatación del tiempo), la longitud de un cuerpo se contrae en la dirección del movimiento (contracción de la longitud), y la masa de un cuerpo se incrementa a medida que su velocidad aumenta respecto a un observador (masa relativa). Einstein no diferenció tipos de masas, ni inercial, ni gravitacional ni de naturaleza electromagnética. Sin embargo, el trabajo que desarrolló en la Teoría de la Relatividad Especial (TER) establece dos tipos de masa una en reposo y otra relativista.

Desde el marco de la relatividad especial se plantea la posibilidad de que la masa aumente considerablemente cuando se mueve a velocidades cercanas a la de la luz desde un marco de referencia laboratorio. Implícito a este hecho esta la posibilidad de medir la masa cuando está en movimiento. Desde la postura de (Martínez-Chavanz, 2011) esta posibilidad de medir la masa en movimiento es una falacia conceptual que desencadena en otros errores desde su perspectiva.

A continuación se mostrará las relaciones que estableció Einstein con la masa y la masa relativista.

2.3.1 Energía y Masa Relativista

Históricamente se sabe que Einstein refutó el principio de conservación de la masa de Lavoiser. Einstein enuncia una definición operacional de la masa:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde m es la masa relativa al movimiento que depende de la constante masa en reposo m_0 y de la velocidad del marco de referencia visto desde un marco de referencia laboratorio. La constante c , coincide con el valor de la velocidad de la luz en el vacío. *La masa de un cuerpo está determinada por la medida de la masa en reposo afectada por el movimiento que depende del observador.* (Resnik & Halliday, 1977, p. 244)

Siguiendo el principio de conservación, aparece el concepto de Energía. La energía cinética de un cuerpo se define por el trabajo realizado.

$$W = K = \int_0^v \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$$K = \int_0^v m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt$$

$$K = \int_0^v mv \cdot d\vec{v}$$

$$K = \frac{1}{2}m_0v^2 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde la energía cinética K es directamente proporcional a la mitad de la masa de un cuerpo por la velocidad al cuadrado v^2 medida desde un marco de referencia inercial o laboratorio.

Se utiliza la definición de masa en movimiento de Einstein (Ecuación 1)

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Ahora la energía K está dada por

$$K = mc^2 - m_0c^2 = \Delta mc^2 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Lo anterior, muestra una estrecha relación entre la masa y la energía, que fue ampliamente defendida por los análisis y discusiones de Einstein, y la posibilidad de que exista una masa que aumenta cuando se mueve con altas velocidades cercanas a la constante c , respecto a un marco inercial.

2.3.2 Principio De Equivalencia

Considérese un observador viajando en una nave espacial lejos de la Tierra. La nave se detiene a lo lejos del planeta y la persona que hace de observador dentro de la nave flotaría al no percibirse un campo gravitacional. La nave empieza a acelerar perpendicularmente al piso de la nave. El piso de la nave empezará a subir hasta que llegue a los pies del observador. Él sentirá que sus pies se mantienen en el piso de la nave como si estuviera en un campo gravitatorio semejante al de la Tierra si la aceleración de la nave coincide con el valor de $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ (Alonso & Rojo, 1986) (p. 430):



IMAGEN 5. Principio de Equivalencia en una nave espacial. Experimento mental. **Imagen tomada de internet.**
<http://www.youtube.com/watch?v=xnG4WHhjoTY>

Einstein realizó este experimento mental a partir de lo que él denominó “*la idea más feliz de mi vida*” (Der gluckliche gedanke meines Lebens). El experimento consiste en una persona situada en un ascensor en lo alto de una edificación. Él pensó lo que pasaría si de repente las cuerdas del ascensor se soltaran. El ascensor con la persona dentro caerían y la persona no sentiría su propio peso, por lo que flotaría mientras cae. Este experimento mental tiene dos incidencias importantes:

- La primera incidencia es la base de la teoría de la gravedad de Einstein. El experimento muestra una equivalencia entre la gravedad y la aceleración. Este tema no será relevante a lo largo del presente trabajo, simplemente se menciona por la importante conclusión en la teoría de la relatividad.
- La segunda incidencia confirma lo que los físicos clásicos habían descrito sin entrar en detalle. Se trata de la equivalencia entre la masa gravitacional y la masa inercial.

Desde mucho tiempo antes de Einstein se sabía de la equivalencia numérica entre la masa gravitacional e inercial, sin embargo no fue relevante dentro del tratamiento conceptual en el marco de la física clásica. Después de indicar las incidencias del experimento mental, Albert Einstein decidió no diferenciar la masa gravitacional de la masa inercial, por lo que simplemente usó en su tratamiento físico al concepto como “*masa*”. Como ya se mencionó, Einstein lo que diferenció fue una masa inicial (masa en reposo m_0) y una masa final (m) que aumentaba conforme la velocidad tomaba valores muy grandes para hacer notorio el cambio (velocidades cercanas a la de la luz). Teniendo claro que para Einstein existía simplemente la masa, enunció la masa relativista, indicada por la ecuación 5.

2.4 REFLEXIONES ACERCA DE LAS FALACIAS MENCIONADAS POR MARTINEZ-CHAVANZ SOBRE LA MASA RELATIVA

Ya se han mostrado anteriormente las definiciones que tiene el término *masa*, en el marco de la mecánica clásica y en el de la relatividad especial. De la discusión anterior queda claro el aspecto en el que Einstein no diferencia la masa inercial o gravitacional, si se encuentra en reposo o en movimiento y, que en la ecuación 5, muestra la relación de una masa que aumenta de la velocidad respecto a un marco inercial.

De esta manera teniendo claro el contexto y las definiciones de masa se resume que en la mecánica clásica se habla de una masa que se distingue inercialmente y otra gravitacionalmente. En la relatividad aparece una masa que parece no determinar la diferencia conceptual de la mecánica clásica, y muestra una nueva relación que establece una masa que aumenta con la velocidad respecto a un marco de referencia inercial.

Respecto a lo mencionado por Martínez-Chavanz hay que señalar que las falacias encontradas y discutidas en su artículo conllevan a las siguientes reflexiones, después de haber hecho el contexto de la masa realizado hasta aquí. La primera reflexión está guiada en la forma como se define a la masa en primer momento. El profesor colombiano muestra una tendencia a definir el concepto de masa como una propiedad intrínseca, y como ya se había anotado, esto conlleva a pensar en la existencia de una sola masa, un único concepto de masa que debe prevalecer en todas las teorías físicas. Es por ello, que al definir la masa como aquella que tiene la posibilidad de medirse en reposo implícitamente está indicando que la masa que se habla en la mecánica clásica es la misma que se indica en la relatividad especial, y es la misma que se aborda en otras teorías. Es decir, el concepto de masa es el mismo y es universal.

La discusión mostrada anteriormente acerca de la definición de la masa desde la mecánica newtoniana hasta la teoría de Einstein muestra la variedad de definiciones y tratamientos conceptuales de la masa, lo que deja claro que la masa utilizada en mecánica clásica es totalmente diferente a la usada en la relatividad especial. Sabiendo la

imposibilidad de dar una definición exacta de lo que es la masa, queda claro que la diferencia conceptual entre las dos teorías está presente. Martínez-Chavanz no considera esta posibilidad, y por ello aparecen estas falacias que menciona en su texto.

Pero hay que destacar que el trabajo del profesor Regino rescata aspectos educativos muy importantes. La primera, es la importancia de hacer un análisis de cada teoría, en este caso de la relatividad especial de Einstein. Este tipo de discusiones son pertinentes para hacer reflexiones sobre el entendimiento y apropiación de la teoría. El artículo de Martínez-Chavanz muestra que dependiendo de la concepción de masa o de alguno otro concepto fundamental de la física, se pueden construir objeciones y planteamientos divergentes con una teoría. Al referirse a lo que él mismo cree que es la masa, ha construido todo un discurso frente a unas falacias conceptuales de una concepción que es diferente a la que tenía pensado Einstein al construir su relatividad especial. Cabe aclarar, que lo mencionado no tiene la intención de indicar que el profesor Regino Martínez-Chavanz está equivocado en su trabajo, o que Einstein tiene el planteamiento correcto. Lo que se quiere indicar es que es una discusión que vale la pena seguir analizando desde muchos otros puntos de vista así se sepa que no va a existir la certeza de resolver el problema.

A continuación se muestra lo encontrado por Einstein acerca del tiempo y el espacio, resaltando que se menciona en el trabajo por la importancia que traería analizar en otro marco de discusión sobre estos conceptos tan importantes.

2.4.1 Dilatación Del Tiempo

Sin profundizar demasiado en el tema, se trae a colación la forma matemática, aportada por Einstein, de la dilatación del tiempo usando la función de Lorentz. El tiempo impropio está dado por:

$$t = \gamma t_0 \quad (\text{Ecuación 9})$$

En donde t_0 es el tiempo propio, es decir el medido por un sistema de referencia laboratorio. Y el coeficiente γ (gama) es la función de Lorentz dada por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

La constante de Lorentz carece de unidades como se observa al emplear las unidades en el mismo sistema para la velocidad medida para un observador v^2 y para c^2 que es la constante de la velocidad de la luz en el vacío.

Aparece el concepto de tiempo, determinando uno propio e impropio derivado de la razón entre los dos términos de la ecuación x, ya que es diferente de 1. La importancia de esta ecuación es que el tiempo que mide un observador depende de la velocidad con la que mide al otro marco de referencia. Pero aunque aparezcan dos términos, la relación conceptual es la misma. Es decir, el tiempo propio y el tiempo impropio pertenecen al concepto de tiempo y no se hace ninguna distinción. El tiempo en cualquier sistema de referencia mencionado se podrá medir de la misma forma (relojes y semejantes) y no tendrá

distinción conceptual. El tiempo impropio y el propio se pueden medir con el mismo instrumento ya que expresa el mismo significado conceptual.

2.4.2 Contracción De La Longitud

De manera análoga a la consecuencia de medir el tiempo relativo al movimiento, aparece la contracción de la longitud. La longitud impropia está dada por:

$$L = L_0/\gamma \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde L es la medida de la longitud impropia, L_0 es la medida de la longitud propia y γ es la constante de Lorentz (ecuación x).

La ecuación x, muestra que un cuerpo se contraerá en la dirección del movimiento respecto a un observador. Para explicar esta incidencia en la teoría se explica con un ejemplo.

EJEMPLO:

Una regla tiene un largo de 30 *cm* de longitud. Es la longitud medida para un observador en reposo que está con la regla y le hace la medida directa. La regla se acelera constantemente hasta que alcanza una velocidad de 0,89 *c*. Entonces la longitud que mide un observador cuando la regla está a esa velocidad es hallada por:

$$L = L_0/\gamma$$

$$L = 30 \text{ cm}/2,193172$$

$$L = 13,67 \text{ cm}$$

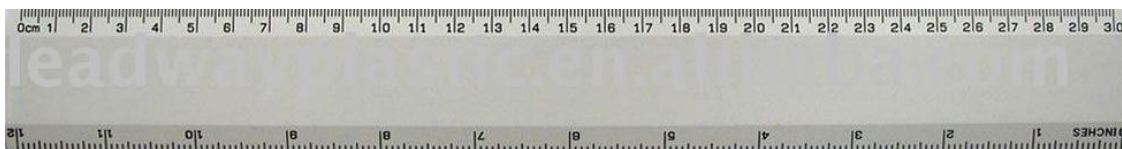


FIGURA 6 Regla medida en reposo. 30 cm de longitud propia

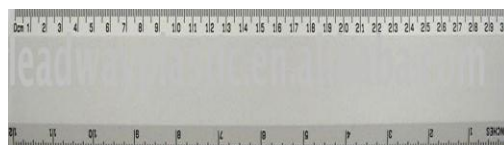


FIGURA 7 Regla medida en movimiento a una velocidad de 0,89 *c* . 13,67 cm de longitud

Partiendo de que la teoría se comprueba experimentalmente, entonces esta medición también se realizará con un instrumento de medida directa. Es decir, la regla en movimiento se volvería a medir con una regla en reposo para hallar la relación. Es decir, que como en el

caso del tiempo, la longitud propia e impropia no tiene distinción conceptual ya que se puede usar el mismo instrumento de medida.

2.5 HIPÓTESIS LLEVADA AL AULA DE CLASE

De las anteriores inquietudes, vale la pena que la discusión no solamente quede plasmada a modo personal en el marco de este trabajo. Este tipo de discusiones son un aporte interesante para la didáctica de aula y plasmar este tipo de recorrido histórico de la masa en el aula abre la posibilidad de cambiar paradigmas educativos que sólo consideran la educación como espacios para transmitir conocimiento.

A continuación, se hace una incursión al aula teniendo en cuenta lo discutido y reflexionado acerca de la masa relativa. Se indagará por las concepciones de masa del estudiante pasando por la mecánica clásica, mirando la apropiación y didáctica del maestro y consecuentemente de los estudiantes hasta llegar a la teoría de la relatividad y contrastar lo propuesto por Martínez-Chavanz en el aula de clase de física. Es decir, se examinará si el estudiante acepta que Einstein cometió esas falacias, o simplemente las concepciones de masa en la clásica y en la moderna difieren sin que esto involucre en un fallo en alguna teoría.

Lo discutido anteriormente conduce a una consecuencia importante a la que se ha llegado, y por tanto se plantea la siguiente hipótesis:

A modo de preconcepto, un estudiante de física tendrá conocimiento del término de masa. Conocerá la forma de medirle, sus unidades y algunas asignaturas en donde se use el término. Pero ¿el estudiante aceptaría que la masa se puede medir en movimiento? ¿Qué pasará con el conocimiento aprendido después de haber abordado el problema como fue tratado por Einstein?

Teniendo en cuenta la hipótesis anterior, es llevado al aula de clase para responder a estas y otras inquietudes. El trabajo pretende mostrar lo interesante de hacer este tipo de discusiones en el aula de clase.

3. INCURSIÓN DE LA RELATIVIDAD EN EL AULA

Se ha hecho la revisión de algunas nociones de masa, como se menciona en el capítulo 2, que muestran el tratamiento dado por Einstein sin resaltar una diferenciación o un análisis conceptual entre la masa y la inercia. Parece que al tratar la relatividad se basara en explicar la operacionalización de los conceptos clave como: tiempo, espacio masa y energía. Así, el estudiante no evidenciará un entendimiento y comprensión de los conceptos porque simplemente no hay contextualización histórica ni conceptual.

Con la presente incursión al aula, que trae consigo la teoría de la relatividad especial, se muestra la actividad que se desenvuelve en algunos espacios académicos de un curso de física impartido en grado décimo de media vocacional en el colegio CANAPRO. La intención es mostrar la comprensión de la teoría abordada desde el tratamiento de Einstein y las implicaciones que tiene en la enseñanza de la física cuando se deja de lado un tratamiento conceptual adecuado que permita construir conocimiento y no sólo transmitirlo.

3.1.CONTEXTO DE LA ACTIVIDAD

Se realizaron una serie de pruebas escritas (llamadas, sin mayores compromisos, instrumentos) con el fin de hacer un diagnóstico de la comprensión de la teoría abordada en el aula con estudiantes de grado décimo de bachillerato. A continuación se presenta el contexto en el cual se desarrolla la actividad.

3.1.1 Contexto de la Población

Lugar: Colegio CANAPRO. Es un colegio de clase media y alta. No todos los estudiantes residen cerca de la zona de la institución. Su ubicación es en el barrio La Uribe en la calle 173 No. 19 – 35.

Contexto curricular: La enseñanza de la física como asignatura independiente se presenta en el currículo desde el grado tercero de primaria hasta grado undécimo de bachillerato. Desde grados inferiores se trabaja la parte de aplicación de laboratorios, elaboración de informes y el manejo conceptual que es aprovechado desde grado tercero hasta octavo. La parte operacional es trabajada fuertemente desde grado noveno hasta undécimo. El colegio maneja un Modelo pedagógico llamado Pedagogía Dialogante de la cual cabe resaltar básicamente que es un modelo que trata de eliminar el concepto de “castigo” involucrando más al docente en la solución de conflictos para evitar llegar al premio y el castigo. Se elimina la figura de coordinador de convivencia como el actor que castiga por el del mediador dialogante cuando una situación se sale de lo regular. De esta manera, la enseñanza de la física se ve involucrada en sesiones de clase que deben asegurar la participación activa del grupo, la disciplina, el orden, el trabajo académico y la evaluación en proceso. El modelo pedagógico tiene tres fases, encuadre, modelación y acompañamiento. El colegio CANAPRO maneja la educación por ciclos. Décimo hace parte del ciclo 4. Para esta “incursión en el aula” se elige el grupo de nivel Décimo para la aplicación de la actividad con 3 instrumentos, en 3 momentos diferentes. Se eligen 10 estudiantes aleatoriamente en 3 momentos diferentes después de cada sesión de clase de física para implementar cada instrumento.

Número de estudiantes: 10 estudiantes (elegidos aleatoriamente)

Participantes: un grupo de 10 estudiantes son elegidos aleatoriamente de un curso décimo de bachillerato del colegio CANAPRO. Se indaga con el docente de física por las características de los estudiantes seleccionados. El docente afirma que los estudiantes se caracterizan por tener buen nivel académico ya que la dinámica del curso permite una buena interacción con orden, disciplina y participación activa dentro de las sesiones de clase. Son estudiantes que preguntan críticamente y siempre apuntan a las aplicaciones y utilidad de los temas vistos en clase. Los estudiantes se muestran animados y con mucha curiosidad por indagar en una teoría tan reconocida y que va a ser trabajada en el colegio.

Clases Observadas: Física, décimo grado.

Fechas de observación: 13 de Abril, 3 de mayo y 14 de mayo de 2012.

Análisis de las clases: Las tres clases son observadas en su totalidad, en cada una de ellas se aplica un instrumento distinto. La intención principal, en cada sesión de clase, es determinar qué es lo que están pensando tanto los estudiantes como el docente al momento de tratar el término de masa y masa relativista en el marco de la teoría de la relatividad.

3.1.2 Contexto de la Estrategia

La cátedra de la física no debe limitarse a transmitir conceptos o contenido de libros de texto, pero esta labor se ve dificultada por factores que no se tienen en cuenta a la hora de una planeación de actividades de clase. La estrategia didáctica sin duda alguna es un factor importante en el éxito de una clase. Los estudiantes son evaluados pero ellos a la vez evalúan la labor docente constantemente. Los estudiantes pueden simplemente perder la atención, desmotivarse, distraer y distraerse; pero también pueden generar cambios positivos en ellos mismos y los que los rodean si desde el docente la estrategia didáctica es acertada. De esta manera el instrumento que se aplique con ellos, debe ser capaz de mostrar muchos más aspectos que los aciertos o desaciertos en la comprensión de una clase.

De lo anterior, se crearon 2 instrumentos que permiten visualizar a grandes rasgos algunas dificultades que se tienen al abordar la teoría de la relatividad. Se plantea un instrumento abierto y otro cerrado. Estos, tendrán el objetivo de mostrar los puntos clave que deben ser abordados en el tratamiento de la masa en relatividad. Se analizará si es pertinente o no hacer un análisis conceptual, y si ese análisis conceptual debe ser modificado desde la teoría clásica hasta la de Einstein o no.

El primer instrumento es un diagnóstico, realizado en el marco de una contextualización acerca de las leyes de Newton por parte del docente de física. Las preguntas abiertas fueron situaciones problema con 6 ítems que conducen al centro del problema de la medición de la masa en movimiento. Los estudiantes debían responder con los criterios que creían convenientes y de acuerdo a su experiencia. De este instrumento se realiza breve análisis.

El segundo instrumento tuvo la intención de indagar acerca de los conceptos de reposo y movimiento relativo. De esta manera, el estudiante debía marcar las situaciones físicas que consideraba en estado de reposo o de movimiento desde un marco inercial que

supone para preferir el tipo de situación elegida. De este instrumento se hace un análisis estadístico.

El tercer instrumento es la parte central de la investigación ya que indaga acerca de la definición, medición y operacionalización de la masa y su distinción con el concepto de Inercia. De esta manera los resultados darán cuenta de la distinción de los términos desde la mecánica clásica de Newton hasta la física moderna de Einstein, mediante un análisis estadístico.

3.2 RESULTADOS ESPERADOS

3.2.1 INSTRUMENTO 1 (ver anexo)

Como se dijo anteriormente, el primer instrumento pretende diagnosticar las nociones que tienen los estudiantes después de haber tenido una introducción de la primera ley de Newton y marcos inerciales. Se espera una alta comprensión de los marcos inerciales y el movimiento relativo. Se muestra a continuación el ítem 1:

Un cuerpo tiene una masa determinada m medida en gramos. Si la masa está en reposo (velocidad inicial igual a cero) entonces es correcto decir que cuando la masa se mueve es porque:

De lo expuesto por el docente, se rescatan algunas citas textuales de las que se esperaba que respondieran los estudiantes. El docente a lo largo de la explicación afirma que “*si un cuerpo cambia su estado de reposo es porque una fuerza actuó sobre el cuerpo. Se acelera el cuerpo*”. En algún momento de la clase, un estudiante pregunta acerca de la energía del cuerpo al moverse, a lo que el docente responde “*la energía del cuerpo ha cambiado. Potencial a cinética*”. Se esperaba que los estudiantes alteraran alguna conclusión de lo dicho por el docente, por ejemplo encontrar respuestas como:

- Si un cuerpo se mueve es debido a que una fuerza actuó sobre el cuerpo. Y la velocidad del cuerpo es constante.
- Si un cuerpo se mueve es porque la energía del cuerpo ha aumentado.
- Para hacer mover un cuerpo es porque se le ha suministrado energía para cambiar su estado inicial.

Se muestran a continuación las respuestas que se esperarían del ítem 2:

Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en reposo sobre una superficie horizontal. La forma para medir esa masa sería:

- Medir el volumen del cuerpo, determinar el material y así saber la densidad. Relación de masa igual al volumen por la densidad.
- Ponerlo en una balanza, compararlo con un patrón de medida como el gramo.
- Conociendo su peso y dividirlo entre la aceleración de la gravedad del lugar.
Peso = masa * aceleración de la gravedad ($W = mg$).

Se muestran a continuación las respuestas que se esperarían del ítem 3:

Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en movimiento rectilíneo sobre una superficie horizontal. La forma para medir esa masa sería:

- Relación entre la energía y la medida de la velocidad del cuerpo. $K = \frac{1}{2}m_0v^2$.
- Un marco inercial puesto sobre el objeto en movimiento.

Se muestran a continuación las respuestas que se esperarían del ítem 4:

Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en movimiento bajo la acción de un campo gravitatorio constante. La forma para medir esa masa sería:

- $F = mg$. Peso del cuerpo.
- El peso es lo mismo que la masa.
- $F = -kx$. ley de Hooke o construcción de un dinamómetro.
- Medir la velocidad final de caída, y la energía.

Se muestran a continuación las respuestas que se esperarían del ítem 5:

Si un cuerpo con determinada masa m medida en gramos se sale de la superficie de la Tierra, y se coloca en un lugar aislado de la interacción de la gravedad de planetas y satélites, entonces la forma para saber la medida de la masa es:

- No se puede establecer una referencia por lo que es imposible realizar la medida.
- La medida del volumen y establecer la relación con la densidad.

En la discusión anterior acerca de la definición de la masa, se establecía que la medición de la masa tiene que tener un referente material para lograr el cálculo. De esta manera se quiere indagar acerca de la posibilidad que darían los estudiantes en una situación hipotética para poder hallar la masa sin algún referente material.

Se muestran a continuación las respuestas que se esperarían del ítem 6:

Un sistema está conformado por un cuerpo en reposo y otro cuerpo en movimiento. El cuerpo al que se le puede hallar la masa más fácilmente es:

- La masa en reposo, con una balanza. Porque la masa sólo se mide en reposo.
- Las dos, porque se hacen chocar y se conserva el momentum.
- En movimiento porque tiene más relaciones como la energía y la velocidad, y la física habla del movimiento.

El punto central de la discusión de la masa, anteriormente tratado, indica el abuso del lenguaje cuando se habla de “masa en reposo”, pues la masa se mide en reposo como ya se ha discutido anteriormente y la inercia habla de la masa en movimiento sin tener el mismo significado.

3.2.2 INSTRUMENTO 2 (ver anexo)

El segundo instrumento tiene la intención principal de examinar el entendimiento del concepto de estado de movimiento, ya sea en reposo o en movimiento teniendo en cuenta un marco de referencia en los estudiantes de grado décimo. Se tienen 9 situaciones en las que el estudiante debe marcar con una X si lo considera en reposo o en movimiento.

Ya se ha mencionado que el instrumento será aplicado a estudiantes de grado décimo después de una sesión de clase específica, la cual se indicará más adelante. El docente de física ha expuesto la introducción y ha trabajado los conceptos de marcos inerciales.

Se muestran a continuación los ítems planteados a los estudiantes que hacen parte del instrumento descrito anteriormente. Del total de ítems, se espera que los ítems 1, 2, 3, 4, 7 y 9 se marquen como en *movimiento*, ya que son situaciones cotidianas en las que estableciendo un marco inercial en reposo, como por ejemplo la Tierra o una persona en reposo (el estudiante mismo con $v=0$) podría apreciar un estado de movimiento.

1. Un pájaro en vuelo
2. Un libro sobre una mesa
3. La Luna
4. El sol
5. La Tierra
6. Un bombillo en la habitación
7. Un tren con varios pasajeros a bordo yendo de ciudad a ciudad
8. Las sillas de un carro en marcha
9. Las estrellas

TABLA 8 ítems desarrollados en el instrumento 2.

Por otra parte, se esperaría por parte de los estudiantes, que los ítems 5, 6 y 8 se marcaran como en estado de *reposo*, estableciendo el mismo marco de referencia inercial anterior. En el caso del ítem 8, se esperaría este tipo de marcación debido a que la concepción de movimiento de un carro se enfoca en el cambio del chasis (parte externa) y no en la parte interna (las sillas).

Esperando un tipo de respuesta diferente a lo planteado anteriormente, se creería que un porcentaje muy mínimo de estudiantes marcaran ambas respuestas. Debido, implícitamente, a una no muy amplia o completa comprensión del establecimiento de marcos inerciales. Es bien sabido que de los ítems anteriores la marcación apropiada podría ser en estado de *reposo* o de *movimiento* dependiendo el marco de referencia. Entonces, si los estudiantes marcaran en cada situación *ambos estados*, se supondría una clara concepción de establecimiento de marcos inerciales.

3.2.3 INSTRUMENTO 3 (ver anexo)

La intención del tercer instrumento es indagar acerca de la definición, medición y operacionalización de la masa y su distinción con el concepto de Inercia desde Newton (mecánica clásica) y Einstein (teoría de la relatividad).

De acuerdo con las definiciones de la masa dadas al inicio, se puede decir que en cada ítem se establece claramente qué tipo de concepción acerca de la masa y la inercia asumía cada uno de los científicos Newton y Einstein. De los 9 ítems establecidos se esperaría que se contestara lo siguiente:

Para Newton, la masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo, mientras que la concepción de Einstein es más energética dada por su famosa ecuación de masa-energía. Para Newton, La masa de un cuerpo se conserva, es decir que cumple con el principio de superposición clásico, mientras que para Einstein no se conserva ya que depende del movimiento. Tanto para Newton como para Einstein, La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en reposo. Esta condición está dada por la forma de nombrar las clases de masa, por ejemplo Newton la nombra masa inercial y Einstein la nombra masa en reposo. Newton no estableció que la masa dependiera de la velocidad del sistema en el que se encuentre el cuerpo, por lo tanto para él la masa de un cuerpo no se puede medir cuando está en movimiento. En cambio, Einstein establece la dependencia de la masa por la velocidad y de esta manera puede medir la masa en movimiento a partir de la masa en reposo y la velocidad a la que se encuentre. De esta forma, para Newton, al no haber dependencia de la masa con la velocidad ésta es invariante respecto a esas condiciones de movimiento, por lo tanto, la masa de un cuerpo no aumenta ni disminuye cuando está en movimiento. Y como ya se mencionó la dependencia que establece Einstein de la masa con la velocidad entonces se afirma que la masa de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento. Hasta ahora, se han establecido las diferencias y similitudes que tienen las dos perspectivas científicas respecto al término de masa.

Por otro lado, la Inercia es el término que a partir del ítem 6 hasta el ítem 8 será examinado para establecer relaciones y diferencias. Si se tiene en cuenta newtonianamente la inercia como la dificultad de lograr un cambio en el estado físico de un sistema, entonces tanto Newton como Einstein consideran una equivalencia entre la masa y la inercia radicada principalmente en la asignación de las unidades. Dada la equivalencia entre la masa y la inercia para los dos científicos, la inercia de un cuerpo se conservará. Pero no existe un registro que describa una discusión acerca de la dependencia directa de la inercia con la velocidad, por lo tanto en este ítem se establecerá que no hay dependencia entre la inercia y el movimiento.

El ítem 9, es simplemente la confirmación de lo expuesto anteriormente. Para Newton, la masa en reposo es la misma masa en movimiento dado que no hay dependencia con la velocidad. Y para Einstein hay una clara distinción entre la masa que se encuentra en reposo y la masa que se encuentra en movimiento.

De lo anterior, se podría realizar la señalización de las X como el patrón esperado por los estudiantes al aplicar el instrumento. Se esperaría que:

Afirmación	Newton		Einstein	
	SI	NO	SI	NO
1. La masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo.	x			x
2. La masa de un cuerpo se conserva.	x			x
3. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en reposo	x		x	
4. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en movimiento		x	x	
5. La masa de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento		x	x	
6. La inercia de un cuerpo es igual que la masa	x			x
7. La inercia de un cuerpo se conserva	x			x
8. La inercia de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento.		x		x
9. Se distingue la masa en reposo de la masa en movimiento		x	x	

TABLA 9 Resultados esperados del instrumento 3.

3.3 RESULTADOS

Cada instrumento se implementó con 10 estudiantes de grado décimo del colegio CANAPRO. Ellos son elegidos aleatoriamente de los dos grupos que conforman el curso Décimo. Según el currículo establecido por la institución cada periodo académico tiene una duración de 12 semanas, y en total son 3 periodos. La observación de aula se realizó en el inicio del II periodo académico aprovechando las temáticas propuestas por el profesor de física de la institución. Las temáticas a abordar son Leyes de Newton, marcos inerciales y relatividad de movimiento Galileo-Newtoniano y Einsteiniano. Los resultados que se esperan a continuación en cada instrumento son fundamentados en las apreciaciones acerca de la inmersión a la teoría de la relatividad de

3.3.1 RESULTADOS INSTRUMENTO 1

El primer momento se realiza con 10 estudiantes de grado décimo después de que el profesor ha realizado una introducción de la primera ley de Newton. Luego, se realizó una encuesta que consta de 6 preguntas abiertas. La instrucción del docente es que se resuelva la encuesta con el conocimiento que tienen, y sin dejar de responder algún ítem. Las preguntas que conformaban la encuesta son (ver anexo):

ÍTEM 1	Un cuerpo tiene una masa determinada m medida en gramos. Si la masa está en reposo (velocidad inicial igual a cero) entonces es correcto decir que cuando la masa se mueve es porque...
ÍTEM 2	Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en reposo sobre una superficie horizontal. La forma para medir esa masa sería...
ÍTEM 3	Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en movimiento rectilíneo sobre una superficie horizontal. La forma para medir esa masa sería...
ÍTEM 4	Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en movimiento bajo la acción de

	un campo gravitatorio constante. La forma para medir esa masa sería...
ÍTEM 5	Si un cuerpo con determinada masa m medida en gramos se sale de la superficie de la Tierra, y se coloca en un lugar aislado de la interacción de la gravedad de planetas y satélites, entonces la forma para saber la medida de la masa es...
ÍTEM 6	Un sistema está conformado por un cuerpo en reposo y otro cuerpo en movimiento. El cuerpo al que se le puede hallar la masa más fácilmente es...

TABLA 10 ITEMS del instrumento 1.

Los estudiantes realizaron la solución de los ítems individualmente después de la sesión de clase de física. En la siguiente tabla se muestra lo que contestaron los estudiantes en cada ítem propuesto. Cabe aclarar que los nombres de los estudiantes han sido alterados por seguridad y bienestar de cada uno de los participantes.

NOMBRE ESTUDIANTE	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	ITEM 5	ITEM 6
Andrés	Se aplica una fuerza externa o rozamiento	Se miden los lados y se hace una fórmula	Tomar una fotografía, medir el objeto y hallar la masa con una fórmula.	Se mide cuánto es la gravedad, si aumenta o disminuye en ese lugar y se con esa información se toma su medida	No se podría ya que si no hay gravedad no hay peso.	Movimiento, porque ya que se puede medir su velocidad y con el tiempo que lleve se toma su peso.
Daniel	Hay una fuerza que la impulsa, y después se libera.	Ponerla en una balanza, o una báscula.	Con una aceleración y despejando la fórmula.	Mediendo la fuerza de campo gravitatorio y restándosela al peso.	Tiene que ser medible, y le tomamos medidas.	Reposo, porque ninguna otra fuerza interviene.
Fidel	Puede existir una fuerza exterior que lo mueve o el objeto sufre inercia	La masa se halla con la fórmula $m=F/g$ y con el método de tanteo o la balanza.	La masa se halla con la fórmula $m=F/g$ y con el método de tanteo o la balanza ya que la velocidad no afecta.	Se tiene en cuenta el valor de la gravedad para reemplazar en fórmula.	Si no se sabe el peso no se puede saber la masa.	N/R
Daniela	Hay una fuerza exterior que la empuja o hay una inercia en el objeto.	La masa se mediría mediante la fórmula $m=F/g$ y el método sería para usar una balanza.	Se usaría el o la misma fórmula $m=F/g$ puesto que para hallar una masa en movimiento no se requiere otra fórmula.	Se tiene en cuenta la gravedad para reemplazar los valores en la misma fórmula.	N/R	Movimiento, porque el movimiento es lo mismo que el reposo.
Paula	Se evidencia la primera ley de Newton	Se toman las medidas y se le saca el volumen.	Se mide a partir de la Fuerza de rozamiento y su coeficiente de fricción.	Diciendo que la masa es igual al peso en la gravedad.	Calculando el volumen del objeto y mirando su peso según la gravedad en la que se encuentre el objeto.	Reposo, porque se le pueden sacar más datos y así poder calcularle la masa.
Alix	Se está aplicando una aceleración	Se toman las medidas del objeto o del cuerpo y de acuerdo a esto se saca el volumen.	Se toma la medida de la velocidad y la medida del cuerpo como tal	Tomar una balanza y de acuerdo a esta se halla la masa	Se toman las medidas del cuerpo y luego se saca el	Reposo, porque el resultado sería más exacto y no variaría con

			y también la distancia recorrida, luego se saca el volumen.		volumen.	el movimiento.
Maximiliano	Una fuerza ha aumentado la aceleración y la presión en un lado del objeto provocando el movimiento de este.	Con una balanza ya que se refiere al peso porque está en gramos.	Dependiendo de la aceleración y la fuerza inicial dará una velocidad lo cual no hace posible medir la masa a menos de que intervenga otro elemento.	El objeto debe ser tridimensional con medidas exactas para hallar su masa.	Sin la fuerza gravitatoria la masa variaría y no sería correcta.	Reposo, porque el movimiento influye en la masa ya que se distribuye por un espacio y es más difícil.
Omar	Hay una fuerza ejerciendo sobre él, lo que permite que la masa se mueva.	La forma más fácil de medir la masa es por medio de una balanza.	Si el objeto se mueve sobre una superficie, el objeto es circular, por lo tanto podemos hallar su masa dependiendo de la velocidad y tiempo.	Para poder hallar la masa debemos saber la fuerza generada en el campo gravitacional.	Para poder medir el objeto este debe ser medible.	Reposo, porque en movimiento la masa podría tener cambios.
Santiago	Hay un cambio de estado de inercia a en movimiento por una fuerza que lo impulsa.	Si es un cuerpo medible o una figura tridimensional se mide y se elaboran las fórmulas correspondientes y una balanza.	Medir la distancia que recorrió y su tiempo para determinar sus medidas y así su masa.	Además de la fuerza con la que es atraído al centro gravitacional.	Se toman las medidas y con el volumen se puede determinar la masa.	Reposo, porque es más fácil de determinar su peso y medidas.
Nicolás	Se aplica una fuerza externa o de rozamiento.	Para medir la masa se necesita una balanza o dinamómetro. Depende del objeto.	Su velocidad y el momento del impacto.	Medir su campo gravitatorio con el espacio.	No tiene gravedad, así que no se podría.	Reposo, porque todos los objetos están en reposo y con movimiento así que es igual.

TABLA 11 Resultados obtenidos de cada ítem del instrumento 1.

3.3.2 ANÁLISIS INSTRUMENTO 1

En cada ítem analizado se cita textualmente lo que escriben los estudiantes, y en la mayoría de los ítems se distribuirán en grupos de acuerdo a las similitudes y semejanzas en las respuestas.

Los estudiantes afirman en el primer ítem que el movimiento es causado por una fuerza, todos están de acuerdo que un cuerpo sale del reposo por una acción externa, por ejemplo, “Omar” afirma que “*hay una fuerza ejerciendo sobre él, lo que permite que la masa se mueva*”. Evidenciando la presencia de la primera ley de Newton en su afirmación.

En el segundo ítem, una gran parte de los estudiantes afirma que la manera de medir una masa en reposo es por medio de una balanza o báscula, por ejemplo, “Daniel” afirma que debe “*ponerla en una balanza, o una báscula*”. Otra parte del grupo realiza afirmaciones del tipo “*Se toman las medidas del objeto o del cuerpo y de acuerdo a esto se saca el volumen*”,

evidenciando que se remiten a la definición de masa por medio del volumen ($m = V \cdot d$, masa igual a volumen por la densidad).

En el tercer ítem se plantea una situación problema acerca de la medición de la masa en movimiento. Con respecto a todas las respuestas, los estudiantes afirmaban la posibilidad que existe de poder medir la masa en movimiento, pero presentando algunas dificultades al escribir, es decir en cuanto a la redacción. Los estudiantes infieren de sus respuestas que la masa en movimiento se puede medir fácilmente tomando medidas (métrica para el volumen), tomándole una foto o simplemente midiendo su velocidad.

Los estudiantes mostraron una dificultad en el planteamiento del ítem cuatro con el término campo gravitatorio, el cual hace referencia a un sistema con una fuerza constante aplicada a un cuerpo. Una parte del grupo expresa que la presencia de este campo no dificulta la medida de la masa, por ejemplo “Alix” afirma que se debe *“tomar una balanza y de acuerdo a esta se halla la masa”*. Otra parte del grupo muestra que se vuelven a remitir a la definición de masa por medio de la densidad y el volumen, por ejemplo “Maximiliano” afirma que *“el objeto debe ser tridimensional con medidas exactas para hallar su masa”*. Otra parte del grupo, afirma que la presencia del campo gravitatorio especifica que el cuerpo tiene un peso y que esa medida es la misma que la de la masa, por ejemplo “Paula” afirma que para tomar la medida se logra *“diciendo que la masa es igual al peso en la gravedad”*.

El en ítem cinco, las respuestas de los estudiantes se pueden dividir claramente en dos grupos. El primer grupo, que afirma que no es posible realizar la medición de la masa ya que no hay algo respecto con qué medirlo, por ejemplo “Nicolás” afirma que *“no tiene gravedad, así que no se podría”*, y “Andrés” afirma que *“no se podría ya que si no hay gravedad no hay peso”*, confirmando en este caso la dificultad de diferenciar los términos masa y peso. El segundo grupo se diferencia porque ellos no ven la dificultad de hallar la masa, remitiéndose a la medición por medio de balanzas o básculas, o por medio de la definición de volumen y densidad. Este segundo grupo tiene implícito que el término masa es un término independiente del lugar donde se encuentre.

Los anteriores ítems fueron realizados con la intención de establecer relaciones entre el concepto de masa y otros como el movimiento, la fuerza, el campo gravitatorio, el volumen, entre otros dados por los estudiantes. De esta manera el ítem seis es fundamental para lograr el objetivo del trabajo ya que aborda la relación de la masa con el movimiento. Así, se muestra un primer grupo que no responde el ítem mencionado, a pesar de las indicaciones del docente. Los estudiantes fueron entrevistados después, y afirman no responder el ítem porque no tienen noción de ese fenómeno en su experiencia. El segundo grupo, son los estudiantes que responden que la masa de un cuerpo en movimiento es más fácil de medir que en reposo, ya que muestran la indistinción entre peso y masa, por ejemplo “Andrés” afirma que la masa más fácil de medir es la que está en *“movimiento, porque ya que se puede medir su velocidad y con el tiempo que lleve se toma su peso”*. El siguiente grupo es el que afirma la facilidad de la medición de la masa en reposo, como por ejemplo “Santiago” afirma que se puede medir más fácilmente la masa en reposo *“porque es más fácil de determinar su peso y medidas”*.

Los resultados anteriores muestran un aspecto muy importante con respecto a la concepción de medida que tienen los estudiantes. Para ellos, medir es poder tener el objeto y

que este sujeto a medidas como el volumen, el peso. Lo anterior indica que los estudiantes saben la posibilidad de medida de la masa cuando se encuentra en reposo. Pero a pesar de ello, algunos estudiantes también afirman la posibilidad de la medición de la masa en movimiento, pero dentro de sus afirmaciones está implícito el estado de reposo. Por ejemplo, cuando afirman que si se toma una fotografía se puede medir la masa en movimiento, en realidad están intentando detenerla, cogerla, tomarla y llevarla hacia una medición directa de la masa.

3.3.3 RESULTADOS INSTRUMENTO 2

Después del primer análisis de resultados, se elige un segundo momento para interpretar el los resultados de los mismos estudiantes con el objetivo de ir entrando en el problema central de la medición de la masa en movimiento. Para esto también se aborda el tema de la concepción de estado de reposo y movimiento. Los 10 estudiantes son citados después de la sesión de clase de física y se aplica el segundo instrumento. El profesor de física ha empezado previamente la explicación de los marcos inerciales y marcos de referencia en clase, en donde se concluye que el movimiento es relativo (mecánica galileana-newtoniana).

El instrumento consistió en marcar con una X cada situación para establecer si está en estado de reposo o de movimiento (ver anexo). Se muestran los resultados de los 10 estudiantes:

Situación	Cantidad TOTAL		
	REPOSO	MOVIMIENTO	AMBAS
1.Un pájaro en vuelo	0	10	0
2.Un libro sobre una mesa	8	0	2
3.La Luna	0	10	0
4.El sol	0	6	4
5.La Tierra	4	6	0
6.Un bombillo en la habitación	4	2	4
7.Un tren con varios pasajeros a bordo yendo de ciudad a ciudad	6	0	4
8.Las sillas de un carro en marcha	4	2	4
9.Las estrellas	2	0	8
TOTAL	28 (31.12%)	36 (40%)	26(28,88%)

TABLA 12 Tabla que muestra los resultados obtenidos del instrumento 2.

Se muestra a continuación un gráfico de barras (gráfico13) que muestra dinámicamente los resultados del instrumento aplicado. En cada ítem enumerado desde el 1 hasta el 9 (coordenada de las x) se muestran las 3 opciones de respuesta *reposo* (izquierda-azul), *movimiento* (centro-rojo) y *ambos* estados (derecha-verde). Respectivamente una barra que llega hasta el total de X marcadas por lo estudiantes.

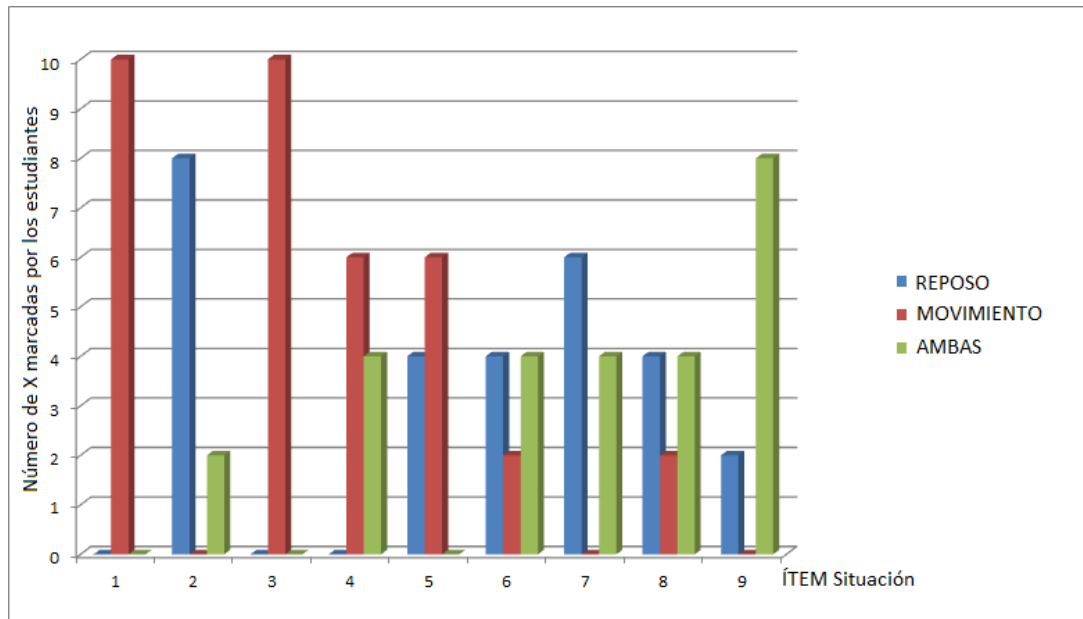


GRÁFICO 13 Gráfico de barras que muestra los resultados obtenidos del instrumento 2. Microsoft Excel 2007

3.3.4 ANÁLISIS INSTRUMENTO 2

Los ítems del segundo instrumento muestran situaciones cotidianas para los estudiantes, sin embargo, se aprecia una ambigüedad a la hora de describir el tipo de estado (reposo o movimiento) respecto a un marco de referencia, ya que los porcentajes de X marcadas se distribuyen casi uniformemente sin establecer un criterio suficientemente claro para determinar en qué situación un cuerpo se encuentra en estado de reposo o de movimiento.

El gráfico de barras (gráfico 13), muestra en las situaciones 1 y 3 (Un pájaro en vuelo, La Luna) una totalidad de estudiantes que afirmaron que se encontraban en movimiento. De lo anterior se puede deducir que el marco de referencia para ellos es un marco inercial en donde lo suponen en reposo y de ahí concluir el movimiento.

Pero visto lo anteriormente, el gráfico de barras (gráfico 13), muestra que en el caso del sol o de las estrellas los estudiantes no tienen claro el marco de referencia desde el cual describen el estado de movimiento de los astros (ver gráfico de barras 12).

Ahora los estudiantes en los ítems número 4, 6, 7, 8 y 9 afirman que las situaciones se encuentran en estado de reposo y de movimiento, mostrando claramente que para ellos estas situaciones físicas dependen de un marco inercial de movimiento para establecer el estado. En este punto, se deja contemplado que no hay una total claridad a la hora de establecer un marco de referencia inercial para determinar un estado de movimiento, por parte de los estudiantes.

3.3.5 RESULTADOS INSTRUMENTO 3

El siguiente momento de intervención para aplicación del tercer instrumento viene dado después de varias clases en donde el docente hace la introducción a la teoría de la

Relatividad de Einstein, y haber hecho comparaciones y diferencias con la mecánica clásica de Newton respecto a la contracción de la longitud, el tiempo y la masa.

Nuevamente los 10 estudiantes son reunidos para la aplicación del instrumento con la indicación de contestar individualmente y marcando con X cada ítem. A continuación se muestra el instrumento, con los resultados obtenidos con los 10 estudiantes de grado décimo.

Afirmación	Cantidad TOTAL			
	Newton		Einstein	
	SI	NO	SI	NO
1. La masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo.	10	0	5	5
2. La masa de un cuerpo se conserva.	10	0	0	10
3. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en reposo	6	4	10	0
4. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en movimiento	0	10	5	5
5. La masa de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento	2	8	8	2
6. La inercia de un cuerpo es igual que la masa	10	0	3	7
7. La inercia de un cuerpo se conserva	0	10	3	7
8. La inercia de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento.	2	8	10	0
9. Se distingue la masa en reposo de la masa en movimiento	7	3	5	5

TABLA 14 Tabla que muestra los resultados obtenidos del instrumento 3.

Se muestra a continuación un gráfico de barras que muestra dinámicamente los resultados del instrumento aplicado. En cada ítem enumerado desde el 1 hasta el 9 (coordenada de las x) se muestran las 2 opciones de respuesta que son *Si* (izquierda-azul) y *No* (derecha-rojo). Respectivamente una barra que llega hasta el total de X marcadas por lo estudiantes. La gráfica de barras (gráfico15) muestra los ítems-afirmaciones para la teoría de Newton.

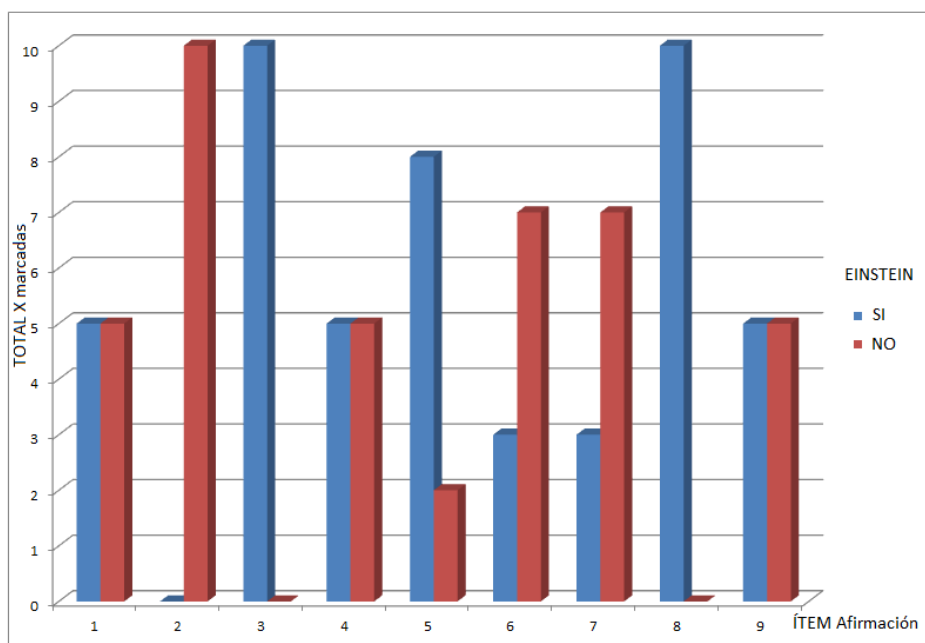


GRÁFICO 15 Gráfico de barras que muestra los resultados obtenidos del instrumento 3. Respuestas para Newton.

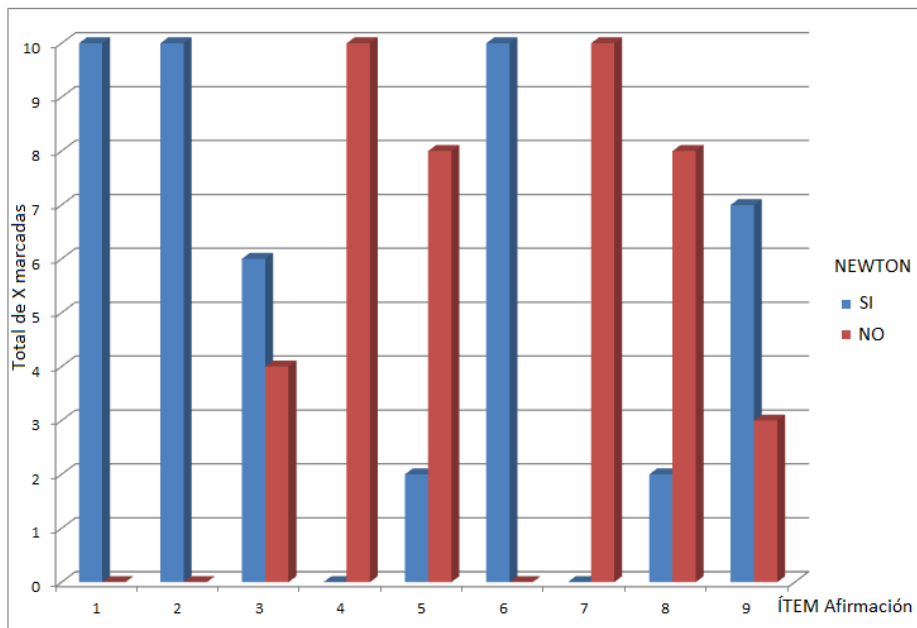


GRÁFICO 16 Gráfico de barras que muestra los resultados obtenidos del instrumento 3. Respuestas para Einstein.

La gráfica de barras (16) muestra los ítems-afirmaciones para la teoría de Einstein.

3.3.6 ANÁLISIS INSTRUMENTO 3

El análisis del tercer instrumento se hará con base a los resultados esperados que fueron previamente descritos en la siguiente tabla.

Afirmación	Newton		Einstein	
	SI	NO	SI	NO
1. La masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo.	x			X
2. La masa de un cuerpo se conserva.	x			X
3. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en reposo	x			
4. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en movimiento		x	x	
5. La masa de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento		x	X	
6. La inercia de un cuerpo es igual que la masa	x			X
7. La inercia de un cuerpo se conserva				
8. La inercia de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento.		x		X
9. Se distingue la masa en reposo de la masa en movimiento		x	x	

De la interpretación de los resultados se afirma que si un alto porcentaje (va a considerar de 70% a 100%) de estudiantes contesta de acuerdo a los resultados esperados, entonces es correcto afirmar que respecto al ítem es válido decir que hubo comprensión. Pero, si dado el caso contrario en donde un alto porcentaje contesta lo contrario a lo esperado entonces hay que hacer una revisión más detallada del ítem. También cuando se

encuentra una ambigüedad dada por la uniformidad en el porcentaje entre las opciones de respuesta se entrará en detalle acerca del ítem planteado, el docente y el estudiante.

Respecto a la teoría de Newton se destacan los ítems 1, 2, 3, 6 y 8 en donde se aprecia que los estudiantes captaron el significado que le da Newton a la masa desde lo expuesto por el docente. En el ítem 4, respecto a la medición de la masa en movimiento, el 100% de los estudiantes afirma no poder realizarse, aun cuando un porcentaje considerable había contemplado la posibilidad de poderse medir en el primer instrumento. Respecto al ítem 5, el alto porcentaje encontrado en que *No* es posible que la masa aumente con el movimiento es consecuencia de lo anteriormente contestado. En el ítem 7, parece no haber una claridad en cuanto al significado de la conservación de la inercia, por ello el 100% de los estudiantes afirma que *no*. En el ítem 9 los estudiantes afirman que sí existe una distinción entre la masa en reposo y la masa en movimiento, se cree los resultados de este ítem se debe al uso del lenguaje ya que se han distinguido varias clases de masa.

Respecto a la teoría de Einstein el análisis de resultados se detendrá en los ítems 1, 4, 8, y 9. El ítem 1 (*La masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo*) los estudiantes presentan una ambigüedad ya que se encuentra la mitad de ellos con SI y la otra mitad con NO. Se hace una suposición acerca de los estudiantes que marcaron el NO, y tiene que ver con el radicalismo o la figura que marca el personaje científico. Así los estudiantes al saber que Newton afirmaba que SI en el ítem, seguramente Einstein refutaría esta idea llevando a una marcación contraria a la de Newton. Ahora los estudiantes que marcaron SI, seguramente encuentran que la definición del concepto de masa no debe cambiar de una teoría a otra.

En el ítem 4 (*La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en movimiento*) se encuentra nuevamente una ambigüedad como anteriormente. En este punto se ve claramente una incompreensión en lo expuesto por el docente, ya que en reiteradas ocasiones se mencionaba en las clases la dependencia de la masa con la velocidad. Aquí, se puede inferir que la transposición del saber falló en el primer nivel, pues el docente se preocupó por lo operacional en el desarrollo de las actividades y dejó de lado la definición de masa que se intentaba mostrar desde la teoría de la relatividad. Al no haber una comprensión desde el docente, se ve reflejado en la transposición de novel 2 en los estudiantes que muestran una contradicción al responder que NO.

En el ítem 8 (*La inercia de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento*). Este punto tiene una incidencia muy importante a considerar y parte del hecho de que para la teoría de la relatividad planteada por Einstein la inercia puede o no puede aumentar ya que, como se ha mencionado anteriormente, él no se preocupó por la diferenciación de términos y definiciones del concepto de inercia. Pero en ésta discusión ya se dejó en claro que la masa no es la que aumenta con el movimiento sino la inercia. Cabe resaltar, que dentro de las clases asistidas por los estudiantes no hay registro por parte del docente al hacer esta distinción. Es más, el docente reitera que la masa depende de la relación entre la masa en reposo y la velocidad. Por lo tanto, los estudiantes muestran una distinción entre los términos, y entienden que la inercia tiene la misma medida física de la masa pero la definición del concepto dada por Einstein no es correcta.

Nuevamente una ambigüedad es apreciada en los resultados del ítem 9. Se hace una hipótesis acerca de este resultado, y de nuevo tiene que ver con la transposición del maestro respecto a la masa en reposo y la masa en movimiento. Como consecuencia del resultado del ítem 8, los estudiantes presentan una incomprensión en el ítem 9 a la hora de distinguir estos términos, no porque sean indefinibles, sino porque son indistinguibles. Es decir la masa en reposo es siempre la masa, y la masa en movimiento se refiere a la inercia.

Como síntesis de lo encontrado anteriormente en el instrumento 3, se resalta que al encontrar ambigüedades como las apreciadas debe haber un momento de reflexión frente a la enseñanza y el aprendizaje de las definiciones de los conceptos físicos dados por la transposición del saber. Fue claro en el análisis anterior, que cuando los ítems mostraban una paridad en las respuestas es porque el saber transpuesto del profesor no se hizo con la suficiente rigurosidad para llevar a un análisis físico que estuviera más allá de lo operacional. Esto se evidencia en los resultados de estos ítems donde se concluye la *incomprensión*.

4. VENTAJAS ACADÉMICAS DE INCLUIR LA RELATIVIDAD EN EL CURRÍCULO

Es común entre los docentes del área de Ciencias Naturales que consideren que el tiempo establecido para abarcar temas en la asignatura de física es muy corto. Dentro de la experiencia de la práctica docente pueden existir muchos componentes tales como el currículo, el modelo pedagógico, visión y misión de la institución, formación docente y jornada académica. Estos factores modifican la visión de la física y de las Ciencias naturales en general en una institución.

Una institución puede armar el currículo de física teniendo en cuenta lineamientos establecidos como el del Ministerio de Educación. Dentro del currículo se establece desde cuándo y hasta donde se involucra la física en el aprendizaje escolar. Se puede establecer la enseñanza de la física en cursos superiores como décimo y undécimo, arguyendo el lenguaje técnico y las herramientas matemáticas que requiere. También, se puede establecer la enseñanza de la física en todo el bachillerato, desde sexto hasta undécimo si se habla de una formación conceptual progresiva. O bien, durante todo el periodo escolar sea integrado en una asignatura de Ciencias o separada de la química, biología y educación ambiental.

El modelo pedagógico de una institución educativa puede influir en la creación del currículo para la asignatura de física, ya sea fortaleciendo la parte científica en donde la asignatura estaría muy presente. Otro puede ser el caso que fortalezca otros componentes como lo ciudadano, laboral, espiritual, etc. Y en este caso la física no estaría muy presente en el currículo. Así mismo la visión y misión del colegio puede influir en lo mencionado, pues es el perfil del estudiante el que caracteriza a una institución.

La formación docente es tal vez el factor principal en la visión de la física que tiene una institución cuando de crear el currículo se trata. Generalmente el currículo se basa en estándares de educación nacional o en contenidos de libros de texto. Por lo general, la física moderna queda olvidada o abordada el último periodo académico escolar. A modo de hipótesis se creería que la enseñanza de la física moderna en las últimas instancias de la

educación escolar tiene varias dificultades tales como: desinterés y poca participación por parte de los estudiantes ya que además de ser su último año escolar ya han presentado las pruebas de estado. Las bases que se necesitan para tratar la física moderna no son suficientes o simplemente no hubo un aprendizaje significativo (no recordar conceptos o no saberlos aplicarlos a un contexto problema).

El tratamiento que se le ha dado a la inclusión de la física moderna desde la relatividad de Einstein en grado décimo muestra una serie de ventajas. Estas ventajas se describen a continuación desprendidas de lo expuesto a lo largo del presente trabajo:

- La relatividad de Einstein rompe con paradigmas científicos, la mayoría gobernados por la física de Newton. Para entender esta consecuencia tan importante, se debe retomar la física clásica y todos los conceptos como el espacio, el tiempo, la masa, la fuerza, entre otras. Al hacer la incorporación de la física relativista no hay que hacer el abordaje de estos conceptos desde una teoría para después de un año escolar volver a retomarlos superficialmente para ser trabajados. Los estudiantes del curso décimo mostraron gran interés y participación por conocer la teoría ya que es muy llamativa por la divulgación que se extiende por televisión, internet e incluso entre compañeros.
- El barrido histórico que se presenta desde la Grecia clásica, pasando por Newton y Galileo hasta llegar con autores contemporáneos de Einstein es una gran introducción a la asignatura, ya que se aleja del carácter cientificista y estricto de la física que se presenta comúnmente resolviendo ecuaciones y ejercicios.
- Al presentarse los conceptos científicos con los que se construye la teoría relativista (espacio, tiempo y masa) se evidencian las similitudes, diferencias, cambios conceptuales en la definición y nuevas concepciones de la ciencia entre la física clásica y la física moderna en un mismo escenario.
- Tener los dos referentes teóricos (clásica y moderna) hace que los estudiantes se involucren con los autores de cada teoría y al enfrentarse a un problema específico visto desde el lenguaje matemático que requiere cada una. Por ejemplo, al introducir la dilatación del tiempo de Einstein con un problema que implique utilizar la constante de Lorentz se puede evidenciar que para velocidades ordinarias, como la de un automóvil, un tren o un avión, la física clásica se describe perfectamente. Y que los efectos tan sorprendentes que trae la relatividad son apreciados a una velocidad cercana a la de la luz.
- Desde la relatividad se pueden anclar fácilmente otros campos de la física como la electricidad y magnetismo, óptica geométrica y fenómenos ondulatorios. De esta manera es más fácil hacerle visualizar al estudiante la importancia que ha tenido el entendimiento de la física moderna para la construcción del mundo moderno y las tecnologías que dominan la rutina humana.

CONCLUSIONES

En el contexto de la mecánica clásica de Newton se establece la diferencia conceptual entre la masa inercial y masa gravitacional, muy importante a la hora de hablar de la medida de la masa y la relación dinámica y cinemática con otros sistemas. Esta diferencia conceptual se mantiene a pesar de encontrar el mismo valor numérico de su medida entre las dos. Por otro lado, desde el contexto de la relatividad especial de Einstein se caracteriza una masa que aumenta cuando viaja a velocidades cercanas a la de la luz desde un marco de referencia inercial. Lo anterior muestra en principio que la definición de masa clásica difiere de la definición de masa propuesta en la relatividad especial.

En la discusión del artículo de Martínez-Chavanz se aprecia que el autor establece unas *falacias* que son discutidas y analizadas. La primera falacia indica la imposibilidad de medir una masa en movimiento. La segunda falacia muestra un supuesto error lingüístico al contemplar la única posibilidad de medir la masa en reposo respecto a un marco inercial. Después del análisis se concluye que el autor tiene una concepción de masa universal que utiliza para sus apreciaciones, por lo cual lo lleva a pensar en formular las falacias en la relatividad especial. Como ya se mencionó, la concepción de masa que se utiliza en la mecánica clásica tiene unas características que son únicamente usadas en ese marco y son claramente diferenciadas de las utilizadas por Einstein en la relatividad especial.

En los libros de texto se encuentra el saber sabio descrito por la teoría de la transposición didáctica, y es allí donde el docente de física recurre para tener un acceso directo con ese saber sabio y su tratamiento en el sistema conceptual. El concepto a tratar es la masa y, como ya se ha mencionado, históricamente se ha mostrado una gran ambigüedad en la definición del concepto. Es decir, el lenguaje que describe al sistema conceptual es tan amplio que por ello es fácil encontrar estas ambigüedades. Históricamente Newton realizó un tratamiento del concepto definiéndolo mediante un concepto métrico (la inercia) que llevaría a una serie de formulaciones matemáticas que enmarcarían su teoría. Einstein hizo lo propio con su famosa formulación masa-energía y masa-movimiento.

Pero este tratamiento es simplemente un análisis realizado donde se rescata el trabajo Martínez-Chavanz (mencionado a lo largo del trabajo), acerca del tratamiento de la definición de masa en el marco de la Relatividad. Por consiguiente, se realizó una implementación en el aula de clase con estudiantes de décimo grado para examinar si estas afirmaciones acerca del tratamiento en la definición del concepto de masa mencionado tienen alguna incidencia o implicación en la enseñanza y aprendizaje de la relatividad en el aula de clase, visto mediante un breve análisis.

El primer nivel de transposición didáctica es observado en el docente de física quien examina el saber sabio en los libros de texto e intenta realizar un tratamiento de la teoría para hacerlo comprensible a su tipo de población, que en este caso es un grado décimo. Los resultados muestran que en muchos casos se presentan ambigüedades reflejadas en una no-comprensión de la definición de algunos conceptos en los estudiantes. Es decir, que el tratamiento que el docente hace de estas definiciones conceptuales no es el adecuado ya que la transposición del saber enseñar en los estudiantes no es comprensible ni oportuna. La principal reflexión del trabajo es la de la pertinencia y la importancia de un tipo de tratamiento conceptual y la incidencia que tiene el uso de la didáctica en el aula. El docente

analizado, muestra unos patrones de enseñanza que claramente reflejan una no-comprensión en las definiciones conceptuales que se suponen son la base del conocimiento científico y que de paso son presentadas mediante una transposición didáctica en los estudiantes.

Después de haber analizado las consecuencias del discurso expuesto en el artículo de Martínez-Chavanz, se presentó la inclusión al aula para examinar esos detalles. A modo de conclusión, el presente trabajo muestra que hacer discusiones en clase frente a la naturaleza de la masa en mecánica clásica y relatividad especial puede ser muy bien aprovechada por parte del docente para mejorar la didáctica de clase y la comprensión de las teorías abordadas. Sin duda también para pensar en que la relatividad no está ajena del currículo y que puede ser una oportunidad para traer a colación más elementos trasversales como la historia, la filosofía, la matemática y por supuesto la física misma.

Al realizar el cierre del presente trabajo, se concluye claramente que hay un fuerte llamado de atención hacia la didáctica en la enseñanza de la física moderna, pues se muestra que un análisis y un tratamiento de las definiciones conceptuales, por ejemplo en la masa, deben ser diferentes a las tratadas hasta ahora, pues como lo han mencionado muchos autores citados, la enseñanza de la física moderna presenta más dificultades que ventajas. También, es una invitación a continuar con la ola de inclusión al currículo de la física moderna en las aulas, pues allí, aunque existan problemas en la enseñanza, el aprendizaje y la comprensión hay un tesoro de conocimiento inexplorado todavía por la mayoría de docentes por falta de alternativas pedagógicas que estén directamente relacionada con la enseñanza de la física moderna y en este caso de la teoría de la relatividad de Einstein.

REFERENCIAS

- Alonso, M., & Rojo, O. (1986). *Física. Mecánica y termodinámica*. Wilmington, Delaware, Estados Unidos: Addison-Wesley Iberoamericana S.A.
- Arriasecq, I., & Greca, I. (2004). Enseñanza de la teoría de la relatividad especial en el. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 3, N° 2*, 211-227.
- Astolfi, J. P. (1987). El aprendizaje de conceptos científicos: Aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Investigación y experiencias didácticas (INRP)*, 1-9.
- Berenguer, A. (1997). ERRORES COMUNES SOBRE RELATIVIDAD ENTRE LOS PROFESORES DE ENSEÑANZA SECUNDARIA. *Enseñanza de las Ciencias*, 301-307.
- Candela, A. (2001). Corrientes teóricas sobre el discurso en el aula. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 317-333.
- Cárdenas, M. L., & Rivera, J. F. (2006). El análisis del discurso en el aula: una herramienta para la reflexión. *Educere*, 43-48.
- Díez, J. A., & Moulines, C. U. (1999). Capítulo 4: Los Conceptos Científicos. En J. A. En Díez, & C. U. Moulines, *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia* (págs. 91-123). Barcelona: Ariel.
- Doménech Carbó, A. (2001). El debate sobre la masa relativista: El problema definicional y otros aspectos epistemológicos. *Int. bachillerato de Buñol*, 331-336.
- Edwards, D., & Mercer, N. (1988). El desarrollo de la comprensión en el aula.
- Franklin, A. (1997). Millikan's Oil-Drop Experiments. *The Chemical Educator. Chemistry and History*, 2(1), 1-14.
- Gallego Torres, A. P., Castro Montaña, J. E., & Rey Herrera, J. M. (2008). El pensamiento científico en los niños y las niñas: algunas consideraciones e implicaciones. *IIEC, II(3)*, 22-29.
- Giancoli, D. (2006). *Física. Principios con Aplicaciones*. México D.F., México: Pearson Education de México S.A.
- Guerrero Pino, G. (2011). Einstein: científico y filósofo. En R. Martínez-Chavanz, *Acerca de la masa y su tratamiento dado por Einstein y Garavito* (págs. 141-244). Cali, Colombia: Colección Artes y Humanidades.
- Hewitt, P. (2007). *Física Conceptual*. México D.F., México: Pearson Education de México S.A.
- Jammer, M. (2001). *Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

- Martínez-Chavanz, R. (2011). Einstein: científico y filósofo. En R. Martínez-Chavanz, *Acerca de la masa y su tratamiento dado por Einstein y Garavito* (págs. 141-244). Cali, Colombia: Colección Artes y Humanidades.
- Naiden, A. L. (20 de Agosto de 2005). TEORÍA DE LA RELATIVIDAD, A AÑOS LUZ DE LA ENSEÑANZA EN LAS ESCUELAS MEDIAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. *Instituto Cardoso, Caseros, Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina.
- Nosa Márquez, J. F. (2003). Algunas consideraciones acerca del concepto erróneo de masa relativista. *Trabajo de grado*. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Peña, H. (18 de Agosto de 2005). Manual de Laboratorios. Física Moderna. Pamplona, España: Universidad de Pamplona. Fac. Ciencias Básicas.
- Pérez, H., & Solbes, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la Relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 135-146.
- Pujol, R., & Sanmartí, N. (1995). Integración del eixos transversals en el curriculum. *Guix*, 7-16.
- Resnik, R., & Halliday, D. (1977). *FÍSICA. PARTE I*. México D. F. : Compañía Editorial Continental, S. A.
- Romero, O., & Rincón, L. F. (2008). *Física 11*. Bogotá, Colombia: Editorial Santillana.
- Rosario Barbosa, P. M. (2010). La filosofía de Gottlob Frege: Introducción.
- Russel, B. (1985). *El ABC de la Relatividad*. (P. Rodríguez Santidrián, Trad.) Barcelona: Orbis S.A.
- Solarte, M. C. (Enero-Junio de 2006). Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. *Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, I(4), 1-12.
- Villegas, M., & Ramírez, R. (1998). *GALAXÍA Física 11*. Bogotá, Colombia: Editorial Voluntad S.A.
- www.basculasbalanzas.com. (24 de Agosto de 2010). *www.basculasbalanzas.com*. Recuperado el 6 de Mayo de 2012, de <http://www.basculasbalanzas.com/tipos/romana.html>
- www.basculasbalanzas.com. (24 de Agosto de 2010). *www.basculasbalanzas.com*. Recuperado el 29 de Abril de 2012, de <http://www.basculasbalanzas.com/instrumentos-de-medicion/instrumento-medicion-masa.html>
- Zalamea G., E., Rodríguez M., J. A., & París E., R. (1995). *Física 10º*. Bogotá: Educar Editores S. A.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento 1: Diagnóstico acerca de la concepción de masa y movimiento desde el marco de la mecánica clásica.

NOMBRE: _____	EDAD: ____	CURSO: _____
FECHA: _____ COLEGIO: _____ (FABIAN R. CARVAJAL C.)		
<p>Parte 1: Medida de la masa bajo diferentes condiciones físicas.</p> <p><i>Responde los siguientes ítems de acuerdo a la experiencia que tengas. Puedes utilizar ejemplos o dibujar en la parte de atrás de la hoja. Responde TODO, no dejes respuestas en blanco.</i></p> <p>1. Un cuerpo tiene una masa determinada m medida en gramos. Si la masa está en reposo (velocidad inicial igual a cero) entonces es correcto decir que cuando la masa se <i>mueve</i> es porque:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>2. Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en reposo sobre una superficie horizontal. La forma para medir esa masa sería:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>3. Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en movimiento rectilíneo sobre una superficie horizontal. La forma para medir esa masa sería:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>4. Un cuerpo con determinada masa m medida en gramos está en movimiento bajo la acción de un campo gravitatorio constante. La forma para medir esa masa sería:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>5. Si un cuerpo con determinada masa m medida en gramos se sale de la superficie de la Tierra, y se coloca en un lugar aislado de la interacción de la gravedad de planetas y satélites, entonces la forma para saber la medida de la masa es:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>6. Un sistema está conformado por un cuerpo en reposo y otro cuerpo en movimiento. El cuerpo al que se le puede hallar la masa más fácilmente es: _____ porque</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		

Anexo 2. Instrumento 2

NOMBRE: _____ EDAD: _____ CURSO: _____
 FECHA: _____ COLEGIO: _____ (FABIAN R. CARVAJAL)

Parte 2: Concepto de reposo y de movimiento

Marca con una X si cada ejemplo citado lo consideras en movimiento o en reposo	Reposo	Movimiento
Un pájaro en vuelo		
Un libro sobre una mesa		
La Luna		
El sol		
La Tierra		
Un bombillo en la habitación		
Un tren con varios pasajeros a bordo yendo de ciudad a ciudad		
Las sillas de un carro en marcha		
Las estrellas		

Indica en cada caso respecto a qué o a quién has considerado que los distintos cuerpos se encuentran en reposo o en movimiento.	RESPECTO A...
Un pájaro en vuelo	
Un libro sobre una mesa	
La Luna	
El sol	
La Tierra	
Un bombillo en la habitación	
Un tren con varios pasajeros a bordo yendo de ciudad a ciudad	
Las sillas de un carro en marcha	
Las estrellas	

Anexo 3. Instrumento 3

Afirmación	Newton		Einstein	
	SI	NO	SI	NO
10. La masa es la medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo.				
11. La masa de un cuerpo se conserva.				
12. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en reposo				
13. La masa de un cuerpo se puede medir cuando está en movimiento				
14. La masa de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento				
15. La inercia de un cuerpo es igual que la masa				
16. La inercia de un cuerpo se conserva				
17. La inercia de un cuerpo aumenta cuando está en movimiento.				
18. Se distingue la masa en reposo de la masa en movimiento				

3.4. La masa propia invariable (estática) y la inercia variable (dinámica)

La masa propia m_0 de un cuerpo se define y mide en un sólo referencial privilegiado, aquel donde el cuerpo está en reposo relativo. Desde otro referencial inercial no se podría medir directamente m_0 , sólo se podría deducir indirectamente. Hay que acercarse al cuerpo, atraparlo y colocarlo sobre una balanza móvil o en reposo relativo a él para realizar la medida propia (“balanzada” o pesada). Si se mide m_0 desde otro referencial se obtendrá un valor más grande, que notaremos provisionalmente por $m' = m(v) = m_0\gamma$. Siempre se encontrará el mismo valor m_0 si el cuerpo se lleva al estado de reposo, inmovilizándolo, en cualquier referencial animado de cualquier velocidad uniforme. Así la relatividad reconoce el valor intrínseco, independientemente de la velocidad, de la masa propia m_0 . Por el contrario, si la masa permanece en su referencial comóvil y se mide su valor desde otros referenciales inerciales donde no está en reposo, entonces el valor diferente que se encontrará no será la masa, más bien será la inercia.

Hay que notar que la masa en reposo m_0 es la única que tiene sentido físico operacional, es característica del cuerpo y es uno de los invariantes, junto con el espín, del grupo de Poincaré y sirve para etiquetar las representaciones lineales de dicho grupo. No debe, pues, usarse la otra “masa relativa” $m' = m_r = m(v)$, la cual no tiene una definición clara y adecuada. Teóricamente y para ser consistentes, en lugar del desarrollo histórico, debe usarse una marcha lógica: partir del impulso (momento lineal) p y la energía total E del cuerpo en movimiento para llegar a definir su masa (m_0). En cuanto a la inercia I , se debe partir de la definición de la energía total E y deducir la energía cinética K y luego la masa inercial variable I . Esto lo veremos en el tercer párrafo que sigue.

De aquí que sea improcedente hablar de masa (propia) variable. En cambio es lícito hablar de masa inercial o inercia variable. El inoportuno término de masa relativista, o la aporía de masa relativa, o la impropriamente masa variable es en realidad, por definición, la inercia variable: $m_r = m' = m(v) = I(v) = I = m_0\gamma$. Existe absolutividad de la masa propia. Existe relatividad de la masa inercial. La inercia variable implica la inercia de la energía variable, y viceversa; es decir, hay equivalencia lógica entre estas dos aseveraciones. Los dos invariantes m_0 y t_0 (tiempo propio) están correlacionados ($m_0/t_0 = m'/t' =$ invariante). Con la ayuda de la elasticidad del tiempo se puede deducir el incremento de la masa inercial. El incremento de la inercia, como la contracción de las longitudes y la dilatación del tiempo, debe ser recíproco, simétrico, en armonía con el PR. En mecánica clásica, la masa material y la masa inercial son proporcionales. La constante universal de proporcionalidad, por convención y comodidad, se iguala a 1 gracias a una escogencia adecuada de unidades. Así se logra la identificación clásica de masa e inercia. En relatividad es lo contrario: masa e inercia son proporcionales, pero nunca idénticas, ya que $\gamma \neq 1$; la coincidencia se produce en el reposo ($v = 0 \rightarrow \gamma = 1$).

Es un abuso de lenguaje hablar de la masa relativa de un cuerpo. Es un pleonismo hablar de masa en reposo. Es una redundancia poner el símbolo m_0 . Esto se comprende sin extralimitaciones puristas u obsesiones bourbakistas, ya que la verdadera masa es la del

cuerpo sobre la balanza comóvil que lo “balanza” o “masa”, como el peso pesa cuerpos. Como las costumbres son tozudas, seguiremos hablando, por tautología interpuesta, de masa en reposo, masa propia, masa invariante –que son sinónimos–y usaremos mo para poner énfasis en esto. Lo sobrio y correcto sería decir: la masa m. El inapropiado concepto de masa relativista o masa variable se reemplazará por el de masa inercial o simplemente inercia, término este estrechamente asociado con la energía total. Por ejemplo, siempre se dice sin más, que el fotón no tiene masa pero sí inercia, vale decir, la luz tiene masa nula, pero inercia, peso, impulso y energía diferentes de cero.

3.5. Otras demostraciones de la masa inercial variable

Ya mencionamos la primera demostración rigurosa de la masa inercial variable dada por Planck, donde enmienda algunas inconveniencias, elipticidades e inexactitudes de Einstein y da la fórmula exacta [Planck, 1906a]. Otras alternativas se justificaron porque se criticó la demostración original de Einstein de privilegiar demasiado al electromagnetismo y la fuerza de Lorentz –en toda la TR– y por dar generalidad a la deducción. La fórmula de la “masa relativista de un cuerpo móvil” se demostró con otro tipo de razonamientos en colisiones elásticas o inelásticas de cuerpos animados de la misma velocidad, basados en el principio de la conservación del impulso unido a las TL, [Lewis y Tolman, 1909; Epstein, 1911 (retomado en [Bergmann, 1950]); Tolman, 1912, 1934]. En resumen: la inercia variable es una consecuencia directa de las TL, y viceversa, e independiente del proceso de colisiones.

En otra deducción de la masa inercial relativista, se usan dos simetrías generales del espacio (la isotropía espacial y la invariancia relativista por TL) o sea la conservación del momento angular J y el tiempo “relativista” $t' = t_0\gamma$. Resumiendo en exceso, se trata del experimento imaginario de una “honda” con una masa m_0 , que gira con periodo propio t_0 y con una cantidad de rotación $\omega_0 = 2\pi/t_0$ de eje paralelo a x . Respecto a otro referencial inercial (ambos con ejes colineales móviles en la dirección de las equis) se tendrá: $J' = m' r'^2 2\pi/t' = J_0 = m_0 r_0^2 2\pi/t_0 \rightarrow m'/t' = m_0/t_0 \rightarrow m' = m_0\gamma = I$.

El vínculo entre la masa inercial y la energía total de la TRE fue generalizado por Einstein en la TRG, donde la masa gravitacional se asocia con la energía total a través del tensor de energía-impulso, lo que no quiere decir que en dicha teoría se disponga de una definición apropiada de masa, como sí es el caso en la TRE con el módulo del cuadvectores de energía-impulso p .

Martínez-Chavanz, R. (2011). Einstein: científico y filósofo. En R. Martínez-Chavanz, *Acerca de la masa y su tratamiento dado por Einstein y Garavito* (págs. 141-244). Cali, Colombia: Colección Artes y Humanidades.

Anexo 5: Tabla de sistemas de unidades

SISTEMA DE UNIDADES	UNIDAD BÁSICA
Sistema Cegesimal	Gramo (g)
Sistema natural	Masa de Planck $2,17644(11) \times 10^{-8}Kg$
Sistema Inglés	Tonelada
Sistema Inglés	Libra
Sistema Anglosajón	Arroba
Sistema técnica de masa	1 u.t.m. = 9,806 65 Kg
Sistema FPS	Slug
Sistema Internacional	Kilogramo

TABLA 1. Sistemas de unidades y su unidad de medida básica. Tomado de internet.
http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_unidades

Como se observa en la tabla, los sistemas de unidades abundan, aun cuando se ha tratado de establecer sólo un patrón de medida o un sólo sistema de unidades. Pero, aunque exista la divergencia en las unidades básicas de medida todos los sistemas comparten la forma o el mismo principio para obtener la medición de la masa. Se mostrará a continuación la definición de lo que es medir una masa u obtener la medida de la masa de un cuerpo.