UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V

Jennyfer Carolina Sotelo Fajardo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V

Jennyfer Carolina Sotelo Fajardo

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:
MSc, Física, **José Gregorio Portilla Barbosa**

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

A mi abuelo Manuel

Agradecimientos

Al profesor José Gregorio Portilla Barbosa, director del presente trabajo, por sus valiosos aportes e incondicional apoyo en la elaboración del presente trabajo.

A los estudiantes de Ciclo V del Colegio Nueva Delhi por su colaboración durante la implementación de la unidad didáctica.

A la Universidad Nacional de Colombia por brindarnos a los docentes de educación media la posibilidad de reflexionar sobre nuestra práctica pedagógica y sobre el sentido que tiene el ser educador en Colombia.

A todos aquellos que contribuyeron en la realización del presente trabajo.

Resumen

Se presenta el desarrollo del concepto gravedad a partir del estudio histórico, epistemológico y disciplinar enmarcado en la ley de gravitación universal y la teoría general de la relatividad. Asimismo se muestra el diseño e implementación de la unidad didáctica “Gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein” la cual busca transponer el saber científico al saber escolar en los estudiantes de ciclo V del Colegio Nueva Delhi profundizando en el estudio del concepto gravedad bajo premisas constructivistas.

Palabras clave: gravedad, constructivismo, unidad didáctica, ley de gravitación universal, teoría general de la relatividad.

Abstract

This paper presents the development of the concept of gravity from historical, epistemological and disciplinary work embodied on the law of universal gravitation and the general theory of relativity. It also shows the design and implementation of the teaching unit named "Gravity based on the ideas stated by Newton and Einstein" which tries to transpose the scientific knowledge of Nueva Delhi School students, who are doing 10th and 11th grade, going deeper in the study of gravity concept under the premises based on constructivist ideas.

Keywords: gravity, constructivism, teaching unit, law of universal gravitation, general theory of relativity.

Contenido

1. Introducción **1**

1.1. Introducción general 1
1.2. Caracterización de la comunidad educativa del colegio Nueva Delhi 3
1.2.1. Caracterización del estudiante de Ciclo V 4
1.3. Planteamiento del problema 4
1.4. Sobre los estándares básicos de competencias en ciencias naturales 5

2. Objetivos **9**

2.1. Objetivo general 9
2.2. Objetivo específicos 9

3. Referentes conceptuales **11**

3.1. Aspectos históricos y epistemológicos del concepto de gravedad 11
3.1.1. El movimiento según Aristóteles 11
3.1.2. Claudio Ptolomeo y su modelo del universo 12
3.1.3. Nicolás Copérnico y la Tierra en movimiento 12
3.1.4. Galileo Galilei y la caída de los cuerpos 13
3.1.5. Johannes Kepler y el movimiento planetario 13
3.1.6. Isaac Newton y sus leyes del movimiento 16
3.1.7. Albert Einstein y el origen de la Relatividad General 20
3.1.7.1. Comprobaciones de la Relatividad General 22
3.1.7.1.1. El avance del perihelio de Mercurio 22
3.1.7.1.2. La desviación de la luz por el Sol 24
3.1.7.1.3. La prueba de Shapiro 24
3.1.7.1.4. El pulsar binario PSR 1913+16 25

3.2. El espacio-tiempo curvo Aspectos disciplinares 25
3.2.1.1. La curvatura del espacio físico 26
3.2.1.2. Espacio planos y curvos 26
3.2.1.3. Curvatura y materia 28

4. Diseño e implementación de la unidad didáctica 33

4.1. El Constructivismo como referente pedagógico 33
4.2. Diseño de la unidad didáctica: "Gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein" 35
4.3. Sobre las unidades de aprendizaje 38
4.4. Implementación y resultados de la unidad didáctica 39
4.4.1. Unidad de aprendizaje 1: "Y los cuerpos caen" 39
4.4.1.1. De los preconceptos de los estudiantes 39
4.4.1.2. De la socialización y explicación teórica 41
4.4.1.3. De la presentación de la simulación 42
4.4.2. Unidad de aprendizaje 2: "La gravedad como aceleración". 40
4.4.2.1. De los preconceptos de los estudiantes 40
4.4.2.2. De la socialización y explicación teórica 42
4.4.3. Unidad de aprendizaje 3: "Principio de equivalencia" 45
4.4.3.1. De la actividad de interpretación lectora 45
4.4.3.2. De la socialización y el video presentado. 47
4.4.4. Unidad de aprendizaje 4: "La curvatura del espacio I". 48
4.4.5. Unidad de aprendizaje 5: "La curvatura del espacio II". 48
4.5. Aplicación de la prueba final 51

5. Conclusiones y recomendaciones 55

6. Bibliografía 57

A. Anexo: guías para el desarrollo de las unidades de aprendizaje para el trabajo en el aula **61**
B. Anexo: Algunas guías y trabajos desarrollados por estudiantes **69**

Apéndice A: Balanza de torsión **89**

1. Introducción

1.1. Introducción general

Considerando que los estándares básicos de competencias propuestos por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia determinan criterios que permiten conocer lo que deben aprender los estudiantes en las diferentes áreas y que, además, establecen un marco de referencia de lo que se supone están en capacidad de aprender a hacer, resultan siendo una herramienta que, de una u otra forma, debe garantizar que en nuestro país se ofrezca la misma de educación a nivel de contenidos. Al ubicarnos específicamente en lo que estos plantean para el área de ciencias naturales y, concretamente, para el ciclo V (décimo y undécimo) encontramos tres ejes de pensamiento que se nombran mediante entornos: el vivo[1], el físico[2] y ciencia, tecnología y sociedad[3]. Cada uno de estos, y de forma particular, buscan que el estudiante logre producir conocimiento desde el ámbito científico. Sin embargo, al estudiar con detalle las competencias y conocimientos básicos que se pretende forjar en los estudiantes para el entorno físico, vemos que el referente respecto a la enseñanza de teorías modernas y, más aún, postmodernas, no se tienen en cuenta. De hecho, en nuestras aulas algunas veces ni se mencionan, aun cuando se es explícito en el tercer eje la importancia de documentarse y debatir sobre los avances científicos y los beneficios que han traído consigo a la sociedad.

Con base en lo expuesto anteriormente y, por supuesto, teniendo en cuenta los planes de estudio existente en el Colegio Nueva Delhi (Institución Educativa Distrital), podemos

[1] De acuerdo con los estándares este se refiere a la manera como los estudiantes se acercan a los conocimientos de las ciencias naturales de la misma forma como proceden quienes las estudian, utilizan y contribuyen con ésta a construir un mundo mejor.

[2] De acuerdo con los estándares este tiene como propósito crear condiciones de aprendizaje para que, a partir de acciones concretas de pensamiento y de producción de conocimientos, los estudiantes logren la apropiación y el manejo de conceptos propios de las ciencias naturales.

[3] De acuerdo con los estándares aquí se indica las responsabilidades que, como personas y como miembros de la sociedad, se asumen cuando se conocen y valoran críticamente los descubrimientos y los avances de las ciencias, ya sean naturales o sociales.

afirmar que el concepto de gravedad es abordado exclusivamente desde concepciones newtonianas, pues textualmente en los estándares se establece, como componente a desarrollar en el aula y, específicamente, para Ciclo V, que el estudiante debe establecer relaciones entre masa, distancia y fuerza de atracción gravitacional. Por lo anterior, se deduce que no hay una consideración explícita frente a otras teorías de la gravitación vigentes desde hace varias décadas atrás como lo es la teoría general de la relatividad. Modernamente, para diversidad de propósitos, dicha teoría es utilizada para la descripción adecuada del movimiento de los cuerpos celestes. Por lo tanto, esta propuesta busca contribuir a la enseñanza del concepto de gravedad a los estudiantes del Ciclo V del Colegio Nueva Delhi, no sólo desde lo planteado por la mecánica clásica desde Newton, sino también considerando la teoría general de la relatividad debida a Einstein.

Justamente en esta dirección, el presente trabajo propone una estrategia metodológica para la comprensión del concepto de gravedad mediante el diseño e implementación de una unidad didáctica en la que se utilizan situaciones problema, en contextos diferentes que permitan dar un nuevo significado al ya preconcebido sobre gravedad, por lo que se muestran dos interpretaciones diferentes desde el análisis disciplinar, histórico-epistemológico y pedagógico de la ley de gravitación universal y la teoría general de la relatividad.

El presente trabajo consta de cinco capítulos. En el primero se describe lo correspondiente a las generalidades del trabajo y en su mayoría se dedica a la caracterización del colegio Nueva Delhi y al planteamiento del problema.

En el segundo y tercer capítulo se presentan los objetivos y se desarrollan los referentes conceptuales desde la perspectiva histórica y epistemológica sobre las diferentes etapas del advenimiento del concepto de *gravedad*.

En el cuarto capítulo se muestra el diseño e implementación de la unidad didáctica y la sistematización de los resultados obtenidos en el aula. Y, finalmente, se plasman en el último capítulo las conclusiones halladas en la realización del trabajo, pero centradas, en su mayoría, en la implementación, por lo que el análisis de los resultados mostró que la metodología y, más aún, las temáticas desarrolladas, generan mejoras significativas en el aprendizaje de la física y que, por lo tanto, se recomienda su aplicación.

1.2. Caracterización de la comunidad educativa del colegio Nueva Delhi

El Colegio Nueva Delhi es una institución del sector oficial perteneciente a la localidad de San Cristóbal, identificada como la localidad cuarta del Distrito Capital. Está localizada en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos; se extiende no sobre el altiplano, sino sobre las estribaciones montañosas que se levantan progresivamente sobre el eje principal de la cordillera, contra los cerros del páramo de Cruz Verde, a 2600 metros sobre el nivel del mar. El colegio Nueva Delhi atiende una comunidad educativa mixta de aproximadamente 1200 estudiantes perteneciente a estratos 1 y 2, provenientes de barrios aledaños o de invasiones que vienen surgiendo año tras año, por lo que es caracterizada por su alto nivel de vulnerabilidad a las drogas, a la delincuencia juvenil, a la deserción escolar, a la desnutrición, al hacinamiento en las viviendas, a problemas de salud, entre otros. Existen diferentes tipos de familias, algunas conformadas por el núcleo básico, padres, hijos y hermanos, pero también muchas de ellas integradas por solo uno de los padres, sobre todo la madre, como cabeza de familia, quien asume la crianza de sus hijos; sumado a esto está que la escolaridad de los padres es baja y muchos de ellos se encuentran desempleados o se dedican al rebusque. Esta comunidad se caracteriza por su heterogeneidad cultural debido a que algunas familias llegan de diferentes partes del país sea por decisión propia o por desplazamiento forzado generado por violencia política y social, problemas que lejos de mejorar tienden a hacerse más marcados, de aquí que la mayoría de la población es flotante y por lo tanto varía constantemente.

Luego de haberse presentado la prueba Saber 11 (2011-II) y de acuerdo con la Resolución 569 de Octubre de 2011 emitida por el ICFES, el colegio Nueva Delhi se encuentra ubicado en la categoría MEDIO de desempeño académico, resultado que evidencia el nivel que se maneja en la institución. Lo anterior implica que la probabilidad que tienen los estudiantes de ingresar a la educación superior es mínima; sin embargo, la institución acaba de firmar un convenio con el SENA y con la secretaria de educación distrital que permitirá a los estudiantes de Ciclo V iniciar su cadena de formación. Esto significa que un estudiante de grado décimo de la jornada mañana recibirá formación técnica, en contra jornada y en el mismo colegio, en un programa específico, de tal manera que al terminar su grado undécimo recibirá una certificación emitida por el SENA, por lo que se espera que para diciembre de 2012, alrededor de 25 estudiantes de la jornada mañana reciban el título de "*técnico en contabilización de operaciones comerciales y financieras*". De aquí, los estudiantes que deseen, podrán continuar su formación tecnológica o profesional en las instituciones que el SENA o la secretaria de educación dispongan para ello.

1.2.1. Caracterización del estudiante de Ciclo V

El Ciclo V de la jornada mañana del colegio Nueva Delhi está conformado por los grados décimo y undécimo con un total de 55 estudiantes, 29 hombres y 26 mujeres (5 gestantes y 2 madres); del total del grupo se registra que el 4% es repitente. El promedio de edades es de 16.5 años, con un mínimo de edad de los 15 años y un máximo de 19 años.

El nivel de interpretación de los estudiantes de este ciclo es básico y mediado por la orientación constante del docente mediante ejemplos, de tal manera que el nivel de análisis es enteramente dependiente de la guía del docente, por lo que los estudiantes presentan una capacidad de síntesis bastante menguada en la elaboración de argumentaciones autoconsistentes. De ahí que, en el aspecto comunicativo, se evidencien deficiencias en la exposición verbal y escrita, además de la apatía por la lectura. Resultado de esto es que los hábitos de la misma son casi nulos.

En lo que se refiere a lo convivencial, en general, los estudiantes presentan buenas relaciones y es notable el gusto por el trabajo en equipo; hay buen nivel de tolerancia. Sin embargo, cuando se presentan conflictos entre ellos no hay capacidad de resolver situaciones complejas sin la mediación de un docente. En ocasiones son conflictivos, no miden consecuencias cuando se trata de una situación negativa, mientras que las positivas difícilmente afloran. Así mismo, se les dificulta expresar afecto o emociones.

1.3. Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta lo establecido en la sección 1.1. del presente trabajo y considerando la importancia de crear nuevas alternativas de enseñanza aprendizaje en las prácticas en el aula, el problema que se plantea girará en torno a la siguiente pregunta:

¿Puede la implementación de una estrategia metodológica, enfocada en la enseñanza del concepto gravedad desde la mecánica clásica y la teoría general de la relatividad, y partiendo de los preconceptos de los estudiantes, mejorar su comprensión sobre fenómenos físicos particulares?

Por lo anterior las actividades propuestas en el aula deben corresponder con las necesidades de los estudiantes del ciclo V y con el desarrollo de los contenidos curriculares de la asignatura de física desde la mecánica clásica y la teoría general de la relatividad.

1.4. Sobre los estándares básicos de competencias en ciencias naturales

En vista de la importancia que por años ha representado el considerar referentes curriculares en la enseñanza escolar, esta sesión está dedicada al desarrollo y a la descripción del avance que se ha venido generando desde la década de los sesenta hasta nuestros días en el ámbito educativo.

En Colombia, hasta comienzos de los años sesenta, en las instituciones educativas se evaluaba por contenidos; esto quiere decir que los docentes indagaban superficialmente sobre lo que sabían los estudiantes, en ocasiones por medio de preguntas que debían ser respondidas oralmente y a partir de las cuales se podía concluir sobre la posibilidad de un estudiante para pasar al siguiente año escolar (Fecode, 2003). Sin embargo, sobre la década del sesenta la evaluación cambió de una por contenidos a otra por objetivos específicos, tendencia que se consolidó en primaria en el año 1963 en el Decreto 1710 y en bachillerato durante los años 1973 y 1974 en el Decreto 080 de 1974 y de los cuales se desconoce algún tipo de reacción por parte de los docentes. Para estos años la evaluación estuvo enmarcada en el análisis de la conducta o conductismo, basado en un diseño institucional específico que seguía los siguientes parámetros: 1) información sobre las características del estudiante; 2) análisis e información sobre el contenido institucional; 3) medios y mecanismos para la secuencia de aprendizaje individualizado; 4) el análisis evaluativo de la eficiencia de todo el sistema (Soler, 2006).

Se han venido criticando bruscamente este sistema tan instruccional y se sostiene que es reduccionista y fragmentado. Por lo que alrededor de los años ochenta varios autores en el campo conductista decidieron rechazar muchos de los elementos que conformaban este movimiento y adoptaron otros modelos de enseñanza que se ven enmarcados en el conocimiento y en las estructuras mentales internas de las personas (Soler, 2006). De aquí que se hayan generado discusiones y reflexiones que dieron pie a la resolución 2343 de 1996, en la cual se fijaba una lista de indicadores de logro para algunos grupos de grados;

sin embargo, no era tan evidente el poder distinguir entre los objetivos específicos, los logros e indicadores.

A finales de los noventa, la discusión nacional se sumó a la intervención del ICFES, la Universidad Nacional y la Secretaría de Educación Distrital quienes propusieron el diseño de una *evaluación por competencias*[4], por lo que en correspondencia con el plan sectorial de educación, 1998 – 2000, se definieron tres ejes básicos para la enseñanza: calidad, equidad y eficiencia, que determinaron para este tiempo las acciones previstas por la Secretaría de Educación Distrital.

De igual manera en que se vinculaba a las instituciones educativas con la aplicación y el análisis de resultados de la evaluación de competencias, con el fin de producir el insumo fundamental para la formulación y ajuste de los proyectos educativos institucionales y buscando definir la base esencial de la generación de altos niveles de calidad educativa, a comienzos del año 2002, emergió en el escenario de la educación colombiana lo que hoy conocemos como estándares básicos de competencias. A partir de la definición de las competencias interpretativas, argumentativas y propositivas por parte del ICFES y de los bajos resultados en las aplicaciones censales del proyecto de evaluación de competencias propositivas, resulta complejo suponer la eficacia de las pruebas que evalúan la competencia propositiva para quienes desarrollan procesos de enseñanza y aprendizaje de tipo constructivista, ya que desde esta perspectiva las interpretaciones no emergen de la simple lectura de textos, sino que se generan como construcciones o reconstrucciones del conocimiento a través de la participación activa de los aprendices.

En cuanto a los estándares básicos, un referente próximo son los *Profesional standards for teaching mathematics* de 1991 y los *Asseeement standards for mathematics* de 1995, propuestos por el *National Council of Teachers of Mathematics* (NCTM) en Virginia, Estados Unidos. Para el NCTM un estándar es "*una proposición que puede ser utilizada para juzgar la calidad de un currículo de matemáticas o de unos métodos de evaluación*". En la actualidad, el Ministerio de Educación Nacional continúa desarrollando la propuesta de definir estándares nacionales para lengua castellana, matemáticas y ciencias, aplicando evaluaciones por medio de pruebas censales o por muestreo en los grados quinto y noveno, y por medio de los exámenes de Estado (prueba saber 11°) en grado undécimo.

[4] La evaluación por competencias representaba la estimación de un "*saber-hacer flexible*". En particular, una competencia puede ser definida como *"un tipo de aprendizaje caracterizado por la forma en que cualquier persona logra combinar sus múltiples recursos personales (saberes, actitudes, valores, emociones, etc.*" (Moya, 2011) para lograr una respuesta satisfactoria a una tarea planteada en un contexto definido, por la diversidad de tareas y de contextos, el saber-hacer flexible se corresponde con la posible actualización de la competencia de acuerdo a los diversos contextos.

Los estándares o criterios básicos están concebidos en Colombia como la herramienta que facilita el traslado de estudiantes entre instituciones educativas de todo el país, sin que se generen mayores traumatismos. Para su estructuración fueron necesarios los lineamientos curriculares que, para el caso de ciencias naturales, se publicaron en 1998; sin embargo, son los *estándares básicos de competencias* los que están en vigencia y que constantemente son mencionados en el plan decenal de educación (2006-2015) como herramienta fundamental a tener en cuenta para la enseñanza de las diferentes áreas. Por lo tanto, en el presente trabajo, dichos estándares básicos son los que se tendrán en cuenta.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Profundizar en el análisis del concepto de gravedad desde lo expuesto por Newton y Einstein para diseñar una unidad didáctica dirigida a los estudiantes de ciclo V del Colegio Nueva Delhi.

2.2. Objetivos específicos

- Estudiar el concepto de gravedad desde los planteamientos teóricos tanto de Newton como de Einstein, analizando textos científicos y didácticos.
- Revisar textos y artículos científicos que permitan profundizar sobre el concepto de gravedad desde las perspectivas históricas y epistemológicas.
- Revisar investigaciones didácticas relacionadas con el enfoque constructivista en la enseñanza de la física.
- Implementar y sistematizar la unidad didáctica a estudiantes de décimo grado del colegio Nueva Delhi.

3. Referentes conceptuales

3.1. Aspectos históricos y epistemológicos del concepto de gravedad

3.1.1. El movimiento según Aristóteles

Aristóteles (384-322 A.C.), filósofo, científico y educador griego, dividió el movimiento en dos clases: el movimiento natural y el movimiento violento. Aristóteles aseguraba que el movimiento natural surge a partir de la "naturaleza" de un objeto, dependiendo de qué combinación tenía de los cuatro elementos que conformaba al objeto (tierra, agua, aire y/o fuego). Consideraba que todo objeto en el universo tiene un lugar propio determinado por esa "naturaleza", y cualquier objeto que no está en su lugar propio "se esforzará" por alcanzarlo (Hewitt, 1998). Por lo que, en correspondencia con Aristóteles, al estar en la Tierra, un terrón de arcilla no soportado cae al suelo; al estar en el aire, una bocanada de humo se elevaría; como una mezcla de tierra y aire, pero principalmente de tierra, una pluma cae al suelo, pero no con tanta rapidez como un terrón de arcilla. Además, Aristóteles afirmaba que los cuerpos debían caer a rapideces proporcionales a sus pesos, por tanto, entre más pesado sea un objeto, más rápido deberá caer.

El movimiento natural podía ser directo hacia arriba o directo hacia abajo, como en el caso de todas las cosas sobre la Tierra o podía ser circular, como en el caso de los objetos celestes. A diferencia del movimiento hacia arriba o hacia abajo, el movimiento circular no tiene principio ni fin, y se repite sin desviarse. Aristóteles creía que en los cielos rigen reglas distintas, y aseguró que los cuerpos celestes son esferas perfectas hechas de una sustancia perfecta e inmutable, a la cual llamó quintaesencia.

El movimiento violento, el otro movimiento descrito por Aristóteles, se debía a fuerzas de empuje o tracción. En otras palabras, podríamos decir que es un movimiento inducido e impuesto por algo o por alguien. Por ejemplo, una persona que empuja un carrito o levanta

un peso da movimiento, de la misma manera cuando se levanta una piedra. El viento impone movimiento a los veleros. El agua le da movimiento a las rocas, etcétera. En conclusión, dicho movimiento surge por factores externos y se imparte en los objetos, por lo tanto, es un movimiento opuesto al natural.

3.1.2. Claudio Ptolomeo y su modelo del universo

El primer intento serio de explicar los movimientos de los planetas lo realizó Claudio Ptolomeo (siglo II d.C.), quien diseñó un modelo del sistema solar donde los planetas, entre estos el Sol y la Luna, giraban alrededor de la Tierra. Sin embargo, no resultó tan fácil para Ptolomeo explicar las órbitas de los planetas, por lo que tuvo que introducir epiciclos (ver figura 3.1), lo que significó incluir un sistema de círculos en el que un planeta se mueve alrededor de un círculo pequeño cuyo centro lo hace alrededor de otro círculo pequeño cuyo centro lo hace alrededor de otro círculo más grande centrado en la Tierra.

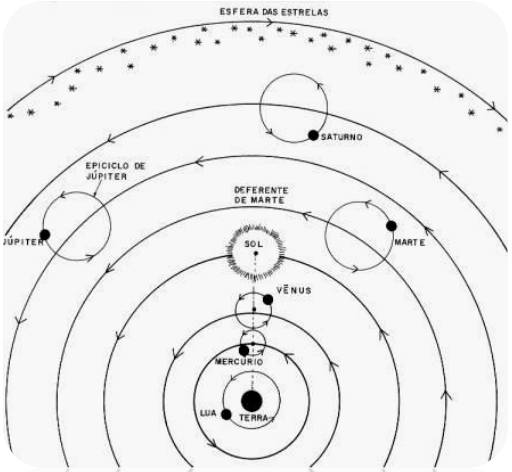


Figura 3.1

3.1.3. Nicolás Copérnico y la Tierra en movimiento

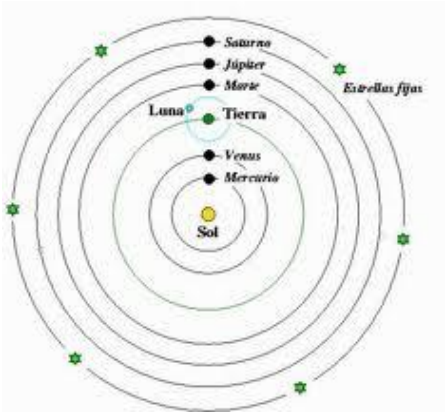


Figura 3.2

Nicolás Copérnico (1473-1543), astrónomo polaco, formuló su teoría sobre el movimiento de la Tierra basado en las ideas ya propuestas por el astrónomo griego Aristarco de Samos (siglo III a.C). Copérnico planteó que el Sol se encuentra en el centro del universo, de tal manera que la Tierra y los demás planetas describen círculos alrededor del Sol (ver figura 3.2) por lo que llegó a contradecir las ideas aristotélicas del movimiento. El esquema aristotélico de movimiento "natural" hacia la Tierra o hacia los cielos descansaba firmemente sobre la suposición de que la Tierra era el centro fijo del universo (Hawking, 1988). Los opositores de Copérnico no disfrutaban de la idea de revertir un tratado que había durado casi 2000 años, y más aún cuando no existía un reemplazo razonable para el esquema de Aristóteles.

3.1.4. Galileo Galilei y la caída de los cuerpos

Galileo Galilei (1564-1642), fue uno de los principales científicos a principio del siglo XVII, quien dio crédito a la idea de Copérnico de una Tierra en movimiento y lo hizo desestimando las ideas que hasta entonces prevalecían, ya que por medio de sus observaciones, experimentos físicos y razonamientos lógicos, logró refutar lo expuesto por Aristóteles y comprobar lo dicho por Copérnico.

A partir de los experimentos realizados por Galileo se fue demoliendo la hipótesis de Aristóteles acerca de la caída de los cuerpos, puesto que Galileo dejó caer objetos de varios pesos desde lo más alto de la Torre Inclinada de Pisa, y luego comparó las caídas. Encontró que un cuerpo A con el doble del peso de otro cuerpo B no caía con rapidez doble (ver figura 3.3). A excepción del pequeño efecto del aire, encontró que los objetos de distinto peso, cuando se sueltan al mismo tiempo, llegan al suelo en el mismo momento (Hernández, 2004).

Figura 3.3

3.1.5. Johannes Kepler y el movimiento planetario

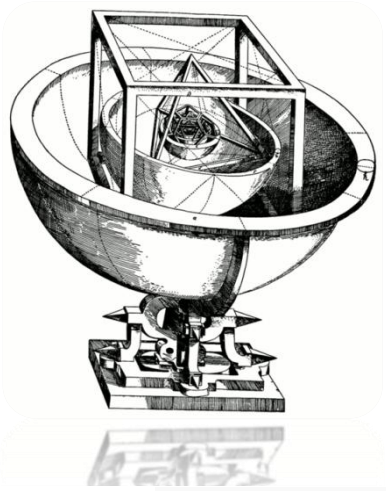


Figura 3.4 Modelo platónico del Sistema Solar en un principio presentado por Kepler

Johannes Kepler (1571-1630) matemático y astrónomo alemán en un principio consideró que el movimiento de los planetas debía cumplir las leyes pitagóricas de la armonía. Esta teoría es conocida como la música o la armonía de las esferas celestes (ver figura 3.4). De esta manera, y siendo un firme partidario del modelo copernicano, intentó demostrar que las distancias de los planetas al Sol venían dadas por esferas en el interior de poliedros perfectos, anidadas sucesivamente unas en el interior de otras. Pero, sobre 1600 acepta la propuesta del astrónomo Tycho Brahe quien dirigía, en ese entonces, el mejor centro de observación astronómica y que por lo tanto pudo concertar datos observacionales mucho más

precisos que los manejados por Copérnico. A la vista de tales datos Kepler se dio cuenta de que el movimiento de los planetas no podía ser explicado por su modelo de poliedros perfectos y armonía de esferas. Entonces, dirigió su mirada hacia las elipses como una posibilidad de explicar el movimiento planetario. Lo que lo llevó a su estudio y finalmente a formular sus tres famosas leyes, descritas a continuación:

- **Primera ley de Kepler (1609)**

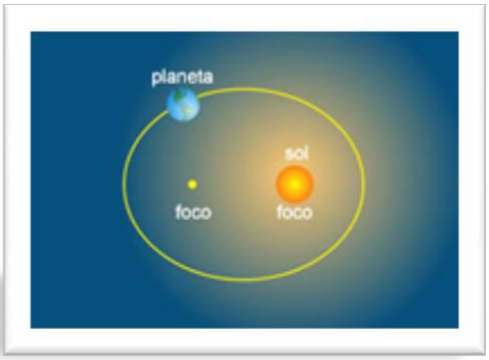


Figura 3.6

Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas con el Sol situado en uno de los focos (ver figura 3.6). Kepler dedujo esta ley cuando intentaba analizar los datos de Tycho Brahe a la teoría heliocéntrica con base en circunferencias; sin embargo, encontró una desviación de ± 8' lo que le dio a entender que las trayectorias seguidas por los planetas no necesariamente debían seguir circunferencias sino elipses.

Por lo tanto, si consideramos f y f' como los puntos en los que se encuentran ubicados los focos, se puede decir que para cualquier punto *P* de la elipse, se cumple que:

$$fP + f'P = constante.$$

Se puede demostrar, utilizando coordenadas polares, que la distancia entre uno de los focos y cualquier punto de la elipse se puede expresar como:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\,cos\theta}, \tag{3.1}$$

donde θ es el ángulo (también llamado anomalía verdadera) existente entre la distancia al pericentro (punto de mayor acercamiento entre los dos cuerpos) y la línea Sol-planeta contado en la dirección contraria de las agujas del reloj; a es el semieje mayor y e es la excentricidad de la órbita que es, la razón CF/a (ver figura 3.7). La distancia r se llama radio vector (ver figura 3.8). El punto de mayor alejamiento entre los dos cuerpos se llama apocentro (Portilla, 2001).

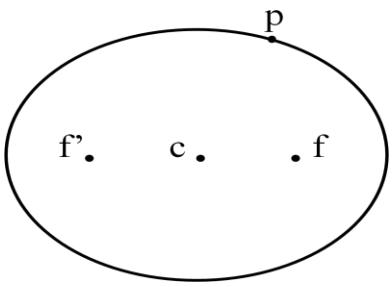


Figura 3.7

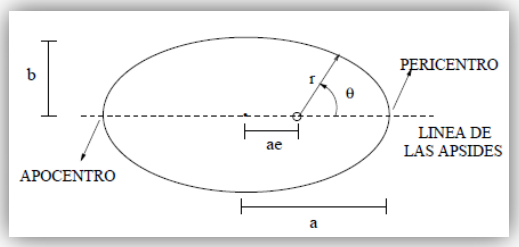


Figura 3.8 Anomalía verdadera y radio vector

De aquí que:

$$\text{Pericentro} \quad \theta = 0° \qquad q = a(1-e),$$
$$\text{Apocentro} \quad \theta = 180° \qquad Q = a(1+e),$$

donde q y Q son la distancia al pericentro y al apocentro, respectivamente.

Segunda ley de Kepler (1609)

El vector posición de un planeta con origen en el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

Lo anterior quiere decir que el área barrida por el radio vector (distancia Sol-planeta) es directamente proporcional al tiempo. Esta ley, conocida también como ley de las áreas, es equivalente a la constancia del momento angular, es decir, cuando el planeta está más lejos del Sol (afelio) su velocidad es menor que cuando está más cercano al Sol (perihelio).

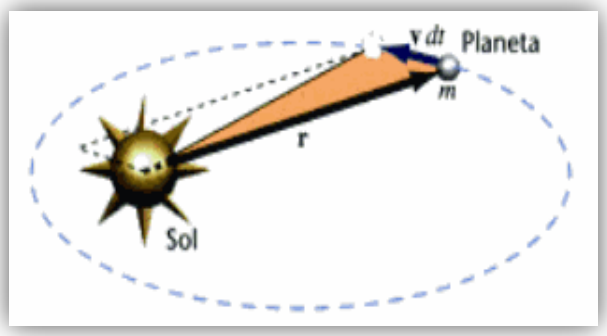


Figura 3.9 Muestra un planeta que se mueve en una órbita elíptica alrededor del Sol. En el tiempo *dt* se desplaza una distancia *v dt* y el radio vector barre el área indicada en la figura.

Matemáticamente, la segunda ley de Kepler es:

$$\frac{dA}{dt} = k, \qquad k \; es \; una \; constante$$

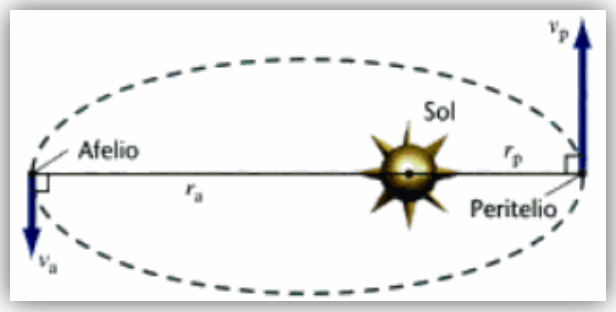


Figura 3.10 Se muestra que tanto en el perihelio como en el afelio el ángulo es igual a 90º, por lo que $\boldsymbol{r_a v_a = r_p v_p}$.

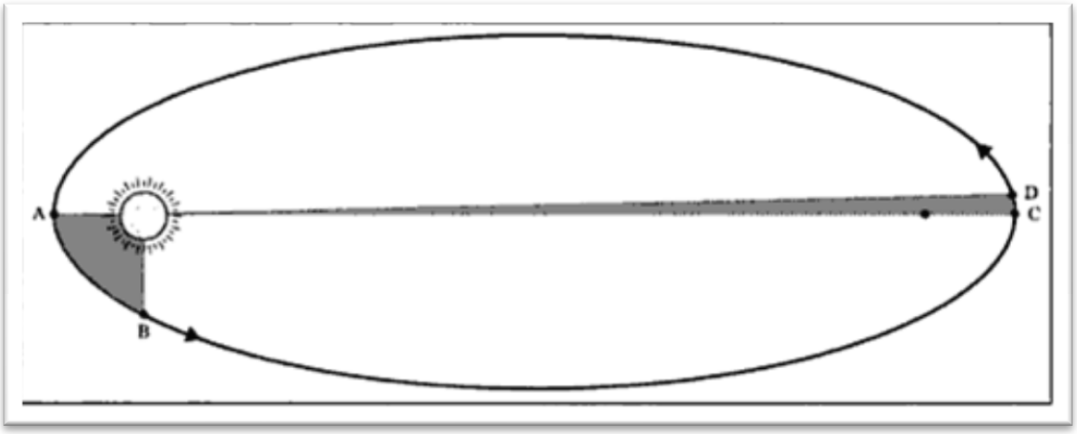


Figura 3.11: Si el planeta ha invertido el mismo tiempo en ir desde A hasta B que en pasar de C a D, entonces el área barrida por el radio vector que une el planeta con el Sol es la misma en ambos casos.

- **Tercera ley de Kepler (1619)**

El cociente entre los cubos de los semiejes mayores de las órbitas de dos planetas es igual al cociente de los cuadrados de sus periodos orbitales.

$$\frac{a^3}{a'^3} = \frac{T^2}{T'^2}. \tag{3.2}$$

Por lo que se puede deducir que, si a, a' son los semiejes de dos planetas y T, T' sus respectivos periodos, entonces:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2} \tag{3.3}$$

Es decir, que el cociente $\frac{a^3}{T^2}$ es una constante independiente del planeta que se considere.

Posteriormente Newton demostró que la constante puede expresarse como una combinación de la constante de la gravitación universal G, la masa solar M_s y constantes numéricas (Martínez, 2005), siempre y cuando la masa de los planetas fuesen muy pequeños con relación a la masa del Sol.

3.1.6. Isaac Newton y sus leyes del movimiento

Isaac Newton (1643-1727) físico, filósofo, teólogo y matemático inglés, aportó en el desarrollo de la física y, más específicamente de la mecánica clásica, basándose en las

leyes planteadas por Kepler sobre el movimiento de los planetas como también de los descubrimientos de Galileo con sus observaciones astronómicas, el principio de inercia y de la ley que rige la caída de los cuerpos.

Entre 1685 y 1687 Newton publicó su obra cumbre: *Philosophiae naturalis principia mathematica* en la que establece las leyes que llevan su nombre y formula la ley de gravitación universal: "*dos cuerpos cualesquiera se atraen a razón directa del producto de sus masas y en razón inversa del cuadrado de la distancia que los separa"* (Dóriga, 1985). Con esta ley, Newton consigue explicar las leyes de Kepler, el movimiento de los astros, la caída de los cuerpos sobre superficie terrestre y las mareas. Además, Newton logra fundamentar su construcción en cuatro magnitudes físicas y algunos principios elementales: de las magnitudes, tres son fundamentales: el espacio (s), el tiempo (t) y la masa (m). La cuarta magnitud, derivada, es el impulso o la cantidad de movimiento, que es definido por Newton como el producto de la masa por la velocidad (mv) (Dóriga, 1985).

Los cuatro principios básicos son:

- *El de la inercia*: Un cuerpo, sobre el que no actúa ninguna fuerza exterior, conserva el estado de reposo o movimiento uniforme en que se encuentra.
- *El de proporcionalidad entre fuerza y aceleración*: la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es igual al producto de su masa por su aceleración ($f = ma$, donde f es la fuerza, m la masa y a la aceleración).
- *El de acción y reacción*: siempre que dos cuerpos interaccionan, la fuerza que ejerce el primero sobre el segundo es igual y contraria a la que ejerce el segundo sobre el primero.
- *El de la conservación del impulso*: en ausencia de fuerzas externas, la suma de los impulsos de dos cuerpos permanece constante.

Con estos principios, quizás simples en alguna medida, Newton consiguió dar una visión coherente y, en su momento, unificada no sólo de los fenómenos mecánicos que se evidencian en la Tierra sino también de los movimientos de los astros.

A continuación se mostrará, de forma simplificada, cómo Newton llegó a formular la ley de gravitación universal. Para tal efecto, seguiremos el desarrollo expuesto por Dóriga(1985).

Primer paso

Por la ley de la inercia sabemos que si sobre la Luna no actuara ninguna fuerza exterior, ésta poseería un movimiento uniforme. Sin embargo, si suponemos que sigue un

movimiento “circular” en torno a la Tierra, tiene que haber una fuerza dirigida hacia ella. Consideremos, v la velocidad de la Luna, r su distancia a la Tierra, T el tiempo que tarda en completar una vuelta en torno a la Tierra y a la aceleración centrípeta, dirigida hacia la misma Tierra. Tenemos que:

$$a = \frac{v^2}{r}\,, \tag{3.4}$$

y como

$$v = \frac{2\pi r}{T}\,, \tag{3.5}$$

resulta:

$$a = \frac{\frac{4\pi^2 r^2}{T^2}}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}\,. \tag{3.6}$$

Como $r = 384400\ Km,\ T = 27.3\ días$, obtenemos:

$$a = \frac{4\pi^2 x\ 384\ 400\ 000\ m}{(27.3\ x\ 86400\ s)^2} = 2.72\ x\,\frac{10^{-3}\ m}{s^2}, \tag{3.7}$$

valor que representa la aceleración de la Luna en su movimiento alrededor de la Tierra.

Segundo paso

Desde Galileo ya se sabía que la aceleración con la que los cuerpos caen cerca de la superficie de la Tierra es de $g = 9.8\ m/s^2$. También se conocía la distancia desde la superficie hasta el centro de la Tierra: $r = 6378\ Km$. Newton cayó en cuenta de que ambas aceleraciones debían ser del mismo tipo, puesto que ambas estaban dirigidas hacia la Tierra; y de que la razón entre los cuadrados de las distancias respectivas es la misma aproximadamente, por lo que:

$$\frac{9.8\ m/s^2}{2.72\ x\ 10^{-3}\ m/s^2} = 3602; \qquad \frac{384400^2}{6378^2} = 3632\,.$$

Newton supuso que se trataba de una verdadera igualdad (la diferencia se debería a errores de medición) y en consecuencia estableció en forma general:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \therefore \quad a_1 r_1^2 = a_2 r_2^2\,. \tag{3.8}$$

Lo que significa que las aceleraciones están en relación inversa al cuadrado de sus distancias. Y por el principio de la proporcionalidad entre fuerza y aceleración, las fuerzas han de guardar esa misma relación.

Tercer paso

Newton, basándose en la primera ley de Kepler, aplica ahora el mismo razonamiento al Sol y a un planeta cualquiera. Por lo que si suponemos que las órbitas son circulares, tenemos;

$$f_s = m_p a = m_p \frac{v^2}{r} = m_p \frac{4\pi^2 r}{T^2}, \tag{3.9}$$

donde, f_s es la fuerza ejercida por el Sol; m_p es la masa del planeta.

Como por la tercera ley de Kepler sabemos que $\frac{r^3}{T^2} = k$ (constante), podemos sustituir $T^2 = \frac{r^3}{k}$ en la ecuación (3.9), por lo tanto:

$$f_s = m_p \frac{4\pi^2 k}{r^2}. \tag{3.10}$$

Expresión que nos muestra que la fuerza centrípeta es directamente proporcional a la masa del planeta e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia al Sol.

Cuarto paso

Newton intuyó que la ley de atracción según la inversa del cuadrado de la distancia era una propiedad aplicable a cualquier masa, de tal manera que cada masa tiene un factor $4\pi^2 k$, que determina su capacidad de atraer a otras masas. Por lo tanto, se tendría que considerar: $4\pi^2 k_s$ para el Sol, $4\pi^2 k_T$ para la Tierra, $4\pi^2 k_m$ para cualquier masa. En otras palabras, $4\pi^2 k$, es proporcional a la masa m; entonces $4\pi^2 k_s = G m_s$, $4\pi^2 k_T = G m_T$ y en general $4\pi^2 k = G m$.

Quinto paso

De acuerdo con lo anterior, la fuerza $f_1$que ejerce una masa $m_1$sobre otra masa $m_2$será:

$$f_1 = 4\pi^2 k_1 \frac{m_2}{r^2} = G m_1 \frac{m_2}{r^2}, \tag{3.11}$$

y la que ejerce m_2 sobre m_1 será:

$$f_2 = 4\pi^2 k_2 \frac{m_1}{r^2} = G m_2 \frac{m_1}{r^2}. \tag{3.12}$$

En conclusión:

$f_1 = f_2$, lo cual está de acuerdo con la tercera ley de Newton que en principio es la ley de acción y reacción.

Sexto paso

Generalización de la ley general de gravitación universal. De acuerdo con lo que se acaba de ver:

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2}. \tag{3.13}$$

La aplicación de esta relación matemática exige conocer el valor de G. Como las fuerzas gravitacionales son relativamente débiles, no fue fácil para Newton su determinación; sin embargo, él lo intentó midiendo la fuerza con que la Tierra y un cuerpo de masa conocida se atraen. Para esto calculó la masa de la Tierra a partir de su volumen (ya conocido en aquel entonces) y de su densidad, fijada hipotéticamente por el mismo Newton, pero los resultados no fueron satisfactorios.

En 1774 el astrónomo inglés Nevil Maskelyne intentó calcular el valor de G midiendo la desviación de la plomada junto al monte Schiehallion, en Escocia, sin obtener tampoco un resultado confiable. Finalmente, Henry Cavendish obtuvo en 1798 un resultado aceptable, sirviéndose de un método basado en el equilibrio de torsión, a partir de la desviación que dos masas de plomo provocaban en una balanza de torsión (ver apéndice 1). Así obtuvo experimentalmente que:

$$G = 6.67\ x\ 10^{-11}\ N\ \frac{m^2}{Kg^2},$$

que es el valor aceptado hoy en día para la constante de la gravitación universal.

3.1.7. Albert Einstein y el origen de la Relatividad General

Albert Einstein (1879-1955) fue un físico alemán que en su tiempo se convirtió en una figura pública de bastante reconocimiento por su teoría de la relatividad especial y más aún por sus descubrimientos relacionados con el efecto fotoeléctrico, ya que fue este estudio el que lo llevó a ganarse el Premio Nobel de Física en 1921. Sin embargo, estos no fueron los únicos avances en los que este personaje aportó a la ciencia, pues también logró construir lo que se conoce como la teoría general de la relatividad. De aquí que se diga que Einstein

partió de las observaciones hechas por Galileo en cuanto a que “la aceleración inducida por la gravedad en un objeto es independiente del tamaño y de su constitución” (Sklar, 1992), lo cual era algo que iba en contradicción con Aristóteles. Sin embargo, podríamos decir que Einstein parte de dos principios newtonianos: el de la inercia y el de la proporcionalidad entre fuerza y aceleración; puesto que de los razonamientos que él realizó, pudo definir que esa proporcionalidad entre fuerza y aceleración, establecida por Newton en la relación $f=ma$ (donde f es la fuerza, m la masa del cuerpo y a la aceleración), no se cumple en la caída libre de los cuerpos, pues cuando caen los cuerpos se produce una aceleración constante resultado del aumento de la velocidad, por lo que no se tendría un aumento en la fuerza. Una situación propuesta es la siguiente: Sea un ascensor aislado del exterior, que sube con un movimiento uniformemente acelerado. Si suponemos que no existe gravedad, los ocupantes del ascensor sentirán, del mismo modo, en virtud de su inercia, la misma presión de sus pies contra el suelo del ascensor que si el ascensor estuviera quieto dentro de un campo gravitacional (Dóriga, 1985). Por lo anterior, si pudiéramos recrear la situación podríamos concluir que, si no supiéramos de las condiciones a las que nos someteríamos, seríamos ignorantes respecto a si nos encontramos en un campo gravitacional o en movimiento acelerado. Así llega Einstein a establecer el principio de equivalencia entre la gravedad y la inercia.

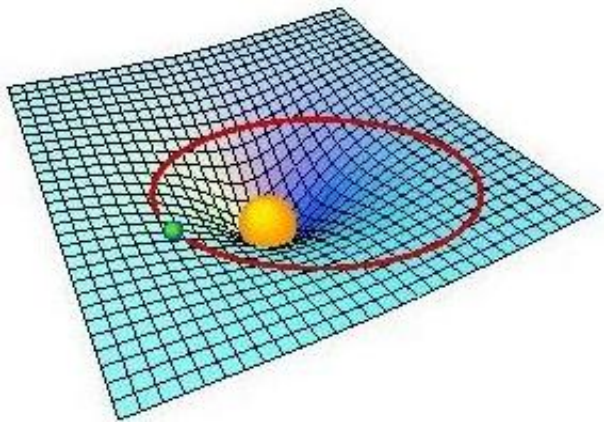


Figura 3.12 Curvatura del espacio-tiempo.

En 1916 se dio un cambio importante en las ciencias físicas gracias a Albert Einstein, quien reconsideró algunos conceptos que fueron trabajados y tratados por otros científicos anteriores a él. Un ejemplo de esto es la forma en que es considerada la gravedad en términos geométricos, algo completamente diferente a lo planteado por Newton, quien consideraba la gravedad como una fuerza. Sin embargo, esta geometría, llamada no euclidiana, no es la misma que se enseña a nivel escolar, pues una parte de todo su estudio consiste en analizar las propiedades del espacio de dos o tres dimensiones. Pero de lo que se trata aquí es de estudiar la curvatura del ente denominado espacio-tiempo, tal y como lo nombró Einstein, estudio de mayor complejidad porque implica considerar espacios con más de tres dimensiones. De aquí que, con esta nueva geometría, la menor distancia entre dos puntos sea una geodésica y no una recta como se denominaba en la geometría plana. En este sentido, podríamos decir que la materia que conforma al Sol genera una curvatura del espacio tiempo (un campo que se extiende en principio hasta el infinito) que obliga a los cuerpos a su alrededor a describir trayectorias geodésicas (Portilla, 2001). Los planetas no son atraídos por el Sol debido a una fuerza de atracción sino que, al estar cerca del

campo gravitacional del Sol, esto es, un sector del espacio–tiempo fuertemente curvado, se ven obligados a desplazarse a través de una trayectoria geodésica cuasi-cerrada (ver figura 3.12).

En la figura 3.12 se muestra gráficamente la forma en que la materia le dice al espacio cómo curvarse, y el espacio curvado le dice a la materia cómo moverse. Si bien es cierto que la Teoría de la Relatividad General es ahora utilizada para explicar el movimiento de los planetas dentro del sistema solar, recientes observaciones realizadas con sondas interplanetarias muestran que existe una pequeña aceleración de estas naves hacia el Sol que no es posible explicar en términos de la relatividad. A esta observación, inexplicable hasta ahora, se le denomina "*Anomalía Pionero*" (Portilla, 2009).

3.1.7.1 Comprobaciones de la Relatividad General

3.1.7.1.1 El avance del perihelio de Mercurio

Considérese un sistema solar simple, como el que se muestra en la figura 3.13, que consiste en una sola estrella masiva como es el Sol y un solo planeta en órbita alrededor de ésta.

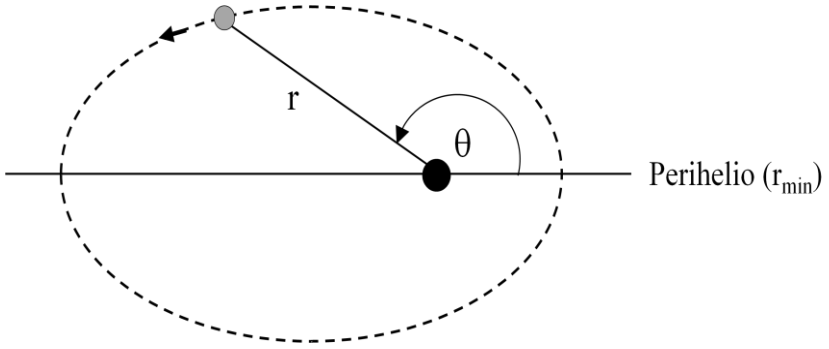


Figura 3.13

De acuerdo con la gravitación newtoniana, la órbita es una elipse perfecta con el Sol en uno de los focos, por lo que la ecuación de la elipse es:

$$r = r_{min}\,\frac{1+e}{1+Cos\,\theta}, \tag{3.14}$$

donde r_{min} es la distancia mínima entre el planeta y la estrella y e es la excentricidad de la órbita. Cuando $r = r_{min}$, se dice que el planeta está en el pericentro; esto ocurre con regularidad en el mismo punto del espacio exactamente, siempre que $\theta = 0, 2\pi, 4\pi$. De

acuerdo con la relatividad general, la órbita no es una elipse completamente cerrada; el efecto del espacio curvo cerca de la estrella causa que la dirección del perihelio preceda una pequeña cantidad como se muestra en las figuras 3.14 y 3.15.

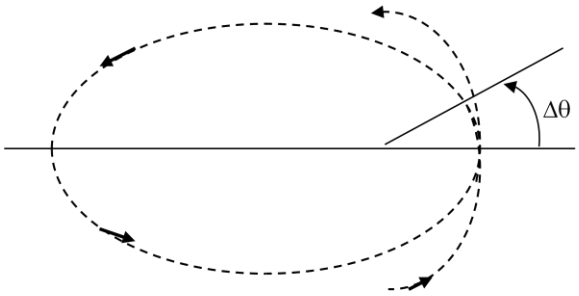


Figura 3.14

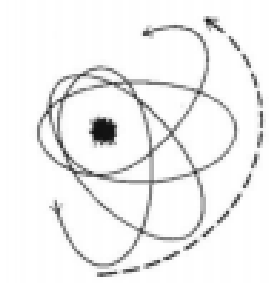


Figura 3.15

Después de completar una órbita, el planeta regresa a r_{min}, pero con un θ ligeramente diferente. La diferencia $\Delta\theta$ se puede calcular de la relatividad general, de acuerdo con la cual la órbita es:

$$r = r_{min}\,\frac{1+e}{1+e\,cos(\theta-\Delta\theta)}\,, \tag{3.15}$$

donde

$$\Delta\theta = \frac{6\,\pi\,G\,M}{c^2 r_{min}(1+e)}\,. \tag{3.16}$$

Para el Sol tendríamos que $6\pi GM/c^2 = 27.80\ Km$; así, hasta para el valor más pequeño de r_{min} (para Mercurio $46\,x\,10^6\ Km$) $\Delta\theta$ es del orden de $10^{-6}\,rad$, una cantidad extremadamente pequeña, pero ya medible a mediados del siglo XIX. Sin embargo, este efecto es acumulativo, ya que se va sumando en cada órbita, y después de N órbitas, el perihelio ha avanzado $N\Delta\theta$. Generalmente esta precesión se expresa en términos de la precesión total por siglo.

Los valores correspondientes a Mercurio y la Tierra son respectivamente $43.0''$ y $3.8''$, mientras que las observaciones astronómicas dan $43{,}1 \pm 0''$, 4 y $5{,}0'' \pm 1.2''$, lo que supone una corroboración excelente de la teoría (Rivadulla, 2003).

3.1.7.1.2 La desviación de la luz por el Sol

"Los rayos de luz en el seno de campos gravitatorios se propagan en general según líneas curvas…Aun cuando una reflexión detenida demuestra que la curvatura que predice la teoría de la relatividad general para los rayos luminosos es ínfima en el caso de los campos gravitatorios que nos brinda la experiencia, tiene que ascender a 1,7 segundos de arco para rayos de luz que pasan por las inmediaciones del Sol. Este efecto debería traducirse en el hecho de que las estrellas fijas situadas en las cercanías del Sol, y que son observables durante eclipses solares totales, aparezcan alejadas de él en esa cantidad, comparando con la posición que ocupan para nosotros en el cielo cuando el Sol se halla en otro lugar de la bóveda celeste. La comprobación de la verdad o falsedad de este resultado es una tarea de la máxima importancia, cuya solución es de esperar que nos la den muy pronto los astrónomos" (Einstein, 1916).

La teoría general de la relatividad, dentro de su planteamiento, muestra que, cuando un rayo de luz pasa a una distancia r del centro del Sol, sufre una desviación angular igual a:

$$\Delta\theta = \frac{4\,G\,m_s}{c^2 r}. \tag{3.17}$$

El británico Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) observó en mayo de 1919 una estrella aparentemente situada en las proximidades del limbo solar. Al cabo de seis meses, se constató una deflexión, que posteriormente se ha medido también para muchas estrellas más, obteniéndose un valor medio de $1{,}72''$. El valor calculado mediante la teoría general de la relatividad es de $1{,}75''$. (Landau, 1992). Es de aclarar que con la teoría de Newton se predice que un rayo de luz se desvía de su trayectoria si pasa también por el borde del disco solar. Sin embargo, el valor calculado en la teoría de Newton es exactamente la mitad del valor calculado con la teoría de Einstein.

3.1.7.1.3 La prueba de Shapiro

Trata del retraso que experimenta la radiación cuando pasa por las proximidades de un objeto masivo. En 1916 Shapiro observó (Rivadulla, 2003) que cuando las señales de radar se reflejan en un planeta, el tiempo que tarda la señal en ir y volver, es mayor cuando pasa próxima al Sol, que cuando está lejos de él. A este fenómeno se le conoce como *retraso temporal de Shapiro*. Su explicación requiere la utilización de la Teoría de la Relatividad General.

3.1.7.1.4 El pulsar binario[5] PSR 1913+16

En 1974 se habían observado alrededor de 100 púlsares, estrellas de neutrones que emiten radiación de forma periódica. En este mismo año el 2 de Julio Russell Hulse detectó un pulsar cuyo periodo entre esta fecha y septiembre había venido dando valores diferentes cada vez que se medía. En ese momento la interpretación estuvo dirigida a que se debía a su posible pertenencia a un sistema binario, de forma que el periodo disminuiría al acercarse al observador y aumentaría al alejarse de él. De tal manera que Hulse y Taylor, su maestro, se dieron en la tarea de buscar la forma elíptica y el periodo de la órbita, así como que la separación de los objetos. Encontraron que la distancia entre los cuerpos era de 700.000 Km y que las masas de ambos objetos deberían ser 1,44 masas solares y 1,38 masas solares.

El compañero del púlsar fue considerado una estrella de neutrones cuyo eje no interceptaba la dirección de observación, por lo que no podía ser observado. Aplicada a la teoría general de la relatividad se obtuvieron masas correctas. A lo largo de 7 años de observaciones encontraron que la energía cinética de rotación disminuía con el tiempo, lo que interpretaron en el marco de la teoría general de la relatividad como que se estaba produciendo emisión de ondas gravitacionales. En 1993 se les concedió el Premio Nobel por este descubrimiento.

3.2. El espacio-tiempo curvo

En la sección anterior se mencionó que en 1915 Albert Einstein desarrolló la teoría general de la relatividad, también llamada teoría del espacio-tiempo. Esta teoría nos dice que *la presencia de cuerpos, representados por sus masas, altera la geometría del espacio-tiempo a su alrededor*. Por lo tanto, esta sesión mostrará el estudio del espacio-tiempo considerando el desarrollo de la geometría en el mundo físico, lo que implica usar líneas concretas. En el mundo concreto éstas son líneas físicas, realizables por medio de experimentos, no líneas matemáticas, ideales.

[5] Un púlsar binario es un púlsar con un compañero estelar, que a menudo es otro pulsar, una enana blanca o una estrella de neutrones. Estos sistemas estelares son de especial interés para los astrofísicos, puesto que reúnen las condiciones ideales para poner a prueba la relatividad general en campos gravitatorios fuertes.

3.2.1.1. La Curvatura del espacio físico

La gran mayoría de personas pensamos que la luz se propaga en línea recta. Sin embargo, no hay otro elemento que la luz para definir una línea recta física, puesto que "las rectas" seguidas por sus rayos pueden ser curvas. En el mundo físico las líneas más rectas son aquellas de menor distancia entre dos puntos, que en el espacio físico pueden ser curvas. Por lo tanto, esto nos informa sobre la condición geométrica del espacio, el espacio mismo es curvo: tiene una curvatura intrínseca, que causa que las líneas más cortas entre dos puntos, aquellas "más rectas", sean en realidad curvas. De aquí que Einstein pronunciara que las trayectorias de la luz pueden seguir líneas curvas y no caminos rectos (Quintana, 2002). Cuando la luz pasa cerca de un cuerpo con mucha masa que altera la geometría del espacio a su alrededor, la luz sigue el camino más recto posible, el que resulta ser más o menos curvo, dependiendo qué tanto el cuerpo curva el espacio.

La experiencia citada en la sesión 3.1.7.1.2 sobre la observación del eclipse y los datos encontrados por Eddington es crucial porque muestra que las únicas "rectas físicas" utilizables pueden ser, en realidad, curvas. Sin embargo, ¿cómo saber que una línea es curva? En el experimento descrito, se puede constatar porque se comparan dos situaciones diferentes. Si no hay una comparación directa, sería más difícil hacerlo, aunque hay otros métodos, como se mostrará en la siguiente sesión.

3.2.1.2. Espacios planos y curvos

Se sabe que la geometría que se estudia en los colegios, por lo general, es de tipo plano, de dos dimensiones, y por lo tanto abstracta. Se muestra a los estudiantes teoremas como el de Pitágoras; o aquel que dice que dos rectas paralelas no se cortan sino hasta el infinito; o que la suma de los ángulos internos de un triángulo es de 180º, etcétera. Asimismo, se estudian esferas, cubos o pirámides, en este caso se tratan de plasmar las tres dimensiones. (Quintana, 2002). De aquí que los espacios más sencillos son los de una dimensión, sean líneas rectas y/o curvas (ver figura 3.16)

Figura 3.16: Líneas rectas o curvas (espacio en una dimensión), vistas dentro de un espacio plano de dos dimensiones (la hoja del papel)

Es intuitivo distinguir algo recto de algo curvo. Pero esta claridad surge del hecho que *observamos la línea desde fuera de ella y la vemos recta o curva* en el contexto de nuestra

percepción del espacio normal de tres dimensiones. Ahora, si observamos un círculo, su curvatura está directamente relacionada al radio (figura 3.17(a)). Un círculo de radio pequeño es más curvo que uno de mayor radio. Esto se ve si ambos son tangentes en un punto (figura 3.17 (b)): el círculo más pequeño está más curvado, es decir, que la curvatura de un círculo es proporcional al inverso del cuadrado del radio $1/r^2$. Se puede pensar que una recta es un círculo de radio infinito por lo que su curvatura, el inverso de infinito, es nula.

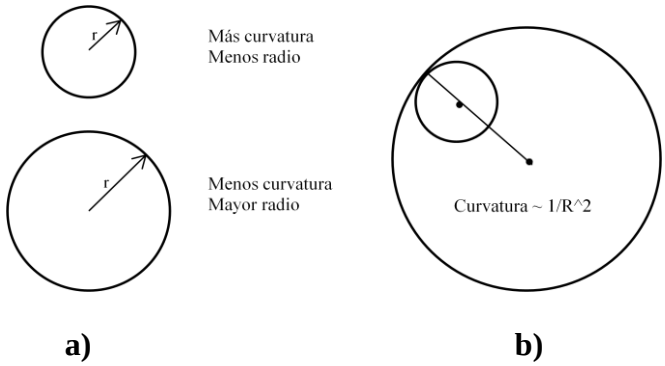


Figura 3.17: (a) Circunferencia: líneas de curvatura constante. **(b)** Una circunferencia de menor radio tiene más curvatura que una de mayor radio.

Un ejemplo de espacio curvo de dos dimensiones es la superficie de una esfera. Ésta está inmersa en el espacio plano de tres dimensiones normal. Por lo tanto, sólo su superficie constituye un espacio curvo bidimensional. Tiene curvatura constante: es la extensión a dos dimensiones de las propiedades de curvatura que el círculo tiene en una. Pero en ella, así como en los casos de tres y más dimensiones, no necesitamos salir de su superficie para saber que es curva y medir sus propiedades. Sin embargo, este ejemplo lo entendemos intuitivamente gracias a que lo podemos visualizar desde fuera de ella, porque vivimos en un espacio de tres dimensiones y la imaginamos inmersa en él. En cambio, el problema de la curvatura del espacio tridimensional, en torno nuestro, es que nosotros estamos adentro y no tenemos la capacidad de visualizar espacios de mayores dimensiones. La analogía con la superficie de la esfera la podemos sentir si imaginamos un mundo donde nosotros no tuviéramos espesor y viviéramos pegados a su superficie, sin capacidad de mirar hacia arriba o hacia abajo. En este mundo de dos dimensiones no hay cosas que salgan de la esfera, por lo tanto *las trayectorias de los rayos de luz sobre la superficie de la esfera son círculos mayores* (Quintana, 2002).

Entre dos puntos cualquiera sobre la superficie de una esfera se pueden trazar las líneas más cortas posibles, las que son segmentos de círculos mayores, los que contienen el centro de la esfera. En geometría se les da el nombre de ***geodésicas*** y son las líneas más rectas posibles. Según se ha descrito en los ejemplos, los rayos de luz las siguen.

Miremos la situación de la esfera desde nuestro entorno considerando la Tierra. Nuestro mundo es casi plano y de hecho es conveniente considerarlo así para fines prácticos, como la construcción de una casa, un partido de fútbol, etcétera. Sin embargo, nuestro mundo lo percibimos de tres dimensiones. Sólo cuando se tiene una perspectiva suficientemente amplia sobre la Tierra, como en una montaña muy alta o en un satélite, vemos el horizonte a lo lejos donde se puede discernir una ligera curvatura. Pero, localmente, en una perspectiva reducida, la percepción será de una Tierra siempre plana. De modo similar, *localmente, el espacio-tiempo también se nos aparece como plano.* Es así como lo percibimos; pero *sólo localmente, en pequeñas dimensiones con respecto a su tamaño total.* Es como mirar con lupa un pequeño segmento de una bola (ver figura 3.18). Si la lupa tiene suficiente aumento, la superficie parece plana. Un triángulo muy pequeño tiene ángulos que suman casi 180°.

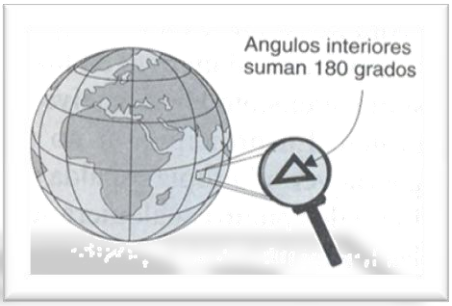


Figura 3.18: Localmente, en muy pequeñas escalas, un espacio curvo se aproxima a un plano.

3.2.1.3.Curvatura y materia

En el universo la curvatura del espacio depende de la distribución de las masas. Si tuviéramos la posibilidad de observar lo que existe más allá de lo que podemos percibir a simple vista como las estrellas mismas o las galaxias, podríamos ver que el universo tiene un espacio-tiempo que presenta cambios según la influencia de grandes masas, de tal forma que cerca de ellas van a ocurrir variaciones bruscas en la curvatura local del espacio-tiempo, dependiendo de las características de esas masas. En otros lugares sus propiedades serán constantes, la curvatura no tendrá variación. O, si sólo hay masas muy lejanas, la curvatura será pequeña (Novillo, 2010).

La teoría de la relatividad general incluye el efecto de la gravedad de las masas, cuya distribución determina la curvatura del espacio-tiempo. La relación entre geometría y distribución de masas está dada por las ecuaciones fundamentales de la relatividad general. Éstas, conocidas como las ecuaciones de Einstein, especifican cómo la distribución de masas determina la curvatura en cada punto, y a su vez, cómo la geometría determina el movimiento de las masas. Ambas cosas, geometría y movimiento de los cuerpos, deben satisfacer una relación de autoconsistencia punto a punto en todo el espacio-tiempo.

El concepto de distribución de masas envuelve las posiciones, magnitudes, distancias y movimientos de ellas. Por ejemplo, una estrella que tiene una gran masa, pero contenida en un pequeño volumen, genera en su vecindad una geometría distinta a aquella que tendría si su volumen fuera grande. La geometría cerca de la estrella puede ser radicalmente diferente en uno u otro caso. Por ejemplo, el Sol tiene una masa de $2x10^{30}\ Kg$ y un radio de $700.000\ Km$. Pero hay estrellas donde esa misma masa está contenida en una esfera de $10\ Km$ de radio. Un radio 70.000 veces menor, un volumen $(70.000)^3$ veces menor. Cerca de una estrella tan densa el espacio-tiempo tiene una curvatura enorme. Ahora, la Tierra, con una masa de $6x10^{24}\ Kg$ y un radio de $6.400\ Km$ induce en el espacio-tiempo una curvatura muy pequeña. Pero si, con su mismo tamaño, tuviera una masa similar al Sol generaría una curvatura importante. Si con su misma masa se disminuyera su radio, hasta quedar de algunos centímetros, la curvatura sería muy grande en el espacio cercano a su superficie, el que adquiriría propiedades muy extrañas (Novillo, 2010).

Cuando se considera al universo, en su inmensidad, las distancias son gigantescas y la cantidad de materia por unidad de volumen es bajísima, en comparación con un cuerpo como la Tierra. *A grandes escalas, es decir, escalas de millones de años-luz, el espacio es prácticamente plano.* Si se considera *la totalidad del universo, o sea, su geometría global,* ésta puede ser curva.

Como vimos en la sesión 3.16 en la teoría de la mecánica clásica la fuerza que una masa ejerce sobre otras en su vecindad, está expresada por la ley de gravitación universal de Newton. Esa fuerza está determinada por el producto de las masas de los cuerpos y es inversamente proporcional a la distancia entre ellas: $f = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$.

La constante G nos permite elegir o las unidades de las masas, o las unidades de fuerza. De acuerdo con la ecuación citada, si una de las masas tiene un valor unitario, por ejemplo un kilogramo o un gramo, y la paseamos en las vecindades de otra masa M, la fuerza de gravitación sobre la masa unitaria mide la acción de la gravedad de M en todo punto. Si ponemos allí otra masa cualquiera "m" la fuerza será "m" veces más fuerte o débil. En efecto, como cualquier fuerza es el producto de la masa sobre la que actúa por la aceleración que adquiere, $f = ma$, si $m = 1$, ella mide la aceleración a que cualquier cuerpo experimentaría en el mismo punto. Así, podemos pensar que alrededor de cada masa M hay un campo de aceleraciones gravitacionales $g = a$, efecto de la sola presencia de M. Luego, *la aceleración gravitacional g es proporcional a la masa central* M *e inversamente proporcional a la distancia,* a través de la constante de gravitación G:

$$g = G\,\frac{M}{r^2}$$

En el marco de la mecánica clásica, la acción gravitacional de un cuerpo se puede interpretar como la acción directa de una masa sobre otra. Esta acción se transmite en el espacio entre las masas, aunque ellas estén lejos entre sí, decreciendo con el inverso del cuadrado de la distancia. Su transmisión a través del espacio que separa las masas se propaga con velocidad infinita, ya que la *acción se supone instantánea.* Sin embargo, con la teoría general de la relatividad sabemos que esto es imposible, ya que la máxima velocidad de propagación de cualquier señal es la velocidad de la luz. La teoría de Newton no tiene ningún elemento para tomar en cuenta la velocidad de las acciones a distancia (Dóriga, 1985).

La relatividad entrega una *interpretación alternativa* de las fuerzas gravitacionales. En ella *la presencia de una masa hace curvar el espacio a su alrededor.* Otro cuerpo que está a cierta distancia "siente" esa curvatura, que lo "empuja" en cierta dirección, como si fuera una fuerza. A su vez, la masa del segundo cuerpo también produce una curvatura en los puntos a su alrededor, la que afecta al primero. Este efecto de las mutuas curvaturas, inducidas por las respectivas masas, es equivalente a decir que la acción se ejerce directamente entre ellas. Con la gran diferencia que será posible expresar el hecho que *la influencia gravitatoria que induce curvatura debe propagarse con la velocidad de la luz.* Así, si un cuerpo se mueve, la curvatura lejos de él no cambia instantáneamente, sino que lo hace cuando llega allí la influencia de la masa que se movió.

Las ecuaciones de Einstein expresan lo anterior, entre otras cosas, *estableciendo una relación entre la curvatura del espacio-tiempo en un punto y la distribución de masas y energía que existe allí.* En ellas, aparece la misma constante G de la gravitación universal de Newton:

$$(Curvatura) = G\ (Densidad\ de\ masa\ y\ energía).$$

La curvatura y la densidad de masa y energía están entre paréntesis porque son entidades matemáticas de cierta complejidad, ya que cada una de ellas está representada por un conjunto de varios números, que forma un ente matemático llamado tensor. El tensor de densidad de masa incluye las energías y presiones presentes (Novillo, 2010).

Siguiendo a Quintana (2002) el espacio-tiempo tiene cuatro dimensiones. Luego la cantidad de números necesarios para describir su curvatura, en todas partes y en cada dirección, es mucho mayor. En principio, *en cada evento se requieren hasta diez números para describir la curvatura.* Este conjunto de números para cada punto, que pueden ir variando de uno a otro, es decir, son funciones de las coordenadas, se denomina tensor de

curvatura y describe la geometría del espacio-tiempo. Estas relaciones matemáticas son bastante complejas y constituyen parte del andamiaje formal en relatividad general.

En principio, si se especifica la densidad de masa en todos los puntos del espacio, podríamos derivar la curvatura en todos ellos, resolviendo las ecuaciones de Einstein. Al revés, si se conoce la curvatura, podemos derivar la densidad de masa. Estas ecuaciones son diferenciales, que van dando punto a punto la relación entre curvatura y distribución de masas. Ellas se resuelven en el área del espacio de interés, considerando las condiciones de masa y curvatura en los bordes de la zona en estudio. En general, como todas las ecuaciones diferenciales, que ligan los valores de una variable a los valores y variaciones de otras, sólo es posible ir construyendo la solución paso a paso hasta llegar a un borde, donde se debe ajustarla a las condiciones o datos dados allí, lo que naturalmente se llama fijar las condiciones de borde. Así, es necesario conocer o suponer las condiciones de masa en el contorno del área donde se quiere resolverlas, que hasta puede ser a distancia infinita.

La teoría de Einstein del espacio-tiempo envuelve algo muy novedoso. Como su curvatura o su geometría depende de la distribución de las masas y resulta que éstas se mueven, entonces *¡la curvatura y la geometría del espacio son variables!* En el universo, la ubicación de las masas depende de su historia, la que envuelve la evolución de la misma geometría. La curvatura del espacio-tiempo es algo dinámico, cambiante. Esto nos entrega una visión de un espacio-tiempo dinámico, evolutivo. No es un espacio como el de la física galileana o newtoniana, que preexiste a los cuerpos, que permanece inmutable frente a su presencia o sus desplazamientos. Lo que surge de la Teoría de la Relatividad General es que el espacio se genera y modifica porque hay masas y éstas lo influencian. La distribución de la materia, sus densidades, su ubicación sus movimientos, determinan el espacio mismo. *El espacio depende de los cuerpos. A su vez, las variaciones del espacio los influencian, actúan sobre ellos, y determinan su distribución y sus movimientos.*

4. Diseño e implementación de la unidad didáctica

4.1. El Constructivismo como referente pedagógico

En esta sesión se abordan los referentes pedagógicos que se tuvieron en cuenta en el diseño e implementación de la unidad didáctica, por lo que deseamos que el lector se involucre con términos que son importantes en la muestra de resultados.

Siendo un poco optimistas consideremos que todos los estudiantes de una clase de física puedan corresponder a los propósitos de un docente que desea desarrollar un proceso educativo conducente a un aprendizaje significativo, será necesario que se examine cuidadosamente por parte del docente las características aptitudinales de los jóvenes, ya que la estructura cognitiva del estudiante debería incluir los requisitos de capacidad intelectual, contenido ideativo y antecedente experiencial (Sacristán, 1992). La innovación realizada por el docente ha de ensamblar el nuevo conocimiento, lo mejor posible, en la estructura cognitiva del estudiante.

Un aprendizaje significativo en un estudiante, es posible, en la medida que nuevos conocimientos se incorporen a conocimientos adquiridos previamente. Según Ausubel (Ausubel, 2000), un aprendizaje es significativo cuando puede relacionarse de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el estudiante ya sabe *(*Sacristán, 1992*).* Por tanto, es necesario que el material pedagógico que presente el docente posea en sí mismo un significado. De tal manera, que al considerar el aprendizaje como un proceso social de solución de conflicto conceptual, en el cual el docente y el estudiante procuran una permanente mediación para llegar a acuerdos respecto a cómo se concibe de parte y parte el conocimiento y dado el posible cambio de paradigma en educación al respecto de que los estudiantes asuman con liderazgo su aprendizaje, al construir el conocimiento a partir de sus experiencias y aprendizajes, nos podemos aproximar al supuesto teórico de implementar una estrategia metodológica basada en las premisas del constructivismo,

donde el conocimiento es construido, no transmitido, para lo cual las experiencias deben ser interpretadas y procesadas por cada estudiante; además, el conocimiento previo adquiere un reconocimiento por el impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Por otra parte, en la clasificación dada por Guba (Guba, 1990) quien tomando el concepto de paradigma de Kuhn como la síntesis de creencias grupales, compartidos por una comunidad científica, clasifica a un grupo de investigadores dentro del paradigma interpretativo (constructivista) y epistemológicamente respecto a cuál es la naturaleza de la relación entre el conocedor (el investigador) y el conocido (o saber) sostiene que la relación sujeto–objeto es dialógica y constructiva. Por tanto, en el paradigma constructivista se sostiene que "*la realidad existe en forma de constructos mentales múltiples, determinados por las personas y los grupos sociales que los adoptan*. *Conocer es interactuar con una realidad cambiante y elusiva para interpretarla y crear nuevos constructores mentales, cada vez más complejos* (Guba, 1990). De aquí que podamos extrapolar en el contexto educativo afirmando que el paradigma positivista, donde la objetividad es posible, puede sufrir un cambio conformando el paradigma interpretativo, para lo cual, la relación sujeto-objeto es interactiva, no objetiva sino dialógica, por tanto, de una realidad completa se pasaría a concebir una realidad cambiante, abierta a múltiples posibilidades.

En cuanto a lo que sucede en el aula de clase cuando se procura el aprendizaje de los estudiantes, se observa que los jóvenes tienen bajos niveles interpretativos y reflexivos sobre lo que significa su lectura del mundo y el cómo funciona, y en ocasiones el educador no reflexiona al respecto, por lo que para ambos la realidad parece no ser cambiante. Además, parece poco o nada importante el mundo interno determinado por las experiencias particulares de quienes aprenden, los estudiantes.

El constructivismo retoma las premisas epistemológicas del paradigma "interpretativo" y las aplica al aprendizaje, considerando una actividad cognoscitiva del aprendiz, quien organiza y da sentido a la experiencia individual. De manera sucinta, el constructivismo es la creencia de que los estudiantes son los protagonistas en su proceso de aprendizaje (Soler, 2006). Aplicado a la enseñanza, el ejercicio pedagógico constructivista, se puede concebir como el espacio propicio para que un individuo construya sus propias ideas acerca de la realidad, estas ideas deben ser el referente más importante para un acercamiento al conocimiento. Por lo tanto, el docente constructivista debe ser un facilitador del aprendizaje, que separado del conductismo y del positivismo, también se separa de la figura autoritaria, dando paso a quien, como un educador que reconoce el antecedente histórico de la enseñanza, toma con responsabilidad su papel de facilitador de los aprendizajes de sus estudiantes para que no sean memorísticos. Un aprendizaje memorístico o por repetición es aquel en el que los contenidos están relacionados entre sí

de un modo arbitrario, es decir, careciendo de todo significado para la persona que aprende. Es el clásico aprendizaje por asociación el cual se da cuando la tarea de aprendizaje consta de puras asociaciones arbitrarias sin ninguna implicación afectiva para relacionar los nuevos conocimientos con aprendizajes anteriores (Pozo, 1992).

4.2. Diseño de la unidad didáctica "Gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein"

El diseño de la presente unidad didáctica se propone como una estrategia metodológica orientada desde las premisas constructivistas y con la que se busca profundizar en el análisis del concepto de gravedad desde lo expuesto por Newton y Einstein con estudiantes de Ciclo V del Colegio Nueva Delhi. Esta unidad se planeó a partir del desarrollo de 5 unidades de aprendizaje, que se corresponden con los objetivos específicos de la unidad didáctica y que se plasman en las tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5.

Unidad de aprendizaje 1 **"Y los cuerpos caen…"**	
Objetivos: **1.** Indagar sobre los preconceptos de los estudiantes sobre el concepto gravedad. **2.** Definir el concepto de gravedad como una fuerza que actúa sobre los cuerpos en la Tierra y fuera de ella (Mecánica clásica).	**Contenidos**: *Concepto de gravedad desde Newton. *La gravedad como una fuerza. *Ley de gravitación universal. *Campos gravitacionales.
Desempeños del estudiante: **1.** Define el concepto de gravedad como una fuerza de atracción dependiente de las masas de los objetos y la distancia que los separa (definición propuesta por Isaac Newton). **2.** Reconoce las condiciones que se presentan en la caída de los cuerpos teniendo en cuenta los diferentes descubrimientos que se dieron en la época de Galileo y de Newton, bajo la mecánica clásica.	
Actividades: indagación escrita de los preconceptos de los estudiantes respecto al concepto de gravedad mediante la guía No. 1 (ver anexo A), recolección de preconceptos individuales y grupales, socialización, muestra de simulación "Gravity and Orbits" de la página web de la Universidad de Colorado (http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics) en la que se presenta la magnitud de la fuerza dependiente de la distancia que separa los cuerpos y la razón de sus masas. Además, se hace exposición teórica a cargo de la docente y conclusiones.	
Tiempo estimado: 2 horas clase (110 min.)	

Tabla 4.1

Unidad de aprendizaje 2 “La gravedad como aceleración ”	
Objetivo: Analizar y comparar situaciones hipotéticas en las que se presentan movimientos uniformes acelerados y caídas libres.	**Contenidos** *Caída libre y movimiento uniforme acelerado. *Ingravidez y peso.
Desempeños del estudiante: **1.** Explica eventos físicos en los que se plantean posibles variaciones bajo sus concepciones sucesos hipotéticos.	
Actividades: indagación escrita de los preconceptos de los estudiantes respecto a las situaciones particulares planteadas en la guía No. 2 (ver anexo A), recolección de preconceptos individuales y grupales, socialización, exposición teórica a cargo de la docente y conclusiones.	
Tiempo estimado: 2 horas clase (110 min.)	

Tabla 4.2

Unidad de aprendizaje 3 “Principio de equivalencia”	
Objetivo: Explicar mediante situaciones problematizadoras el principio de equivalencia establecido por Einstein y su relación con lo expuesto por Newton sobre el concepto de gravedad.	**Contenidos** *Principio de equivalencia.
Desempeños del estudiante: **1.** Describe situaciones hipotéticas que podrían ser explicadas mediante el principio de equivalencia. **2.** Predice, a partir de la mecánica clásica y desde el principio de equivalencia, el movimiento de un objeto que se somete a un movimiento acelerado bajo diferentes circunstancias.	
Actividades: Control de lectura con la que se pretende que los estudiantes visualicen, de manera concreta, el principio de equivalencia**,** por lo que se soluciona la guía No. 3 (ver anexo A) en la que se muestran a los estudiantes otras situaciones hipotéticas que enmarcan su desarrollo teniendo en cuenta el principio de equivalencia. Luego de esto se hace la socialización de la actividad complementando con la presentación de un video educativo (http://www.youtube.com/watch?v=xnG4WHhjoTY&feature=related) en el que se explica esquemáticamente y de forma sencilla el principio de equivalencia. Y finalmente se definen conclusiones.	
Tiempo estimado: 2 horas clase (110 min.)	

Tabla 4.3

Unidad de aprendizaje 4 “Gravedad como la curvatura del espacio I”	
Objetivos: **1.** Explicar el concepto de gravedad desde la teoría general de la relatividad.	**Contenidos** *Geodésicas *Espacio-tiempo *Curvatura
Desempeños del estudiante: **1.** Explica el concepto de gravedad desde la teoría general de la relatividad. **2.** Describe correctamente las diferencias existentes entre la definición de gravedad desde la mecánica clásica y la teoría general de la relatividad.	
Actividades: Exposición teórica-conceptual. Socialización y conclusiones. Se propone a los estudiantes una actividad extraclase en la que tendrán que construir un modelo con el que se pueda explicar el concepto de gravedad desde las dos posturas vistas.	
Tiempo estimado: 2 horas clase (110 min.)	

Tabla 4.4

Unidad de aprendizaje 5 “Gravedad como la curvatura del espacio II”	
Objetivo: **1.** Hacer un paralelo entre las concepciones de Newton y Einstein sobre la gravedad.	**Contenidos**: *Gravedad
Desempeños del estudiante: **1.** Construye modelos con los que logra transponer sus conocimientos adquiridos mediante representaciones. **2.** Describe correctamente las diferencias existentes entre la definición de gravedad desde la mecánica clásica y la teoría general de la relatividad**.**	
Actividades: Exposición de los modelos construidos por los estudiantes con los cuales ellos pretenden explicar el concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein. Socialización. Se complementa con la muestra de dos videos educativos que condensan, en gran medida, la parte conceptual de la unidad didáctica. Video 1: http://www.youtube.com/watch?v=mxdiadu_kGI Video 2: http://www.youtube.com/watch?NR=1&feature=endscreen&v=FzL67AqH3_E Finalmente se aplica la prueba final que dará cuenta específicamente del cumplimiento o no de los desempeños formulados para los estudiantes.	
Tiempo estimado: 2 horas clase (110 min.)	

Tabla 4.5

4.3. Sobre las unidades de aprendizaje

- **De los objetivos**

Como se mencionó anteriormente, los objetivos planteados en las tablas se corresponden con los objetivos específicos de la unidad didáctica.

- **De los contenidos**

Básicamente son las temáticas generales que se trabajan en cada unidad de aprendizaje.

- **De los desempeños de los estudiantes**

Hace referencia a las capacidades que los estudiantes tienen para poner en práctica los diferentes conocimientos y habilidades adquiridos en el ámbito escolar. En otras palabras, son los logros.

- **De las actividades**

Cuando se menciona la indagación de preconceptos, el objetivo fundamental que gira en torno a esto es recolectar información sobre lo que los estudiantes conciben y perciben del mundo sobre algún fenómeno físico particular. Esto nos sirve para intentar construir los conceptos a partir de sus propias definiciones, buscando un lenguaje adecuado que no entre en conflicto con las definiciones formales. Y finalmente concluir si se logró algún tipo de aprendizaje significativo con cada una de las unidades de aprendizaje propuestas.

Otro aspecto importante es la socialización que se plantea en todas las unidades de aprendizaje como parte de la secuencia del desarrollo de las clases. Y es fundamental hacerla, porque es allí en donde los estudiantes tienen la posibilidad de discutir, discernir o tomar posición reflexiva frente a la práctica y a los conocimientos que se están exponiendo por parte de la docente.

Las exposiciones teóricas o demostrativas son parte fundamental en el desarrollo de las unidades de aprendizaje, porque es aquí donde se da la fundamentación teórica de lo que se desea enseñar. Además de esto, se espera que los estudiantes entren en un ambiente de

aprendizaje mutuo, motivacional, que les permita ser los protagonistas en este espacio como constructores de conocimiento y no, como tradicionalmente ocurre, receptores de información.

En cuanto a la presentación de las simulaciones o videos, estos hacen parte de la clase como un complemento que motiva y mantiene la atención de los estudiantes para lo que se les desea enseñar. Básicamente, son recursos que alimentan la esencia del trabajo.

4.4. Implementación de la unidad didáctica

4.4.1. Unidad de aprendizaje 1: "Y los cuerpos caen…"

4.4.1.1. De los preconceptos de los estudiantes

La indagación de los preconceptos en los estudiantes de Ciclo V del colegio Nueva Delhi (J.M.) fue una forma de explorar sus definiciones sobre el concepto de gravedad y de situaciones relacionadas con éste; por lo que en la implementación de las primeras tres unidades de aprendizaje se inició con dicha indagación, ya que se considera un factor relevante para el análisis de resultados de la unidad en general. De tal manera que, al finalizar la implementación total de la propuesta didáctica, se tuvo la posibilidad de hacer una comparación entre los preconceptos y los nuevos conocimientos adquiridos.

A continuación se presentan los preconceptos dados en la primera unidad de aprendizaje por el grupo de 55 estudiantes que conforman el Ciclo V (no hubo inasistencia). En esta parte es importante aclarar que las gráficas estadísticas que se muestran son simplemente un elemento facilitador para comparar y clasificar las respuestas dadas por los estudiantes en cada una de las unidades de aprendizaje desarrolladas, pues la estrategia pedagógica que se implementó no pretende, de ninguna manera, desconocer aspectos eminentes tales como: las diferencias individuales de los estudiantes, la interacción entre el docente y el estudiante, el conocimiento y las características de los contenidos conceptuales, procedimentales o actitudinales en cada actividad, o incluso la motivación de los estudiantes.

Por medio de la gráfica 4.1, y generalizando, podemos ver que la definición de gravedad dada por el 73% de los estudiantes se reduce a que es una fuerza. De lo que se puede deducir que sus preconceptos están ligados a conocimientos previos enmarcados en la

mecánica clásica y era de esperarse, puesto que el plan de estudios aplicado en años anteriores a este grupo contenía estas temáticas. Sin embargo, se pudo evidenciar que algunos conceptos no estaban claros, pues aunque estas ideas hacen parte de su estructura cognitiva es evidente que no están bien construidas.

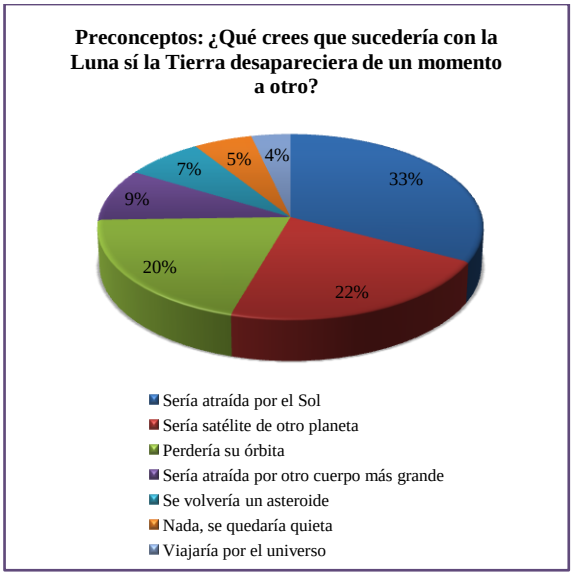
Gráfica 4.1

Las gráficas 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 muestran las respuestas de los estudiantes sobre situaciones hipotéticas relacionadas con el concepto de gravedad, éstas serán de referencia para el análisis concluyente sobre el avance de los nuevos conceptos adquiridos por los estudiantes, pero se citan aquí con el fin de que el lector las conozca previamente.

Gráfica 4.2

Gráfica 4.3

Gráfica 4.4



Gráfica 4.5

4.4.1.2. De la socialización y explicación teórica

Luego de la indagación de los preconceptos se abre paso a la socialización, no sin antes dar a conocer a los estudiantes los objetivos específicos de la clase y las competencias que se buscan con la misma, pues es importante que ellos conozcan el cómo, el por qué y el para qué de los contenidos a trabajar.

La socialización inició teniendo en cuenta los preconceptos, se organizó el debate alrededor de las preguntas planteadas en la guía y al respecto de las respuestas dadas por ellos. Fue así como esta primera unidad de aprendizaje giró en torno al surgimiento del concepto de gravedad desde Aristóteles hasta Newton. En este sentido se realizó un recuento breve del cómo se fue generando la discusión por parte de estos científicos sobre la caída de los cuerpos y la gravedad. Luego se explicó el concepto de gravedad como una fuerza de atracción que depende de manera directamente proporcional a la masa y que es inversa al cuadrado de la distancia que las separa o lo que es lo mismo la ley de gravitación universal.

Respecto a discusiones particulares presentadas en la socialización fue interesante lograr que los estudiantes entendieran, quizás cosas tan simples como que:

- De acuerdo con Newton, en el espacio exterior sí hay fuerzas gravitacionales, hay interacción entre cuerpos, no todos los cuerpos flotan. Hay una dependencia del valor de la gravedad dependiendo el lugar al que se haga referencia.

- La Tierra se mueve y gira alrededor del centro de masa del sistema Tierra-Luna. Algunos estudiantes creían que la Tierra estaba en reposo mientras la Luna gira alrededor de nosotros.
- La Luna se mueve alrededor de la Tierra, siguiendo un camino elíptico. Algunos estudiantes, pensaban que la Luna no se movía, incluso que tampoco el Sol se mueve. Aquí se les explicó brevemente sobre las características de los movimientos de cada uno de estos cuerpos (Luna, Tierra, Sol).
- La Luna es considerada un satélite natural que "cae" alrededor de la Tierra y no hacia la Tierra. En la Luna sí hay gravedad aunque menor a la de la Tierra. Los cuerpos sí caen allí, no hay aire.

4.4.1.3. De la presentación de la simulación

Ya para finalizar la implementación de esta unidad, y con el fin de reforzar y complementarla, se mostró a los estudiantes la simulación que proporcionó la visualización de la ley de gravitación universal, por lo que ellos tuvieron la posibilidad de jugar un poco con los valores de la distancia y de las masas de los cuerpos simulados (Tierra, Sol y Luna), lo cual les permitió darse cuenta de la variación de la magnitud de la fuerza en diferentes situaciones. Además, se pudo ver la representación del vector velocidad de los cuerpos (Tierra y Luna), su cambio de acuerdo a las condiciones que quisieran darle y la órbita seguida por cada uno de ellos.

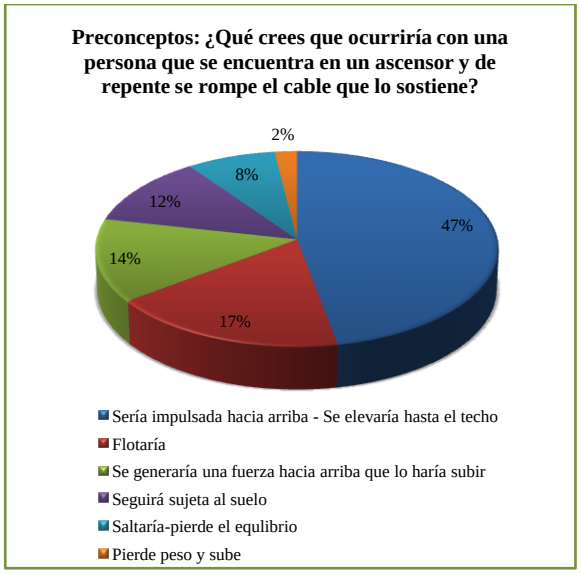
4.4.2. Unidad de aprendizaje 2: "La gravedad como aceleración "

4.4.2.1. De los preconceptos de los estudiantes

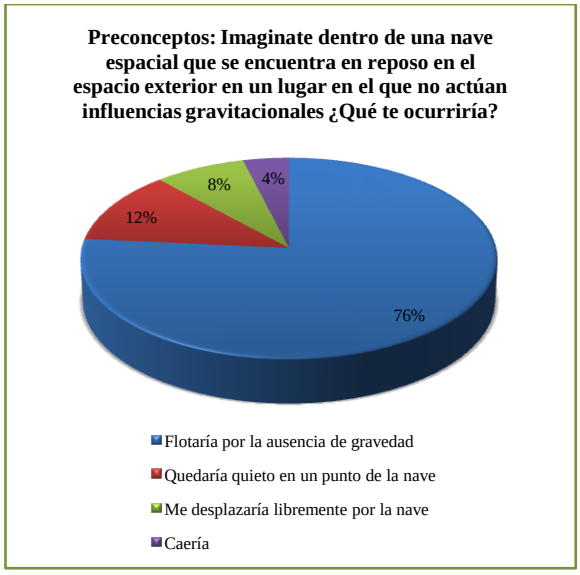
En la implementación de esta segunda unidad de aprendizaje participaron 51 estudiantes, se presentó inasistencia de 4 estudiantes.

Para la indagación de preconceptos, básicamente se plantearon tres situaciones hipotéticas (Ver guía No. 2 en anexo A) con las que se pretendió que los estudiantes relacionaran la equivalencia entre gravedad y aceleración y por lo tanto introducirlos al principio de equivalencia.

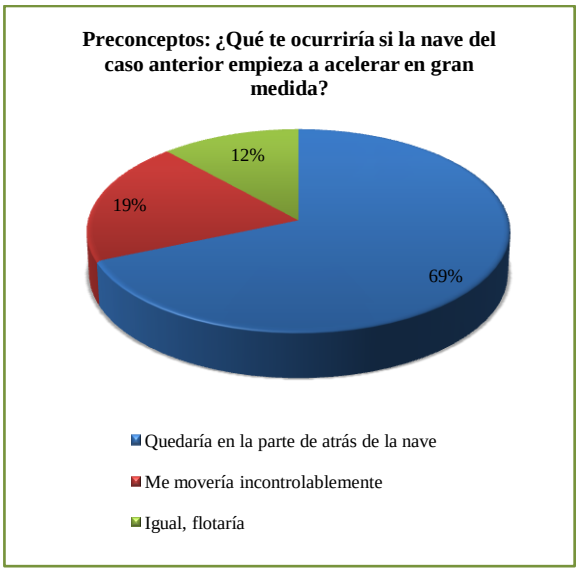
A continuación se muestran los preconceptos dados por los estudiantes para cada una de las situaciones planteadas:



Gráfica 4.6



Gráfica 4.7



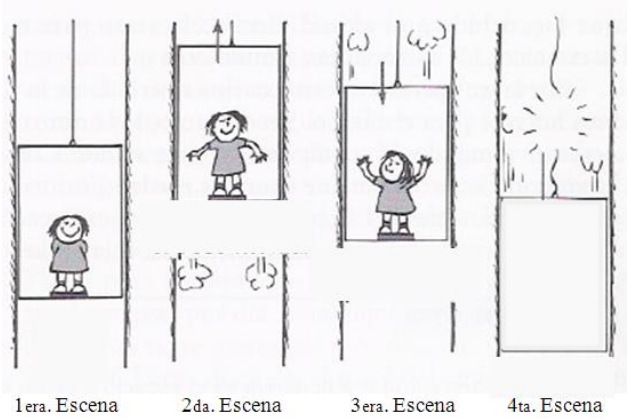
Gráfica 4.8

Al examinar las gráficas 4.6, 4.7 y 4.8 damos cuenta de que las respuestas dadas por los estudiantes no estuvieron tan sesgadas de las relaciones que se esperaba hicieran. Específicamente, en la gráfica 4.6, aunque hubo diversidad de razonamientos y también malos entendidos sobre lo que se preguntaba, se logró un porcentaje significativo para la respuesta correcta, pues sobre las bases que tenían en ese momento era de esperarse tal relación. Y para las gráficas 4.7 y 4.8 las respuestas estuvieron todavía más cerca de lo que en la realidad debería ocurrir en estos casos.

4.4.2.2. De la socialización y explicación teórica

En la socialización de esta unidad de aprendizaje partimos de los preconceptos de los estudiantes para cada situación, pero se hizo especial referencia en la primera, ya que generó bastante controversia, porque no fue claro para algunos lo que se preguntó y para otros las respuestas dadas fueron arbitrarias y hasta mal intencionadas, precisamente por el caso planteado.

La primera situación planteada fue: ¿Qué crees que ocurriría con una persona que se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene? Completa el dibujo y explica.



En vista de que en esta unidad no se les había hablado aún sobre el concepto de gravedad einsteniano, se esperaba que los estudiantes relacionaran en esta situación un poco los conceptos de fuerza, peso, gravedad e ingravidez de la mecánica clásica. Entonces se les explicó considerando la situación como un evento real clasificado por escenas, entonces:

- Para la 1_{era} escena como el ascensor está en reposo el peso es normal.
- Para la 2_{da} escena el ascensor empieza a subir, por lo que el peso que se siente es mayor.
- Para la 3_{era} escena el ascensor empieza a bajar y el peso “disminuye”.
- Para la 4_{ta} escena el cable del ascensor se rompe y por lo tanto el peso es nulo.

Entonces, ¿qué nos ocurriría?
Pues que la sensación de peso, que percibimos, es igual a la fuerza que ejerce nuestro cuerpo sobre el piso. Si el piso se acelera hacia arriba o hacia abajo, el peso de nuestro cuerpo parece cambiar. Por lo tanto, cuando estamos en caída libre no sentimos peso, es como si flotáramos en el aire con respecto a las paredes, el techo y el piso del ascensor.

Para las otras dos situaciones en el caso hipotético en el que pudiéramos estar dentro de una nave espacial que se encuentra en reposo en el espacio exterior, en un lugar en el que no actúan influencias gravitacionales, podemos decir que no tendríamos noción de posición, porque flotaríamos todo el tiempo por la ausencia de gravedad. Pero, que si se empezara a acelerar tanto como el valor de g, se percibiría una "especie" de gravedad. Por lo que la pared de enseguida a los motores empujaría contra nosotros y tendríamos la posibilidad de estar de píe y podríamos tener noción de posición y ubicar el arriba y el bajo de la nave.

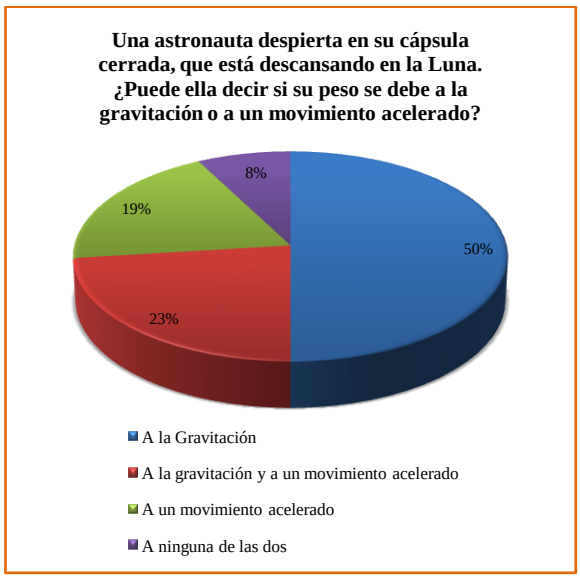
4.4.3. Unidad de aprendizaje 3: "Principio de equivalencia"

4.4.3.1. De la actividad de interpretación lectora

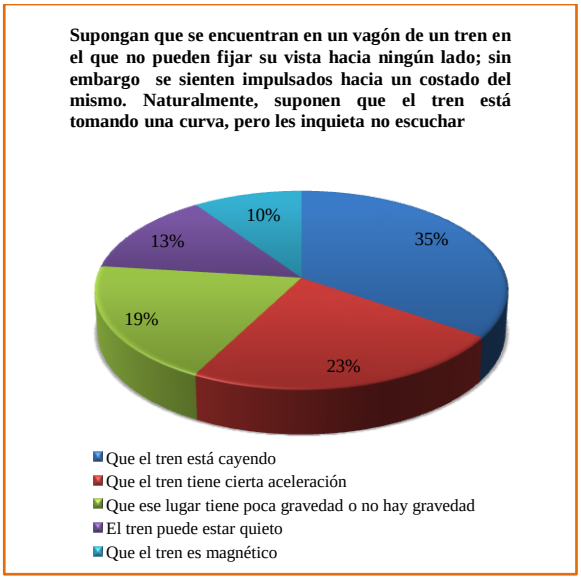
En esta unidad de aprendizaje participaron 52 estudiantes con los que se llevaron a cabo las actividades propuestas. Aquí no se recolectaron preconceptos de los estudiantes, puesto que la actividad diseñada estuvo enmarcada en la comprensión de la lectura "Principio de Equivalencia". Los estudiantes contestaron las preguntas formuladas en la guía No. 3 (Ver anexo A); sin embargo, las respuestas dadas por ellos no fueron las esperadas, puesto que, de acuerdo con lo que respondieron, fue notable deducir que la mayoría no logró el nivel de interpretación lector apropiado. Por lo que en la socialización la explicación teórica fue relevante.

A continuación se mostrarán las respuestas dadas por los estudiantes para la guía No. 3:

Gráfica 4.9



Gráfica 4.10



Gráfica 4.11

Vemos en la gráfica 4.9 que el 48% de los estudiantes logró entender que el principio de equivalencia se traduce en términos más sencillos como la equivalencia entre gravedad y aceleración. Además, un 13% de los estudiantes respondieron que dicho principio establece la equivalencia entre un marco de referencia acelerado con un campo gravitacional newtoniano, respuesta también correcta, pues así como puede lograrse que la mayoría de los efectos de la gravedad desaparezcan haciendo observaciones en caída libre, también se pueden "producir" observando los objetos en un marco de referencia acelerado. Por ejemplo, un observador encerrado en una habitación no puede saber sí los objetos caen al suelo porque la habitación está en la Tierra y, por lo tanto, están siendo atraídos por la acción de la gravedad; o si los objetos caen al suelo porque la habitación está dentro de una nave espacial que viaja con una aceleración de aproximadamente 9.8 m/s^2. Por lo anterior, podemos decir que si vemos los resultados de forma generalizada, un 61% de los estudiantes pudo dimensionar el significado físico del principio de equivalencia.

Respecto a la gráfica 4.10, en dónde se relacionan las respuestas de los estudiantes a la situación planteada, podemos decir que se obtuvo un nivel de análisis medio, puesto que se esperaba que hicieran un paralelo entre las concepciones de Newton y el principio de equivalencia propuesto por Einstein. Logrando explicar que el peso de una astronauta en la Luna, puede deberse tanto a la gravedad del lugar como al movimiento acelerado en el que está sometida la Luna. Pensemos en dos situaciones: (1) si comparamos la manzana que cae, con la Luna que cae, en principio se consideraría que si la Luna no cae se movería en una trayectoria recta alejándose de la Tierra. En este sentido, la Luna cae debajo de la línea recta que describiría si sobre ella no se ejerciera alguna fuerza (posición newtoniana). (2) la Luna está "cayendo", lo que implica un movimiento acelerado, entonces, de acuerdo con

el principio de equivalencia, la astronauta asumiría que está en movimiento acelerado y que su “peso” se debe a esto.

La gráfica 4.11 recoge las respuestas dadas a otra situación que se ve comprometida con el principio de equivalencia. Básicamente, se pretendía que los estudiantes relacionaran lo que se socializó en la unidad de aprendizaje 2 sobre el caso de la nave, cuando está en reposo y luego empieza a moverse con aceleración constante.

4.4.3.2. De la socialización y el video presentado

Durante la socialización surgió la duda, por parte de algunos estudiantes, sobre el significado de marco de referencia acelerado y campo gravitacional newtoniano, ya que se hacía referencia en la lectura. Para explicarles, se planteó la siguiente situación: “pensemos en que cada uno de nosotros va en un carrito y que llevamos puesto el cinturón de seguridad. Nos dirigimos hacia el colegio muy juiciosos, tanto así que pensando en estudiar llevamos un libro en uno de los asientos. De repente frenamos, ¿qué ocurre con el libro? Es cierto que se va hacia adelante aun sin evidenciarse alguna fuerza que lo haya empujado, por lo tanto pensamos en que parece ser que el libro comienza a moverse en relación con nosotros. Pero, ¿qué verá una mujer (observador) que se ubica en un lado de la vía y que se fija en nosotros, en el carrito y en el libro, cuando llevamos cierta velocidad, por ejemplo 50 km/h y de repente ve que frenamos? Pues podrá observar que el libro sigue moviéndose a la misma velocidad, es decir, a 50 km/h (despreciando la fricción entre el asiento y el libro). Por lo tanto, nosotros concluiremos que el libro acelera hacia adelante (aceleración positiva). Pero la mujer (observador) concluirá que la aceleración del libro es cero (velocidad constante). Pues bien, nosotros en nuestro carrito y la mujer en la vía definimos un marco de referencia, lo que quiere decir que debe tenerse en cuenta un sistema coordenado y un conjunto de relojes que permitan a la mujer (observador) medir las posiciones, las velocidades y las aceleraciones dentro del marco de referencia. Entonces si consideramos la situación expuesta podemos afirmar que, de acuerdo al marco de referencia que se escoja (sea el de la mujer o el de nosotros dentro del carrito), se medirán diferentes velocidades y aceleraciones. De acuerdo con todo esto, podemos concluir que un marco de referencia acelerado, también llamado marco de referencia no inercial, es aquel en el que no todos los observadores miden la misma aceleración de un cuerpo en movimiento y en donde las leyes de movimiento no se cumplen. Y un marco de referencia no acelerado, también llamado marco de referencia inercial o campo gravitacional newtoniano, es aquel donde todos los observadores miden la misma aceleración de un cuerpo en movimiento y en donde las leyes de movimiento se cumplen”.

Ya para finalizar, se presentó el video educativo en el que se muestran algunos ejemplos que explican el principio de equivalencia de forma dinámica y más asequible a los estudiantes.

4.4.4. Unidad de aprendizaje 4: "La curvatura del espacio I"

La implementación de esta unidad de aprendizaje fue meramente teórica. Se explicó a los estudiantes la definición de gravedad desde la teoría general de la relatividad, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La diferencia entre geometría plana (euclidiana) y la nueva geometría de espacios curvos (no euclidiana).
- Características de los espacios curvos. Dimensionalidad.
- Definición de geodésica como las líneas más "rectas" en espacios curvos.
- El espacio-tiempo localmente y el espacio-tiempo en el universo.
- La curvatura del espacio dependiente de las masas.

Para esta unidad de aprendizaje se plantearon dos actividades extraclase: la primera, consistía en plasmar en un cuadro comparativo las propuestas de Newton y Einstein alrededor del concepto de gravedad. Y la segunda, la construcción de un modelo explicativo con el que se pudieran distinguir las diferencias entre la definición de gravedad para Newton y Einstein.

4.4.5. Unidad de aprendizaje 5: "La curvatura del espacio II"

En esta unidad de aprendizaje los estudiantes llevaron tanto el cuadro comparativo (ver anexo B) como el modelo explicativo. Los expusieron ante sus compañeros como forma de socialización de las temáticas vistas. A continuación se muestran por medio de fotografías algunos de los modelos expuestos.

Figura 4.1

Figura 4.2

En la figura 4.1 los estudiantes de ese grupo trataron de representar el concepto de gravedad desde Newton (parte izquierda de la fotografía) como un universo en equilibrio en el que no hay un espacio material sino que simplemente una serie de interacciones a distancia entre cuerpos. También, explicaron el concepto desde Einstein (parte derecha de la fotografía) como un espacio que se "distorsiona", que se curva en presencia de los planetas y en general de todo cuerpo en el universo.

Para la figura 4.2 los estudiantes hablaron sobre la ley de gravitación universal propuesta por newton (parte izquierda) y sobre las órbitas seguidas por los planetas. Este grupo le atribuyó a Newton el descubrimiento del movimiento planetario en elipses a Newton. Hubo que aclararles que fue Kepler el que aportó en este aspecto. Algo interesante fue que luego de explicar lo correspondiente a Einstein sobre el concepto de gravedad como la curvatura del espacio, hablaron sobre ondas gravitacionales, diciendo que éstas se generan, cuando un cuerpo o una masa se mueve o deja de existir en el universo.

Figura 4.3

Figura 4.4

La figura 4.3 muestra a dos estudiantes (madres adolescentes) tratando de representar un espacio curvo en el que, de acuerdo con la cantidad de materia de los cuerpos, la curvatura del espacio varía. Sin embargo, no hicieron explicación del concepto sobre la base newtoniana.

En la figura 4.4 se muestra otro modelo expuesto. Aquí la explicación fue meramente sobre la base de un espacio que se curva en cuanto hay masas en él. Algo similar al modelo de la figura 4.3.

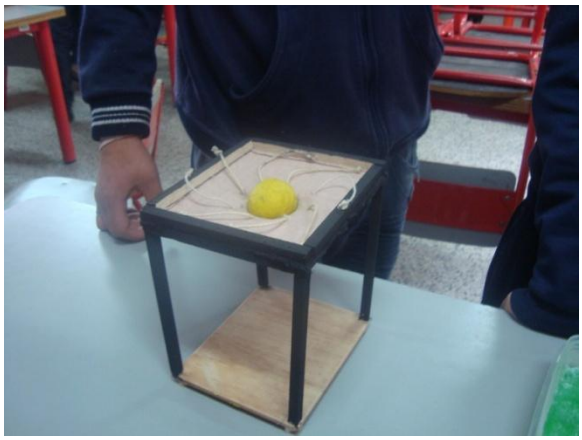


Figura 4.5

Figura 4.6

Las figuras 4.5 y 4.6 muestran dos modelos que convergen en que utilizan una malla elástica donde plantean hipotéticamente el movimiento de cuerpos. Aquí los estudiantes sólo hacen referencia a la definición de gravedad como la curvatura del espacio.

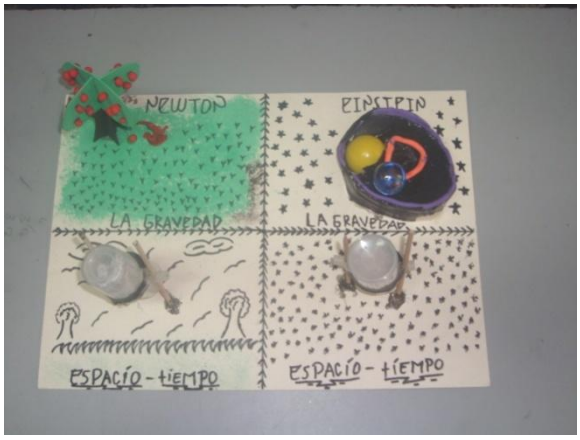


Figura 4.7

Figura 4.8

La figura 4.7 muestra la representación que hizo un grupo de estudiantes sobre la gravedad. En la parte izquierda de la figura representaron un momento histórico y algo

curioso sobre el evento en el cual Newton descubrió que la fuerza que hacia caer una manzana de un árbol no era otra cosa que la misma que hacía que la Luna girara alrededor de la Tierra. Aquí mencionaron parte de la ley de gravitación universal. Por otro lado, hicieron la explicación de Einstein sobre gravedad como la curvatura del espacio-tiempo.

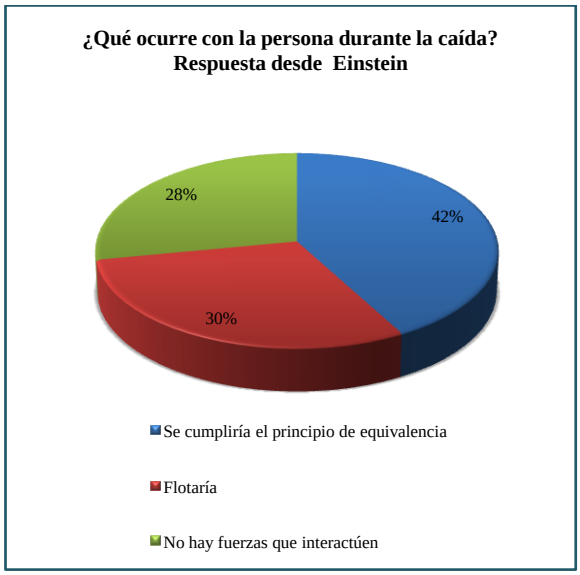
La figura 4.8 muestra a un grupo de estudiantes que intentaron explicar el universo desde la ley de gravitación universal y la interacción entre planetas a distancia. Hablaron sobre una equivalencia entre fuerzas y "equilibrio cósmico". Se les preguntó que qué significaba eso de "equilibrio cósmico" y ellos respondieron que era algo como una fuerza sobre natural que permitía un orden en el universo. Algo confuso, pero válido desde el punto de vista pedagógico.

4.5. Aplicación de la prueba final

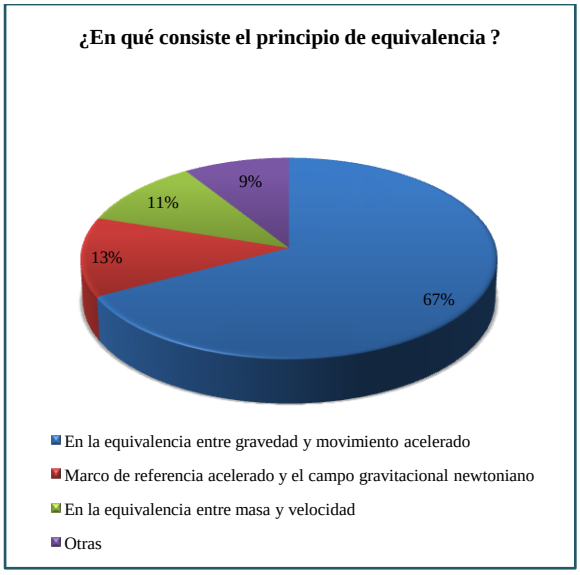
La aplicación de la prueba final (ver anexo A) tuvo como objetivo principal retomar, si no todas, algunas de las situaciones planteadas en las guías para lograr compilar la información y dar un análisis final sobre los avances conceptuales de los estudiantes sobre la enseñanza y aprendizaje del concepto de gravedad desde la teoría general de la relatividad y la mecánica clásica.

En las siguientes gráficas se muestran las respuestas dadas por los estudiantes en la prueba final:

Gráfica 4.12

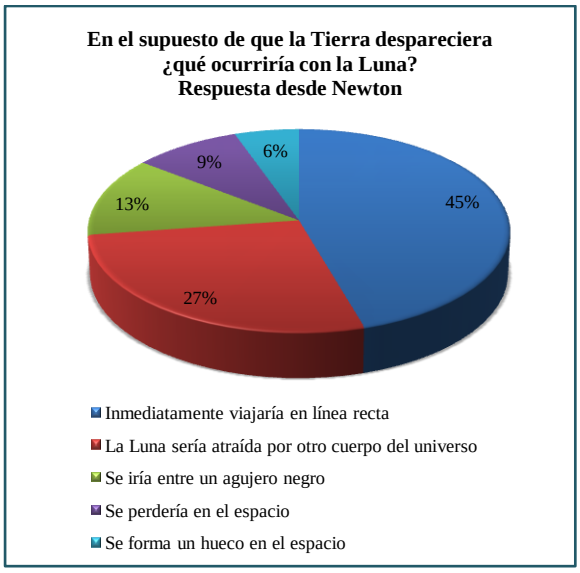


Gráfica 4.13

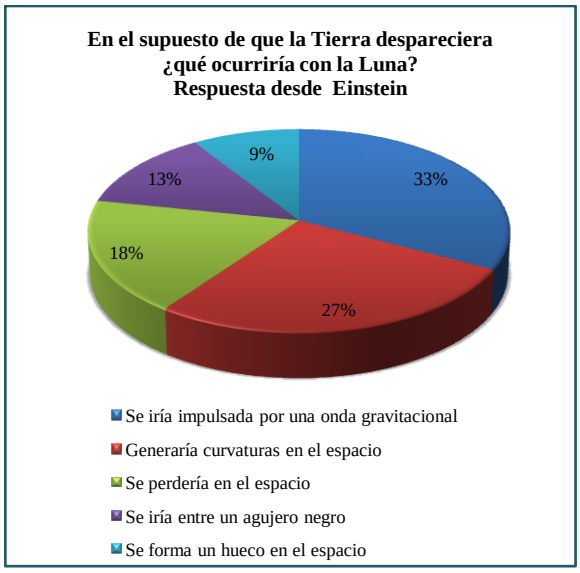


Gráfica 4.14

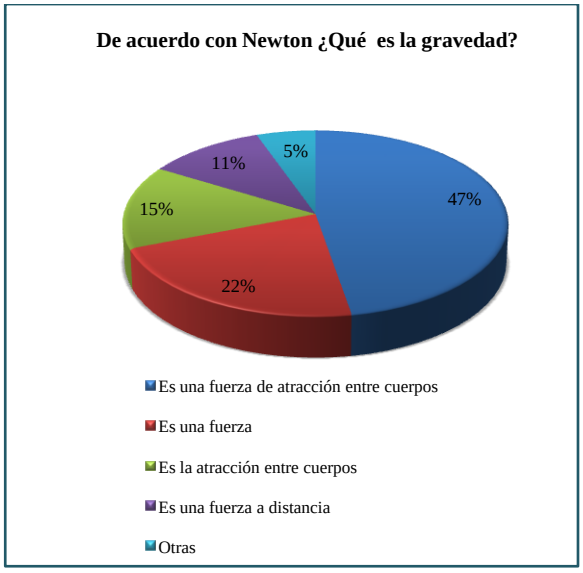
Gráfica 4.15



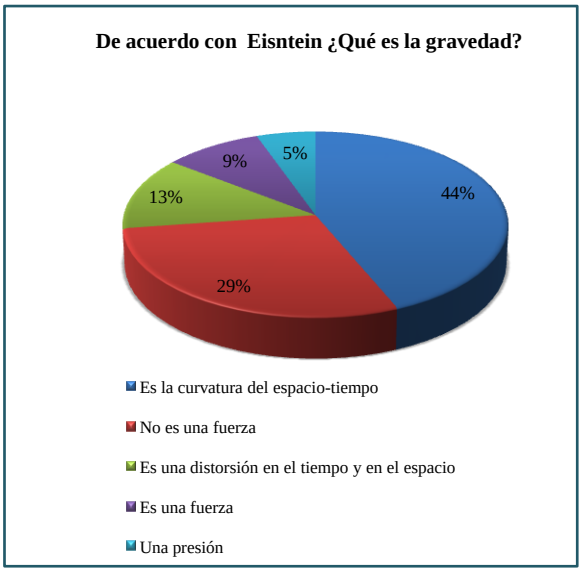
Gráfica 4.16



Gráfica 4.17



Gráfica 4.18



Gráfica 4.19

Comparando los preconceptos de los estudiantes para las diferentes unidades de aprendizaje implementadas y las respuestas dadas por ellos en la prueba final, podemos dar cuenta de que efectivamente se dio un cambio significativo en la resolución de situaciones hipotéticas planteadas para fenómenos físicos particulares relacionados con el concepto de gravedad. Por lo tanto, se pudo dar cuenta de que la mayoría de los estudiantes logró diferenciar correctamente las definiciones del concepto de gravedad sobre las dos concepciones estudiadas. No siempre se va a lograr que la totalidad de los estudiantes logren cambios significativos en aprendizajes concretos.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Los modelos de pensamiento de la física de Newton, cuando son asumidos plenamente por los estudiantes, se resisten a su remodelación con el mismo vigor con que se resistían las ideas del sentido común a ser sustituidas por las de Galileo o por las de Newton. De tal manera, que su aprendizaje es significativo en la medida que se desarrollan intelectualmente y acceden a conocimientos más complejos, parece darse por un proceso de cambio conceptual sucesivo en el que un marco intelectual es subsumido por otra visión del mundo. Por lo tanto, consideramos que con la implementación de la estrategia metodológica propuesta se lograron avances en el aprendizaje conceptual (se reconoce la existencia de nuevos conceptos, distintos a los previamente aprendidos), procedimental (se discuten algunos formalismos matemáticos aplicados a la resolución de problemas sencillos) y actitudinal (parcialmente se adopta la actitud de una mente científica abierta a las opiniones ajenas y a la revisión de las propias) de la mayoría de los estudiantes.

- La estrategia metodológica, articulada con el diseño e implementación de la unidad didáctica para la enseñanza del concepto de gravedad, concebida como un conjunto de actividades estructuradas y organizadas, eleva la posibilidad de consolidar dicho concepto en la estructura cognitiva de los estudiantes. Sin embargo, se recomienda que para futuras aplicaciones se establezcan modelos demostrativos por parte del docente, y no del estudiante como se hizo en el trabajo de aula, que permitan explicar y visualizar fácilmente teorías que, de alguna manera, resultan siendo demasiado abstractas para su entendimiento.

- Los resultados encontrados concuerdan con los de otras investigaciones didácticas en física y más específicamente en la enseñanza de las teorías de la relatividad en educación media, en cuanto a que la planeación y reflexión de la práctica pedagógica

debe permitir plantear una hipótesis inicial para futuras investigaciones en el sentido de que los problemas asociados con el rendimiento en el aprendizaje significativo de los estudiantes tienen relación directa con los modelos didácticos puestos en práctica por los docentes.

- La presente implementación de la estrategia metodológica de enseñanza-aprendizaje basada en antecedentes constructivistas, generó la posibilidad para el docente de observar y evaluar rasgos aptitudinales y actitudinales de los estudiantes que comúnmente no se identifican en una relación no dialógica. Por tanto, se tiene la oportunidad de valorar sus esfuerzos y contribuir a quienes tienen mayor dificultad en su aprendizaje.

- Los conceptos científicos a enseñar toman gran sentido en el marco de un sistema teórico; por lo tanto las unidades didácticas deben ser consideradas como un elemento fundamental en las prácticas pedagógicas, ya que con éstas los conceptos a trabajar son edificados bajo constructos firmes que permiten dirigir el trabajo docente estableciendo la necesidad de un currículo con profundidad que apunte hacia una formación de los estudiantes, acompañada de un mejoramiento de la imagen de las ciencias físicas.

- La reconstrucción histórico-epistemológica del concepto de gravedad en el aula permite reubicar los sistemas de explicación de los estudiantes como categorías de aprendizaje, donde los conceptos tienen sentido en un contexto más amplio como son los sistemas explicativos en proceso de reconstrucción constante para la generación de competencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de carácter científico.

- Con respecto al uso de recursos, tales como videos y lecturas científicas, se recomienda su uso como parte complementaria en la planeación de las unidades didácticas, puesto que brindan a los estudiantes la posibilidad de aclarar dudas sobre temas particulares vistos. Además, se hizo evidente la importancia de que el docente maneje simulaciones interactivas como un elemento adicional en sus clases con el fin de motivar y llamar la atención de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias y específicamente de fenómenos físicos.

6. Bibliografía

[1] AUSUBEL, David. (2000). "*Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva"*. Ediciones Paidós Ibérica S.A, Barcelona.

[2] BERENGUER, Alemañ et al. (2000). "*Enseñanza por cambio conceptual: De la física clásica a la relatividad"*. Revista Enseñanza de las Ciencias. 18, 463.

[3] BERENGUER, Alemañ et al.(2001). "*Una Nueva Propuesta Didáctica para la Enseñanza de la Relatividad en el Bachillerato"*. Revista Enseñanza De Las Ciencias, 19, 335.

[4] CAMPANARIO, Juan & MOYA, Aida. (1999). "*¿Cómo enseñar Ciencias? Principales tendencias y propuestas"*. Enseñanza de las Ciencias. 17, 179.

[5] DÓRIGA, Enrique. (1985). "*El universo de Newton y de Einstein: Introducción a la filosofía de la naturaleza"*. Herder, Barcelona.

[6] EINSTEIN, Albert. (1916). "*Sobre la teoría de la relatividad especial y general"*. Alianza, Madrid.

[7] FECODE. (2003). "Educación y Cultura: Revista trimestral del Centro de Estudios e Investigaciones de la Federación Colombiana de Educadores". 62, 33.

[8] GARCÍA, Alejandra & FLOREZ. Fernando. (2004). "*Investigación en enseñanza de las ciencias: De las concepciones alternativas a las representaciones múltiples"*. ETHOS educativo. 30, 131.

[9] GARCÍA, Manuel. (1989). "*El tiempo en la física: de Newton a Einstein"*. Revista Enrahonar. 15, 39.

[10] GUBA, E. (1990). "*The Paradigm Dialog*". Sage, Newbury Park.

[11] HALLIDAY, David et al. (2002). "*Física I-II*." Compañía editorial continental, México.

[12] HAWKING, Stephen. (1988). "*Historia del tiempo: Del Big Bang a los Agujeros Negros"*. Crítica, Barcelona.

[13] HERNÁNDEZ, Carlos Augusto. (2004). "*Galileo Galilei: El arte de la ciencia*". Universidad Nacional de Colombia.

[14] HEWITT, Paul. (1998). "*Física Conceptual"*. Adison Wesley Longman, México.

[15] LANDAU, L & Lifshtiz, E. (1992). "*Teoría clásica de los campos"*. Reverté. Barcelona.

[16] MARTÍNEZ, Vicent, et al. (2005). "*Astronomía Fundamental"*. PUV, Valencia.

[17] MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (2004). "*Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Sociales y Ciencias Naturales. La Formación en Ciencias: ¡El desafío!*".

[18] MOORE, Thomas. (2004). "*Física. Seis ideas fundamentales"*. Mc Graw Hill, México.

[19] MORENO, C. et al. (2007). "*Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Formación del profesorado y aplicación en la escuela"*. Grao, Barcelona.

[20] MORO, Lucrecia et al. (2007). "*Aprendizaje de los conceptos de masa, peso y gravedad. Investigación de la efectividad de un modelo analógico"*. Revista Eureka. Enseñanza de Divulgación. Científica. 4, 272.

[21] MOYA O. José. (2011). "*Teoría y Práctica de las Competencias Básicas"*. GRAÓ de IRIF, S.L, Barcelona.

[22] NOVILLO, Ernesto. (2010). "*El código cósmico: Un enigma celeste*". Orders, United States of America.

[23] ONTARIA A, et al. (2006). "*Mapas conceptuales, una técnica para aprender"*. Narcea, S.A de Ediciones, Madrid.

[24] POZO, J. (1992). *Teorías Cognitivas del Aprendizaje*. Morata, Madrid.

[25] PIAGET, Jean & Rolando, García. (1987). "*Psicogénesis e Historia de la Ciencia"*. Siglo XXI, México.

[26] PORTILLA, Gregorio. (2009). "*Elementos de Astronomía de Posición"*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

[27] PORTILLA, Gregorio, et al. (2001). "*Astronomía para todos"*. Observatorio Astronómico Nacional, Bogotá.

[28] PORTILLA, Gregorio. (2001). "*Tesis de Maestría en Física"*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

[29] QUINTANA, Hernán. (2002). "*Espacio, Tiempo y Universo"*. Alfaomega, Bogotá.

[30] RIVADULLA, Andrés. (2003). "*Revoluciones en Física"*. Trotta, Madrid.

[31] RUIZ, Francisco. (2007). "*Métodos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales"*. Revista Latinoamericana de estudios educativos. 3, 41.

[32] SACRISTÁN, J. & Pérez, A. (1992). "*Comprender y transformar la enseñanza"*. Morata, Madrid.

[33] SERWAY, Raymond. et al. (1890). "*Física"*. Pearson Educación. Prentice Hall, México.

[34] SKALAR, Lawrence. (1994). "*Filosofía de la física"*. Alianza Editorial, Madrid.

[35] SOLER, Edna. (2006). "*Constructivismo, Innovación y Enseñanza Efectiva"*. Valle de Sartenejas. Equinoccio, Caracas.

[36] VERA Ma. Candau. (1987). "*La Didáctica en Cuestión"*. Narcea, S.A de Ediciones, Madrid.

A. Anexo: Guías para el desarrollo de las unidades de aprendizaje para el trabajo de aula

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 1
"Y LOS CUERPOS CAEN"

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individual

Nombre: _____
Fecha: _____Ciclo: ____ Curso: ____

¿Qué entiendes por gravedad?

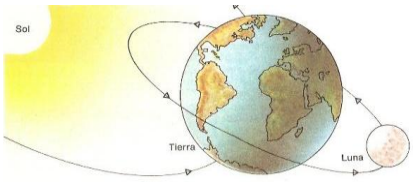
_____
_____
_____

¿En qué situación real o hipotética es posible evidenciar la existencia de gravedad? Descríbela y represéntala a través de un dibujo.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Cuando liberamos los cuerpos en el aire caen al suelo ¿A qué se debe su caída?

_____
_____
_____



¿A qué le atribuyes que la Luna permanezca girando como satélite natural alrededor de nuestro planeta? ¿Por qué la Luna no se estrella contra la Tierra?

_____
_____
_____

¿Qué crees que sucedería con la Luna sí la Tierra desapareciera de un momento a otro?

_____
_____
_____
_____

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 2
"LA GRAVEDAD COMO ACELERACIÓN"

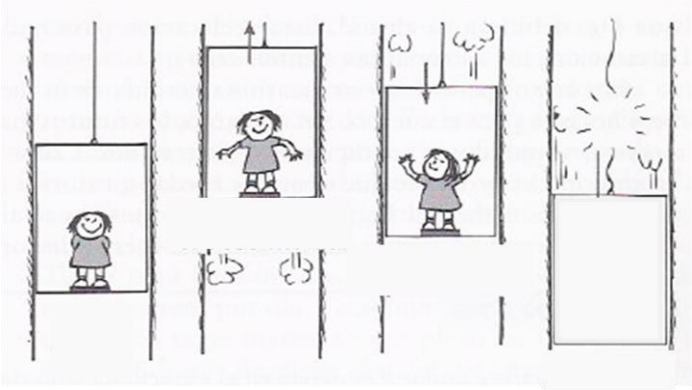
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individual

Nombre: _____
Fecha: _____Ciclo: ____ Curso: ____

¿Qué crees que ocurriría con una persona que se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene? Explica qué le ocurriría mientras cae. Completa el dibujo



_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Imagínate dentro de una nave espacial que se encuentra en reposo en el espacio exterior en el que no actúan influencias gravitacionales ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Ahora, piensa en que la nave espacial empieza a moverse y a aumentar su velocidad cada vez más, es decir, acelera en gran medida ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 3
"PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA"

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Actividad Grupal

Nombres:_____
_____

Fecha: _____**Ciclo:** ____ **Curso:** ____

Principio de equivalencia

Mucho antes de que hubiera naves espaciales, Einstein se pudo imaginar en el interior de un vehículo, muy lejos de las influencias gravitacionales. En esa nave espacial en reposo o en movimiento uniforme, en relación con las estrellas lejanas, él y todo lo que hubiera dentro del vehículo flotarían libremente (Figura 1); no habría "arriba" ni "abajo". Pero cuando se encendieran los motores del cohete y se acelerara la nave, las cosas serían diferentes: se observarían fenómenos parecidos a la gravedad (Figura 2). La pared adyacente a los motores empujaría contra los ocupantes, y se transformaría en el piso, mientras que la pared opuesta sería el techo. Los ocupantes de la nave podrían pararse en el piso y hasta saltar. Si la aceleración de la nave fuera igual a g, los ocupantes se convencerían de que la nave no aceleraría, sino que estaría en reposo en la superficie terrestre.

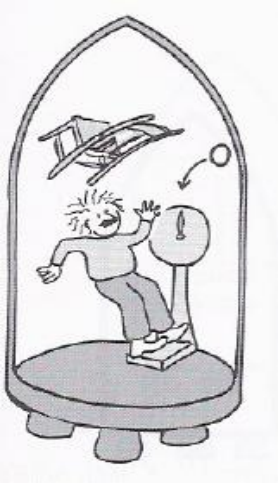


Figura 1

Para examinar esta nueva "gravedad" en una nave en aceleración, veamos la consecuencia de dejar caer dos esferas dentro de ella, una de madera y la otra de plomo. Cuando se sueltan, continúan moviéndose de un lado a otro, con la velocidad que tenía la nave al momento de soltarlas. Si la nave se moviera con *velocidad constante* (aceleración cero), las esferas quedarían suspendidas en el mismo lugar, porque tanto éstas como la nave recorrerían la misma distancia en cualquier intervalo de tiempo. Sin embargo, como la nave acelera, el piso se mueve hacia arriba con más rapidez que las esferas, y el resultado es que el piso pronto las alcanza (figura 3). Las dos esferas, independientes de su masa, llegan al piso al mismo tiempo. Recordando la demostración de Galileo en la

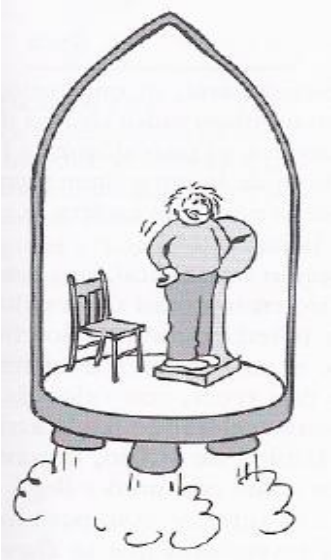


Figura 2

Torre Inclinada de Pisa, los ocupantes de la nave tenderían a atribuir sus observaciones a la fuerza de gravedad.

Las dos interpretaciones de la caída de las esferas tienen igual validez, y Einstein incorporó esta equivalencia, o imposibilidad de distinguir entre la gravitación y la aceleración en la base de su teoría de la relatividad general. El **principio de equivalencia** establece que las observaciones hechas en un marco de referencia acelerado son indistinguibles de las hechas en un campo gravitacional newtoniano. Esta equivalencia hubiera sido interesante, pero no revolucionaria, si sólo se aplicara a los fenómenos mecánicos, pero Einstein fue más allá y afirmó que el principio es válido para todos los fenómenos naturales: para fenómenos tanto ópticos como electromagnéticos.

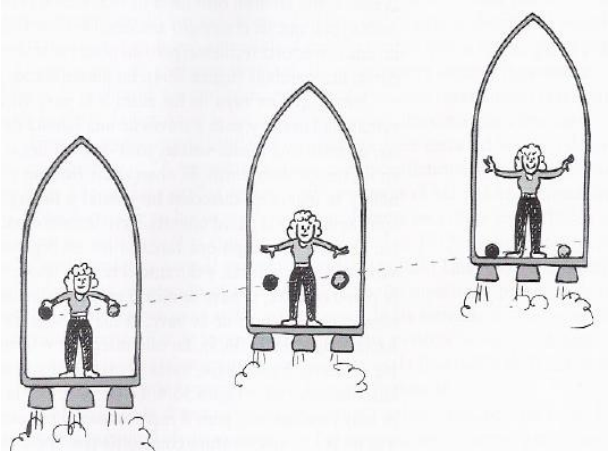


Figura 3

- Exactamente, ¿qué es lo equivalente en el **principio de equivalencia**?

_____

_____

- Una astronauta despierta en su cápsula cerrada, que está descansando en la Luna. ¿Puede ella decir si su peso se debe a la gravitación o a un movimiento acelerado? Explica por qué

_____

_____

- Se despiertan por la noche en un vagón de un tren y se ven impulsados hacia un costado del mismo. Naturalmente, suponen que el tren está tomando una curva, pero les inquieta no escuchar ruidos de movimiento. Describan otra explicación posible.

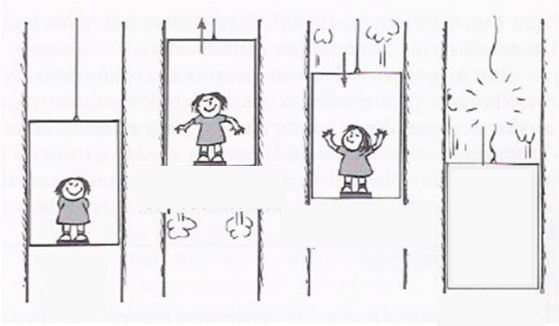
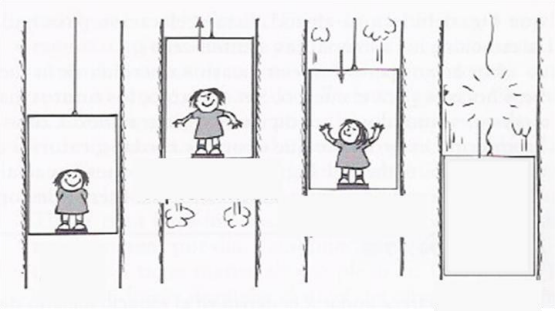
_____

_____

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
L.Q.S -LO QUE SABEMOS

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

1. Una persona se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene ¿Qué ocurre con la persona durante la caída? Completa y explica el dibujo teniendo en cuenta las posibles explicaciones dadas por Newton y por Einstein.

Newton	**Einstein**
	

2. ¿En qué consiste el principio de equivalencia y quién lo propuso?

_____
_____
_____
_____

3. En el supuesto de que la Tierra desapareciera qué ocurriría con la Luna, según Newton y Einstein.

Newton	Einstein

4. ¿qué entiendes por gravedad?

_____
_____
_____
_____

5. En el supuesto de que la Tierra desapareciera qué ocurriría con la Luna, según Newton y Einstein.

Newton	Einstein

Anexo B: Algunas guías y trabajos desarrolladas por estudiantes

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 1
"Y LOS CUERPOS CAEN"

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

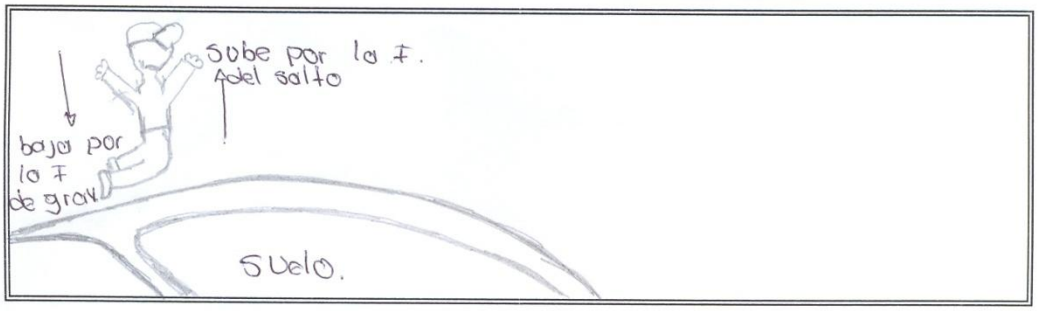
Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individuales

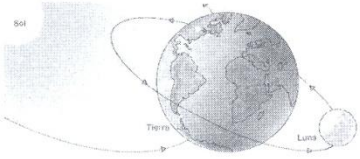
Nombre: Jeisson Alexander Briceño Gomez
Fecha: Nov 9/2011 **Ciclo:** 5 **Curso:** 10°

¿Qué entiendes por gravedad?
la gravedad es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre todos los cuerpos que habitan en ella, esta tambien la ejerce el sol sobre los planetas

¿En qué situación real o hipotética es posible evidenciar la existencia de gravedad? Descríbela y represéntala a través de un dibujo.
es posible evidenciar la gravedad en el salto de una persona puesto que la persona sube un poco en el aire pero luego desciende de nuevo.



Cuando liberamos los cuerpos en el aire caen al suelo ¿A qué se debe su caída?
Cuando un cuerpo cae a la tierra su caida se debe a la fuerza de gravedad que la tierra ejerce sobre él.



¿A qué le atribuyes que la Luna permanezca girando como satélite natural alrededor de nuestro planeta?
La luna permanece en esa posición debido a la atracción que ejerce sobre ella la tierra por tener mayor masa.

¿Qué crees que sucedería con la Luna sí la Tierra desapareciera de un momento a otro?
Si la tierra desapareciera, la luna se convertiria en un asteroide o una estrella, pero tal vez quedaria fija en un lugar o se estrellaria contra el sol por su atracc.

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 1
"Y LOS CUERPOS CAEN"

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individuales

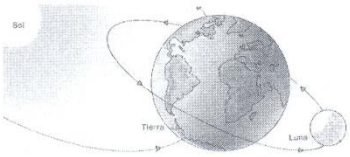
Nombre: Jennifer Andrea Soler Restrepo
Fecha: 09-Nov-2011 **Ciclo:** 5 **Curso:** 10JM

¿Qué entiendes por gravedad?
Es una fuerza que impulsa la masa o el peso hacia abajo para que llegue a la tierra.

¿En qué situación real o hipotética es posible evidenciar la existencia de gravedad? Descríbela y represéntala a través de un dibujo.

Como la tierra y yo, la masa de la tierra es mas grande y por lo tanto me hala hacia abajo.

Cuando liberamos los cuerpos en el aire caen al suelo ¿A qué se debe su caída?
Su caida se debe a la gravedad mencionada anteriormente y por las fuerzas que actuan sobre el como por ej: f. de rozamiento



¿A qué le atribuyes que la Luna permanezca girando como satélite natural alrededor de nuestro planeta?
Por que como la tierra tiene una masa mucho mas grande la atrae y la mantiene en su eje.

¿Qué crees que sucedería con la Luna sí la Tierra desapareciera de un momento a otro?
La luna perderia su orbita.

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 1
"Y LOS CUERPOS CAEN"

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

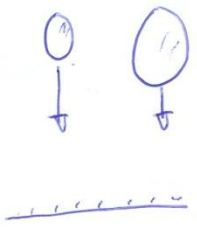
Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individuales

Nombre: Juan David Martinez Soriano
Fecha: Noviembre 09 **Ciclo:** ____ **Curso:** 70

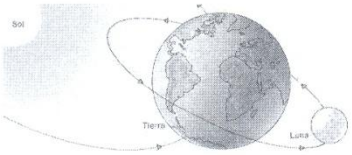
¿Qué entiendes por gravedad?
Es una fuerza que tiene un cuerpo de mayor masa a uno menor atrayendolo

¿En qué situación real o hipotética es posible evidenciar la existencia de gravedad? Descríbela y represéntala a través de un dibujo.
Evidencia es posible que halla gravedad ya que en un caso se dejan caer dos objetos a determinada altura. en el cual uno es mas grande que el otro el pesado puede caer mas rapido y el otro mas lento pero caen a la misma velocidad de gravedad.



los dos son atraidos con la misma fuerza de gravedad y se ve que el mas pesado cae mas rapido.

Cuando liberamos los cuerpos en el aire caen al suelo ¿A qué se debe su caída?
Se debe a la gravedad que tiene la tierra sobre el cuerpo de menor masa.



¿A qué le atribuyes que la Luna permanezca girando como satélite natural alrededor de nuestro planeta?
permanece girando alrededor ya que la luna es menor a la tierra y tambien el sol la atrae pues yo digo que la gravedad de la luna debe ser mas densa.

¿Qué crees que sucedería con la Luna sí la Tierra desapareciera de un momento a otro?
pues yo creo que seria atraida por otro planeta o por un hoyo negro y desapareceria si es absorvida. o tambien la atraeria el Sol y la derritiera.

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 2
"LA GRAVEDAD COMO ACELERACIÓN"

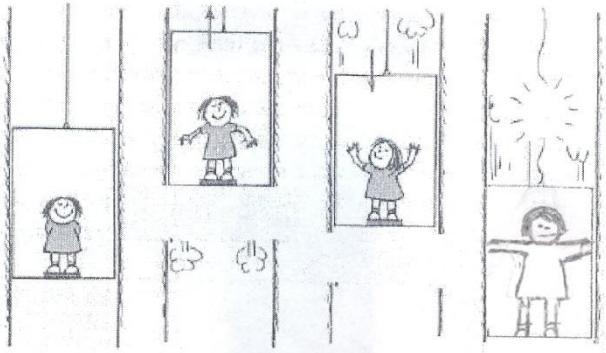
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individual

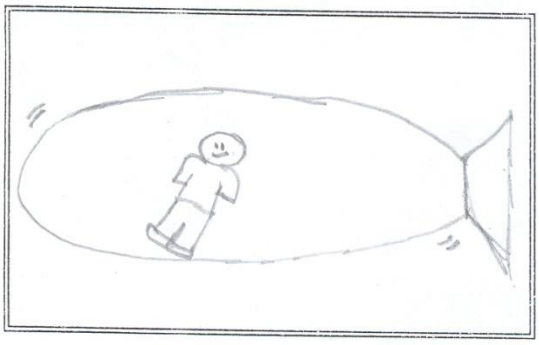
Nombre: Zamudio Moreno Angela María
Fecha: 11/11/2011 **Ciclo:** 5 **Curso:** 10-

¿Qué crees que ocurriría con una persona que se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene?. Completa el dibujo



El ascensor caería a una gran velocidad teniendo en cuenta que la tierra atraería hacia su centro el ascensor.

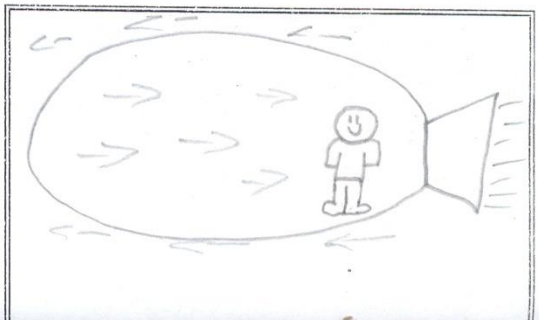
Imagínate dentro de una nave espacial que se encuentra en reposo en el espacio exterior en el que no actúan influencias gravitacionales ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo



La nava al permanecer en reposo yo quedaria o estaria Flotando ya que ninguna fuerza gravitacional actúa sobre mí.

Ahora, piensa en que la nave espacial empieza a moverse y a aumentar su velocidad cada vez más, es decir, acelera en gran medida ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo.

Pues si no existe fuerza de gravedad saldria impulsada en sentido contrario a la direccion a la que va la nave.



COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 2
"LA GRAVEDAD COMO ACELERACIÓN"

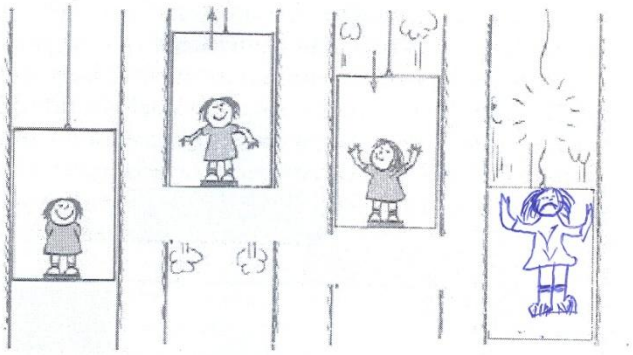
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individual

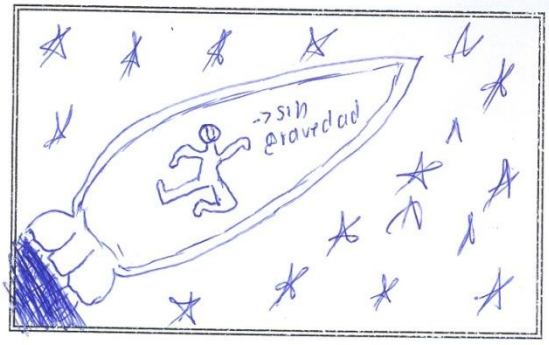
Nombre: Brayan Stiven Barragan Herrera
Fecha: 17-11-11 **Ciclo:** 5 **Curso:** 11º

¿Qué crees que ocurriría con una persona que se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene?. Completa el dibujo



La persona queda como en un estado de menos peso y pues el Ascensor cae mas rapido haciendo chocar a la persona con su parte superior.

Imagínate dentro de una nave espacial que se encuentra en reposo en el espacio exterior en el que no actúan influencias gravitacionales ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo



Obviamente uno tambien queda "Flotando" dentro de la nave sin fuerza de gravedad pero si la nave tuviera un sistema de gravedad artificial quedariamos normal dentro de la nave.

Ahora, piensa en que la nave espacial empieza a moverse y a aumentar su velocidad cada vez más, es decir, acelera en gran medida ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo.

Despues de que partimos del reposo 1ao fuerza que generara la aceleracion de la nave nos mandaria atras de la nave.

COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
UNIDAD DE APRENDIZAJE No. 2
"LA GRAVEDAD COMO ACELERACIÓN"

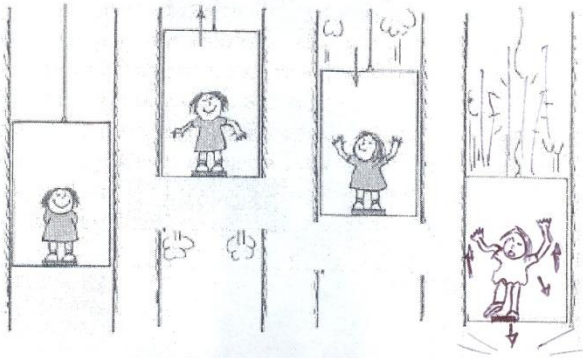
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Hoja de preconceptos individual

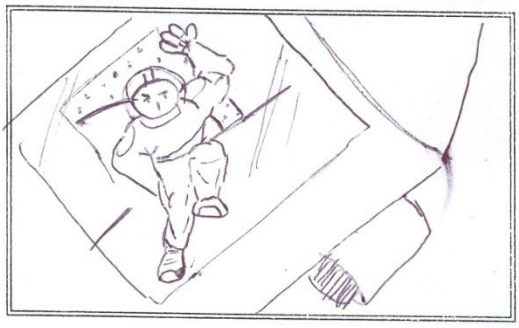
Nombre: Jocsan Zorrso.
Fecha: 11/11/11 **Ciclo:** 5 **Curso:** 11°

¿Qué crees que ocurriría con una persona que se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene?. Completa el dibujo



el cuerpo se suspende en medio del ascensor teniendo una velocidad menos que el ascensor, resultando una caida de la persona muy fuerte por la fuerza gravitacional.

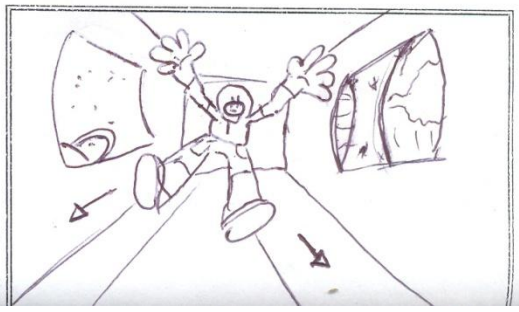
Imagínate dentro de una nave espacial que se encuentra en reposo en el espacio exterior en el que no actúan influencias gravitacionales ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo



en el espacio exterior la gravedad actua diferente, nuestro peso es mucho mas liviano, podriamos desplazarnos ligeramente, por lo cual la fuerza gravitacional es muy poca.

Ahora, piensa en que la nave espacial empieza a moverse y a aumentar su velocidad cada vez más, es decir, acelera en gran medida ¿Qué te ocurriría? Explica y realiza un dibujo.

si estamos en reposo, el impulso que genera el aumento de velocidad, actua sobre el cuerpo y me desplazaria hasta la parte de atras de la nave por causa de la misma gravedad



Jeisson Briceño

	NEWTON	Einstein.
Gravedad.	Newton reflexionó y se imaginó que había una F universal que actua sobre todos los cuerpos haciendo que se atraigan entre sí, y la llamó "Fuerza de gravitación universal" o "Gravedad".	Para einstein la gravedad no era una F instantanea, y el pensaba en un experimento: si el sol se desapareciera tendriamos 8 minutos de luz pero la tierra no tendria atracción solar y saldria despedida.
Espacio tiempo.	El tiempo es relativo para todos, para el tiempo no importa si hay un evento predeterminado, este sigue corriendo, puesto que es independiente por lo cual siempre avanza.	El tiempo y el espacio son relativos y se complementan, einstein dice que si el tiempo cambia, el espacio tambien lo hará por tanto siempre estaran unidos.
principio de equival.	Son equivalentes la aceleración y la F gravitacional y dice que si estamos en una nave espacial en reposo y la nave acelera, podremos sentir una F muy similar a la Gravedad.	Este puede enunciarse así: el resultado de cualquier experimento no gravitacional desplazandose en un sistema inercial es independiente de la V del laboratorio de su localización en el espacio.
Trayectoria de la luz.	Planteo que la luz viaja en linea recta y tambien que se refracta por su cambio de velocidad, pues Newton afirma que esta es infinita.	propuso que la luz sigue una trayectoria más corta, pero esta tambien se curva, a medida que el espacio se curva.
órbita de mercurio	Newton notó que la orbita del planeta mercurio era irregular, y eliptica y este calculó que se movia una diezmilesima de grado al año.	mediante tremendamente complejas ecuaciones matematicas einstein llego a una cifra muy aprox. a los 43" seg. de arco de presición de la orbita de mercurio.

	NEWTON	EINSTEIN
irvatura de la luz.	la luz no tiene masa por tanto no se curva porq' sea atraido por la masa del sol de la manera q' dice la gravitación. la luz no se curva sino q' se desvia pero en linea recta.	• la luz se curva pero para q' este Fenome se cumpla debe pasar cerca de una mas • la luz no tiene masa, por lo tanto no se curv por q' sea atraida por la masa del sol, de manera q' dice la gravitación de Newto sino q' está se curva por q' tiene q' seg la curvatura del espacio-tiempo.
ibitales de Mercurio	los astronomos dicen q' el dezplazamiento de mercurio era de 574" por siglo lo q' ya habia sido demostrado. Pero Newton solo predijo 531" por siglo esta diferencia la trato de explicar diciendo q' havia un planeta cercano llamado vulcano el cual perturbaba dichas orbitas pero esté jamas fue encontrado.	Einstein encontro los 43" q' necesitava co cluyendo con su teoria de la relatividad g neral y lo explicava diciendo q' este Fenomen es producto de un espacio tiempo curvo.
pacio	El espacio es absoluto, infinito, inmovil, inmaterial, homogeneo y dotado de una estructura inclinado tridimencional tal y como exige su axioma de Movimiento en donde los objetos se mueven uniformemente o aceleradamente.	El universo tiene 3 dimenciones, pero el Espacio tiempo posee 4 dimenciones q' po en curvas temporales cerradas.
Gravedad.	Es la fuerza de atracción de 2 o más cuerpos uno de menor masa a otro de mayor masa.	puede representarse como un campo tens rial de Fuerzas Ficticias: «Dicha fuerza es una ilusión, un efecto de la geometria del espacio tiempo. la tierra deforma el espacio tiempo de nuestro entorno, de manera q' el pr nos empuja hacia el suelo».
ncipio de Equivalencia.	Afirma q' puntualmente es indistinguible un sistema campo gravitatorio de un sistema de referencia acelerado	Dicho principio supone q' un sistema q' se mueve en una región de espacio tiempo sin gravedad se encuentra en un estado Fisico sustancialmente similar se trata de un sistema inercial.

	EINSTEIN	Newton
Curvatura de la Luz	Uno de los efectos mas sorprendentes que descubrio Einsten cuando desarrollaba su teoria de la relatividad general fue que en un campo gravitatorio de la luz se curva, pero para que sea apreciable este fenomeno, la luz tiene que tener o pasar cerca de una gran masa.	El dice que no tiene masa por lo tanto no se curva.
Orbita de mercurio	El dice que dicha precesión debería existir aunque no estuvieran presentes el resto de planetas, siendo este fenomeno producto de que mercurio orbitara dentro de un espacio tiempo curvo.	Segun Newton, las orbitas de los deben ser elipticas y fijas, pero debido a la influencia de otro planetas, dichas orbitas son perturbadas.
Espacio	Proponia que el espacio que el espacio y el tiempo se combinaban en una unica construcción conocida como espacio-tiempo	el universo tiene 3 dimensiones pero espacio tiempo posee 4 dimensiones que poseen curvas temporales cerradas
gravedad	es la fuerza de atraccion de 2 o mas cuerpos uno de mayor masa y otro de menor masa	puede representarse como un cuerpo tensorial de fuerzas electricas un efecto de la geometria del espacio de nuestro entorno la tierra de el espacio de manera que el nos empuja hacia el suelo
Principio de equivalencia	dicho principio supone que un sistema que se mueve en una region del espacio tiempo sin gravedad se encuentra en un estado fisico sostancialmente similar se trata de un sistema inicial	Afirma puntualmente que es indistinguible un sistema campo gravitatorio de un sistema de referencia acelerado

EINSTEIN	NEWTON
Einstein revolucionó el concepto de la gravedad al desarrollar la teoría general de la relatividad, describiendo la interacción gravitatoria como una deformación de la geometría del espacio-tiempo por efecto de la masa de los cuerpos. Según Einstein no existe ningún empujo gravitatorio, se trata tan solo de una ilusión, un efecto de la geometría. De este modo, la masa de la tierra deforma el espacio-tiempo de nuestro entorno, así que el propio espacio nos empuja hacia ella.	Ley de gravitación Universal. Bernard Cohen afirma que "el momento culminante de la revolución científica fue el descubrimiento realizado por Newton de la ley de la gravitación universal" Con una simple ley, Newton dio a entender los fenómenos físicos más importantes del universo observable, explicando las 3 leyes de Kepler. La ley la gravitación universal descubierta por Newton se escribe: $\vec{F} = -G \cdot m_1 m_2 / r^2$. Esta ley nació en 1685 como culminación de una serie de estudios.
Principio de equivalencia. La formulación de Einstein se obtiene al incorporar la relatividad especial al principio de equivalencia de Galileo. Formalmente puede enunciarse de la siguiente manera: El resultado de cualquier experimento no gravitacional en un laboratorio desplazándose en un sistema de referencia inercial es independiente de la velocidad del laboratorio o de su localización en el espacio-tiempo. Esta es la forma más usual del principio de equivalencia.	Principio de equivalencia. El principio de equivalencia implica así mismo que los observadores situados en reposo sobre la superficie de la tierra no son sistemas inerciales (experimentan una aceleración de origen gravitatorio de unos 9,8 metros por segundo al cuadrado, es decir "sienten su peso)

EINSTEN	NEWTON
Curbatura de la luz Cuando einsten desarrollaba su teoria de relatividad general, su descubrimiento fue que en un campo gravitacional la luz se curba, pero para que este fenomeno sea apreciable, la luz tiene que pasar cerca de una gran masa, el penso que esto se podria probar, utilizando las estrellas situadas "cerca" del sol, pero su radiacion solar es muy intensa. Pero en 1919 Edditon realizo este esperimento en un dia eclipsado	**curbatura de la luz** la gravitacion universal es mucho mas que una fuerza dirigida al sol. Es un efecto de los planetas sobre el sol y sobre los objetos del universo. Newton dice "si un objeto atrae a un segundo objeto, este segundo tambien atrae el primero con la misma fuerza", y afirmo "los planetas ni se mueben exactamente en elipses, ni giran dos veces segun la misma orbita
Orbita de mercurio Einsten con su teoria de la relatividad general nos da una explicacion de este fenomeno, obteniendo en primera aproximacion una desviacion del perihelio de la orbita de cualquier planeta acorde a la formula $\Delta\phi = 24\pi^3 \cdot a^2 / T^2 \cdot c^2 (1-\varepsilon^2)$ rad. a: es el semieje maya de la orbita elep-tica, la exectricidad de la orbita y T el tiempo de revolucion en segundos	**Orbita de mercurio** Al ser un planeta cuya orbita es interior a la de la tierra, mercurio periodicamente pasa delante del sol, fenomeno que se denomina trancito astronomico. observaciones de su orbita a traves de muchos años, demostraron que el perihelio gira 43" de arco mas por siglo de lo piedicho por la mecanica clasica de Newton.
ESPACIO El espacio en si esta siendo retorcido y curbado continuamente por la materia y la energia moviendose dentro de el, y el tiempo fluye a diferentes velocidades para distintos observadores. Experimentos en el mundo real a lo largo de los ultimos 100 años, indican que, sapiendentemente, Einstein estaba en lo cierto publicado en 1915.	**ESPACIO** Antes de 1905, cuando Albert einstein publico su teoria de la relatividad especial, la mayoria de la gente creia que el espacio y el tiempo eran como Isaac Newton lo habia demostrado en el siglo XVII: El espacio era estatico un "escenario inmutable en donde el gran drama cosmico se desarrollaba, y y el tiempo era el misterio, universal "reloj en el cielo"

GRAVEDAD DESDE LAS CONCEPCIONES DE NEWTON Y EINSTEIN

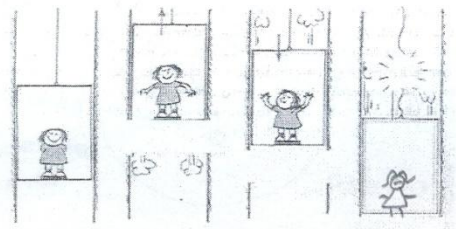
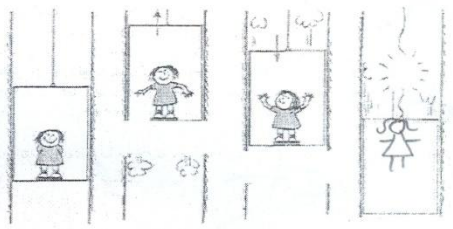
COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
L.Q.S -LO QUE SABEMOS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Nombre: Carolina Andrea oyola E. Ciclo: 5 Curso: 7º

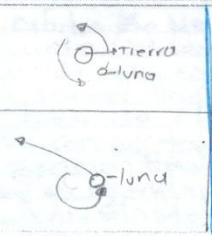
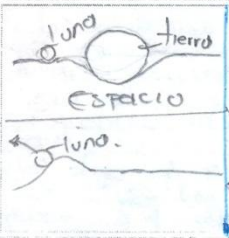
1. Una persona se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene ¿Qué ocurre con la persona durante la caída? Completa y explica el dibujo teniendo en cuenta las posibles explicaciones dadas por Newton y por Einstein.

Newton	Einstein
	
la niña se sentira mas liviana	pegada al techo por la presión del ascensor

2. ¿En qué consiste el principio de equivalencia y quién lo propuso?

Es un sistema q' se mueve en caida libre y otro q' esta en un espacio tiempo o gravedad propuesto por Einstein.

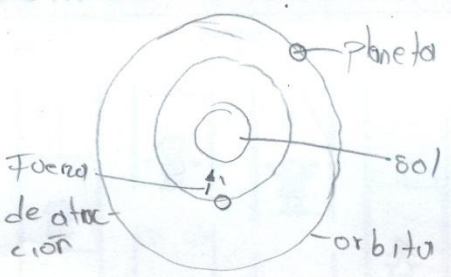
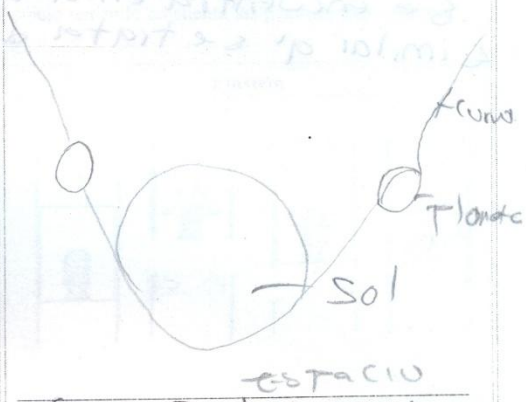
3. En el supuesto de que la Tierra desapareciera qué ocurriría con la Luna, según Newton y Einstein. Explica y realiza un dibujo.

Newton		Einstein	
	El dice q si la tierra desaparece la luna va a salir proyectada por el impulso al instante		El dice q' si la tierra desaparece va a salir expulsada por una onda q' va a producir la tierra al desaparecer pero es despues de unos segundos

4. ¿qué entiendes por gravedad?

Es la Fuerza q' nos atrae a la tierra, y tamben es la Fuerza de atracción de dos cuerpos.

5. De acuerdo con la ley de gravitación universal propuesta por Newton y con la teoría general de la relatividad expuesta por Einstein. ¿Qué es la gravedad? Completa el cuadro. Realiza un dibujo

Newton	Einstein
	
Es la fuerza de atracción de los cuerpos, en este caso del sol y sus planetas, el sol posee más masa por lo tanto posee más fuerza de atracción.	Segun Einstein en el espacio se forman curvas por las masas, y entre mayor sea la masa mayor será la curva.

6. ¿Qué descubrimientos o explicaciones, que hasta el momento no se habían podido definir, trajo consigo la teoría general de la relatividad? Enuméralas y explica cada una de éstas.

1. curvatura de la luz: Segun Newton: la luz NO se curva porq no posee masa y esta siempre va en linea recta y puede q' cambe de dirección pero en linea recta.
Einstein: la luz se curva cuando pasa cerca de una masa o se estrella con esta
2. Orbita de Mercurio: Newton: los astronomos descubrieron q' Mercurio se desplazaba 574" por siglo pero Newton solo predijo 531" por siglo esta diferencia la explico diciendo q' habia un planeta llamado vulcano q' era el q' perturbaba las orbitas de Mercurio. Einstein: Encontro los 43" q' faltaban con su teoria de la relatividad
3. Espacio: Newton: El ~~predijo~~ q' dijo q' el espacio es vacio, infinito e inmovil q' los "los cuerpos "flotan" en él. Einstein: El espacio posee 4 dimenciones y la cuarta es el espacio-tiempo.

4. Gravedad: Newton: Es una fuerza q' ejercen las masas. Einsten: Es una curvatura en el espacio q' hace q' se forme una fuerza de presión.

5. Principio de Equivalencia: Newton: Afirma q' es indistinguible en un sistema o campo gravitatorio, de un sistema de referencial acelerado Einstein un sistema q' se encuentr en caida libre y otro q' se mueve en una region de espacio-tiempo sin gravedad se encuentra en un estado físico sustancialmente similar q' se trata de sistemas de inercia.

GRAVEDAD DESDE LAS CONCEPCIONES DE NEWTON Y EINSTEIN

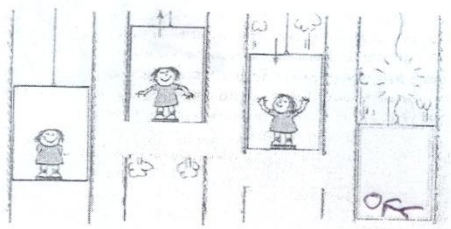
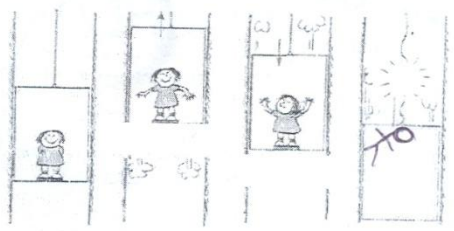
COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
L.Q.S -LO QUE SABEMOS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Nombre: Jeyson Franco Ciclo: 5 Curso: 10°

1. Una persona se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene ¿Qué ocurre con la persona durante la caída? Completa y explica el dibujo teniendo en cuenta las posibles explicaciones dadas por Newton y por Einstein.

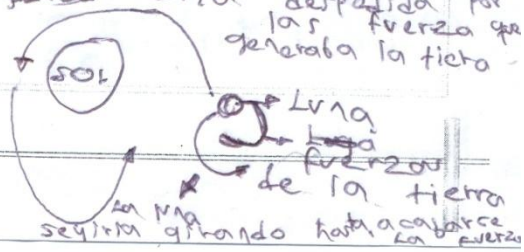
Newton	Einstein
	
La persona es atraida hacia el suelo por el poder de gravedad que ejerce el planeta	La persona queda atropada en el techo por que opone resistencia en el momento de la caida.

2. ¿En qué consiste el principio de equivalencia y quién lo propuso?

Dice que podemos experimentar una fuerza parecida a la graveda si estamos dentro de un cuerpo y este acelero.

3. En el supuesto de que la Tierra desapareciera qué ocurriría con la Luna, según Newton y Einstein. Explica y realiza un dibujo.

Newton	Einstein
La luna seria fuerte mente atraida al sol ó a otro cuerpo que tenga mas masa.	La luna daria orbitas al sol hasta encontrar otro cuerpo con mas fuerza para atraerlo, y ~~seria~~ seria despedida por las fuerza que generaba la tierra



4. ¿qué entiendes por gravedad?

Es la fuerza de atracción que ejerce un cuerpo sobre otro de acuerdo a su masa.

5. De acuerdo con la ley de gravitación universal propuesta por Newton y con la teoría general de la relatividad expuesta por Einstein. ¿Qué es la gravedad? Completa el cuadro. Realiza un dibujo

Newton	Einstein
A mayor masa mas atracción y un cuerpo mucho mas masa que otro lo atrae.	Los cuerpos generan fuerzas curvas en el espacio y estas fuerzas atraen a otros cuerpos minusculos en masa con menos energia.

6. ¿Qué descubrimientos o explicaciones, que hasta el momento no se habían podido definir, trajo consigo la teoría general de la relatividad? Enuméralas y explica cada una de éstas.

El agujero negro fue explicado por Einstein que eran fuerzas de energia en curvas que eran tantas que destruian a planetas y se hacian mas grandes y fuertes estas fuerzas.

Las orbitas de los cuerpos como: planetas (mercurio), asteroides, y satelites. ~~puestos~~ ~~to~~ estos giran alrededor de otro cuerpo con mas fuerza o masa en ovalos para almacenar energia y no impactar. Ep y EC.

GRAVEDAD DESDE LAS CONCEPCIONES DE NEWTON Y EINSTEIN

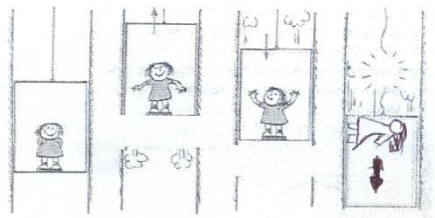
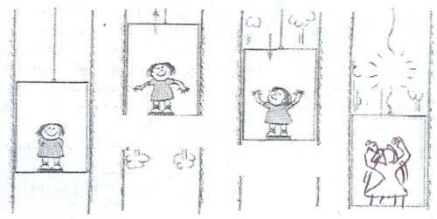
COLEGIO NUEVA DELHI
INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL
L.Q.S -LO QUE SABEMOS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Secretaría Educación

Prof. Jennyfer C. Sotelo F.

Nombre: Jeisson Briceño **Ciclo:** 5 **Curso:** 10

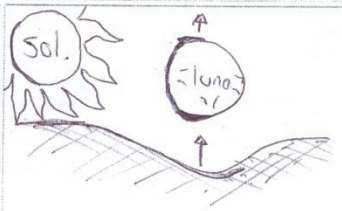
1. Una persona se encuentra en un ascensor y de repente se rompe el cable que lo sostiene ¿Qué ocurre con la persona durante la caída? Completa y explica el dibujo teniendo en cuenta las posibles explicaciones dadas por Newton y por Einstein.

Newton	Einstein
	
La niño se siente mas liviano por la caida de el ascensor se levantaria un poco al momento del corte pero volveria al suelo	La niño tiene un suelo constante mientras el ascensor cae, esto es debido a la aceleración que adopta el ascensor.

2. ¿En qué consiste el principio de equivalencia y quién lo propuso?

El principio de equivalencia. consiste en que si estamos en reposo en una nave y otra cosa en el espacio, y aceleramos experimentamos una f parecida a la gravedad... (Isaac Newton).

3. En el supuesto de que la Tierra desapareciera qué ocurriría con la Luna, según Newton y Einstein. Explica y realiza un dibujo.

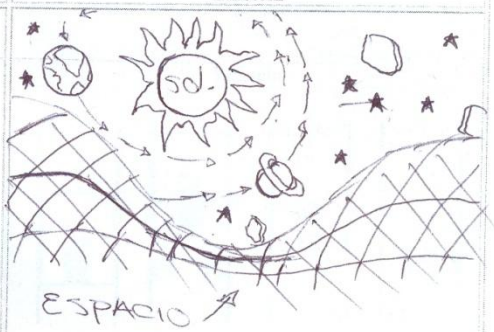
Newton	Einstein
	

Einstein: la curvatura que se crea en el espacio despide la luna.
Newton: la luna sale en linea recta hasta encontrar otro planeta.

4. ¿qué entiendes por gravedad?

Es una fuerza de atracción, que actua tanto en la tierra, como fuera de ella. Esta fuerza universal hace que los cuerpos se atraigan, entre sí.

5. De acuerdo con la ley de gravitación universal propuesta por Newton y con la teoría general de la relatividad expuesta por Einstein. ¿Qué es la gravedad? Completa el cuadro. Realiza un dibujo

Newton	Einstein
	
Los planetas giran al rededor del sol por la fuerza que este les genera atrayendo los hacia él.	La gravedad es una curvatura en el espacio que hace que el sistema solar y a su vez los sistemas más pequeños se atraigan.

6. ¿Qué descubrimientos o explicaciones, que hasta el momento no se habían podido definir, trajo consigo la teoría general de la relatividad? Enuméralas y explica cada una de éstas.

APÉNDICE 1

Balanza de torsión

El siguiente desarrollo teórico-experimental se muestra teniendo en cuenta los contenidos expuestos por Halliday et al (2002).

La balanza de torsión, como se aprecia en la figura 1, es un aparato sencillo que consiste en dos pequeñas esferas de plomo, con una masa m, que están sujetas a los extremos de una varilla ligera. Con su eje horizontal, esta pesa rígida se halla suspendida de una delgada fibra vertical. Dos grandes esferas de plomo y de masa M se ponen cerca de los extremo de la pesa, en lados opuestos. Cuando las grandes masas se encuentran en las posiciones A, atraen las masas pequeñas conforme la ley de gravitación; se ejerce un par sobre la pesa y lo hace girar en dirección contraria a las manecillas del reloj, como se ve desde arriba. La varilla alcanza una posición de equilibrio bajo las acciones contrarias del par gravitacional ejercido por las masas M y por el par **restaurador ejercido por la fibra torcida.** Cuando las masas grandes se hallan en las posiciones B, la pesa gira en dirección de las manecillas del reloj y alcanza una nueva posición de equilibrio. El ángulo 2θ, que gira a la fibra cuando se mueven las esferas de una posición (AA) a otra (BB), se mide observando la deflexión de un haz luminoso que se refleja contra un pequeño espejo sujetado a la varilla. El par y la fuerza gravitacional pueden calcularse partiendo de θ y de la constante torsional de la fibra (que se obtienen midiendo su periodo de oscilación).

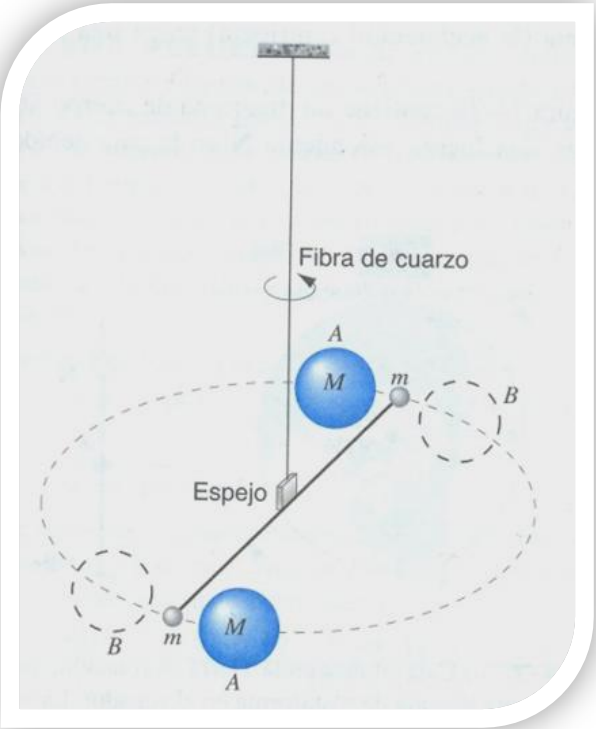


Figura 1 Vista esquemática del aparato con el que Henry Cavendish midió en 1798 la constante gravitacional G. las esferas grandes de masa $\boldsymbol{M}$, mostradas en el lugar **AA**, también pueden moverse al lugar **BB**.

Se calcula G cuando se conocen los valores de las masas m y M, así como la separación de sus centros.

Los datos originales de Cavendish arrojaron un valor de G de $6{,}75\ x\ 10^{-11}\ N\ m^2/Kg^2$. En más de 200 años, desde esa ápoca, muchas veces las mismas técnicas básicas que emplean el equilibrio de torsión se siguen aplicando para volver a obtener esta medición; se obtienen así el valor actualmente aceptado de G,

$$G = 6{,}673\ x\ 10^{-11}\ N\ m^2/Kg^2\ ,$$

con incertidumbre de $\pm\,0{,}010\ x\ 10^{-11}\ N\ m^2/Kg^2$, es decir, cerca de $\pm\,0{,}15\%$. Esta precisión no es impresionante frente a los resultados de medir otras constantes físicas; por ejemplo, la masa del electrón se ha medido con una precisión de $\pm\,0{,}000008\%$ aproximadamente. En los experimentos de laboratorio no es fácil mejorar de modo sustancial la exactitud del valor medido de G debido a su pequeña magnitud y al valor comparativamente pequeño de la fuerza entre los dos objetos. Si se emplean dos esferas de plomo con 10 cm de diámetro (y 6 Kg de masa), la fuerza gravitacional máxima entre

ellas, cuando están lo más cerca posible, es de unos $2\,x\,10^{-7}\,N$, lo cual corresponde aproximadamente al peso de un trozo de papel de superficie $1\,mm^2$.

Esta dificultad al medir G es desafortunada, porque la gravitación es sumamente importante para las teorías referentes al origen y la estructura del universo. Por ejemplo, nos gustaría saber si G es en verdad una constante. ¿Cambia con el tiempo? ¿Depende del estado físico o químico de las masas? ¿Depende de su temperatura? A pesar de muchas investigaciones experimentales, hasta la fecha tales variaciones no se han confirmado de manera equívoca, aunque continúan perfeccionándose y mejorándose las medidas, así como las pruebas experimentales.