



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estudio del fenómeno de la caída de los objetos desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos: una propuesta para el desarrollo de competencias científicas

Mónica Marcela Alarcón Rodríguez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Bogotá, Colombia

2012

Estudio del fenómeno de la caída de los objetos desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos: una propuesta para el desarrollo de competencias científicas

Mónica Marcela Alarcón Rodríguez

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:
Profesor Facultad de Ciencias
Carlos Augusto Hernández

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

Resumen

Este trabajo de grado presenta el diseño e implementación de una propuesta para la enseñanza de la caída de objetos, basada en la perspectiva de los Sistemas Dinámicos y orientada al desarrollo de competencias científicas de los estudiantes de grado noveno de la Escuela Pedagógica Experimental. Este trabajo pretende llenar el vacío conceptual que genera una enseñanza de la física de tipo algorítmico, utilizando como excusa un fenómeno de la física para desarrollar conceptos claves. A partir de análisis, discusiones y experimentos se desarrollan ocho sesiones de clase en las que los estudiantes argumentan, comparan y ponen a prueba el modelo mental que han construido del fenómeno. Las explicaciones y el análisis de las actividades desarrolladas por los estudiantes muestran que no es un error conceptual considerar el peso como una variable relevante en la caída del objeto. Durante la implementación fue evidente la motivación, el deseo de los estudiantes por responder sus preguntas y la construcción de un modelo explicativo del fenómeno con un nivel de complejidad mayor al inicialmente propuesto; sin embargo el análisis del fenómeno como sistema en donde las variables se retroalimentan, no se logró de manera explícita. En consecuencia se recomienda realizar una introducción a los elementos básicos de los Sistemas Dinámicos.

Palabras clave: Sistemas Dinámicos, Caída de Objetos, Enseñanza de la Física, Competencias Científicas, Experimentación.

Contenido

	Pág
Resumen	III
Lista de figuras	V
Lista de tablas	VI
Introducción	9
1. Competencias Científicas.....	12
1.1 Competencia para construir, comprender y discutir explicaciones, representaciones o modelos sobre los fenómenos	13
1.2 Competencia para utilizar los sistemas dinámicos como una perspectiva y metodología de estudio de un fenómeno	15
1.3 Competencia para diseñar experimentos como herramienta para contrastar hipótesis y modelos	17
2. Estudio del fenómeno de la caída de objetos	20
2.1 Leyes de Newton	21
2.2 ¿Afecta el peso a la velocidad de la caída de los objetos?.....	24
2.3 El problema de la caída de objetos en la clase de Física	27
2.3 La caída de objetos desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos.....	27
3. Descripción de la propuesta de enseñanza	32
3.1 Metodología	33
3.2 Actividades	35
4. Análisis descriptivo de la implementación	38
4.1 SESIÓN 1	38
4.2 SESIÓN 2	39
4.3 SESIÓN 3	43
4.4 SESIÓN 4	43
4.5 SESIÓN 5	44
4.6 SESIÓN 6	45
4.7 SESIÓN 7	46
4.8 SESIÓN 8	47
5. Conclusiones y recomendaciones	48
5.1 Conclusiones	48
5.2 Recomendaciones.....	52
Anexo: Desarrollo del problema en el software Stella.....	53
Anexo: Análisis del video	56
Bibliografía	59

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 2-1: Representación de las fuerzas sobre una pluma que va cayendo	28
Figura 2-2: Diagrama del modelo realizado en el software Stella	29
Figura 4-1 Fotografía del video realizado por los estudiantes.....	43
Figura 4-2 Seguimiento de la caída de un globo	46

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1-1: Competencias Científicas	12
Tabla 2-1: Velocidad límite de algunos objetos	28
Tabla 4-1: Tabla de comentarios del modelo 1, propuesto por los estudiantes.....	38
Tabla 4-2: Tabla de comentarios del modelo 2, propuesto por los estudiantes.....	39
Tabla 4-3: Análisis descriptivo de los argumentos de la sesión 2	39
Tabla 4-4: Respuestas de los estudiantes sobre el experimento	42
Tabla 4-5: Respuestas al análisis de los datos obtenidos	45

Lista de ecuaciones

	<u>Pág.</u>
Ecuación 1	281
Ecuación 2	22
Ecuación 3	22
Ecuación 4	22
Ecuación 5	22
Ecuación 6	22
Ecuación 7	25
Ecuación 8	25
Ecuación 9	25
Ecuación 10	25
Ecuación 11	25
Ecuación 12	25
Ecuación 13	25
Ecuación 14	25
Ecuación 15	25
Ecuación 16	25
Ecuación 17	26
Ecuación 18	26
Ecuación 19	26
Ecuación 20	26

Introducción

El estudio de la caída de objetos es un problema clásico en la historia de la física. En el siglo XVII Galileo Galilei publica un libro titulado *Dos ciencias nuevas*. Controvertidas y excepcionales son las afirmaciones que aparecen en él, no solo por el método de estudio que había empleado Galileo para plantear la teoría de la caída libre de cuerpos sino también por la descripción cuantitativa del fenómeno, hecho insólito para su época. Fue tal el impacto e incidencia que tuvo la teoría de la caída libre de cuerpos, que a Galileo se le considera como el primer físico moderno (MARCH, 1997). El método experimental y el razonamiento realizado se constituyeron en términos de T. Kuhn, en un paradigma en el desarrollo de la Física. Este problema merece la pena estudiarlo por su valor histórico y por el conflicto conceptual que puede suscitar entre lo que plantea la teoría y las explicaciones de los estudiantes.

En la enseñanza de la física existen conceptos que no son fácilmente aprehendidos por los estudiantes. La teoría que se enseña y que aparece en los libros de texto corresponde a un modelo ideal, producto de una abstracción que, si bien hace parte de modelos y teorías de la física, no hace parte de la cotidianidad del estudiante (experiencia), razón por la cual el estudiante se encuentra en un conflicto conceptual en el que, a pesar de las intenciones y esfuerzos, prevalecen en la mayoría de los casos los pre conceptos.

Un caso particularmente conflictivo que ejemplifica esta situación se presenta en el estudio de la mecánica al abordar el problema de la caída de objetos. Por ejemplo, si se suelta un par de objetos a la misma altura y se pregunta a un grupo de estudiantes ¿cuál toca primero el suelo?, algunos estudiantes pueden considerar que los dos objetos lleguen al mismo tiempo al suelo o que sea el objeto más pesado el que llegue primero. Esta situación puede darse tanto en el caso en el que los estudiantes no conocen la teoría física que explica el fenómeno como en el que los estudiantes ya conocen y han estudiado esta teoría.

Este tipo de contradicciones entre la teoría que se enseña y lo que aprenden los estudiantes muestra la poca o nula comprensión por parte de los estudiantes de la teoría física. Una referencia que ilustra lo anterior es el estudio realizado por el

Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Alicante que dio como resultado que el 42% de los estudiantes de carreras científicas establece una relación directa entre el peso del cuerpo y la velocidad de caída (Conocimientos de Física de alumnos universitarios. Influencia de las reformas educativas, 2003). Este estudio muestra como la dificultad no solo se presenta en la secundaria sino también en la educación universitaria.

Exponiendo estas cuestiones surge la pregunta sobre cuál sería la posible solución a esta dificultad en la enseñanza de la mecánica. Al respecto se expone una propuesta para abordar este problema desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos basada en modelos mentales contruidos por los estudiantes, enriquecidos a partir de discusiones y experimentos mentales y físicos que permitan analizar el fenómeno mediante bucles de retroalimentación y diagramas de flujo-depósito, favoreciendo así la comprensión de los fenómenos como procesos y además contribuyendo al desarrollo de competencias científicas.

La propuesta no pretende limitar el estudio a cierto tipo de parámetros para que coincidan los resultados con la teoría. Inicialmente se plantea la pregunta: si se sueltan dos objetos desde la misma altura ¿cuál de los dos objetos llega primero al suelo? en este primer momento las variables y parámetros considerados por los estudiantes pueden ser múltiples; sin embargo, en el desarrollo de las sesiones se analiza la incidencia de cada una de estas sobre el fenómeno, de manera tal que en un momento se pueda considerar que bajo ciertas condiciones se pueda idealizar el fenómeno y considerar que el movimiento del objeto que cae tiene un valor de aceleración constante (teoría de la caída libre de los cuerpos).

Esta abstracción es fundamental en la enseñanza de la física pues es importante que los estudiantes reconozcan que las teorías no son una explicación del mundo sensible sino una aproximación a éste, que para llegar a ellas es necesario despojar al fenómeno de ciertas variables para hacer más asequible su estudio y que su aplicación tiene un rango de validez.

Las actividades propuestas están divididas en ocho sesiones: inicialmente se plantea un caso sobre el cual se deben realizar predicciones para luego ser sustentadas ante todo el grupo; posteriormente se diseña y realiza un experimento que corrobore el modelo o argumentación planteada, y finalmente se realiza el análisis de los datos obtenidos. Este proceso se replica para los diferentes casos planteados; variación de la altura desde la que se lanza el objeto, diferentes pesos e igual material (densidad), diferentes áreas transversales e igual altura, diferente forma de los objetos e igual material, con el fin de proporcionar elementos que le permita a los estudiantes construir un

modelo complejo del fenómeno. El diseño de las actividades que se realizan con los estudiantes está orientado por las competencias científicas que se pretenden desarrollar y que se exponen en el capítulo 1.

En el capítulo 2 se realiza una exposición histórica, epistemológica y disciplinar del problema de la caída de objetos. En el capítulo 3 se describe la metodología de la implementación de la propuesta. Finalmente, en el capítulo 4 se realiza un análisis descriptivo de las explicaciones, respuestas, discusiones y experimentos que se dieron durante la implementación. En la parte de conclusiones se valora en qué aspectos y en qué medida se desarrollaron las competencias científicas planteadas en la implementación de la propuesta de enseñanza.

1. Competencias Científicas

El término Competencia Científica hace referencia a “la capacidad de establecer un cierto tipo de relación con las ciencias” (HERNANDEZ). En este trabajo se particulariza en algunas de las capacidades que podrían desarrollar los estudiantes de básica y media con el objetivo de construir una perspectiva que les permita acceder y comprender la ciencia.

El objetivo de este trabajo de grado es diseñar y aplicar una propuesta para el desarrollo de competencias científicas en el estudio del fenómeno de la caída de objetos basado en los Sistemas Dinámicos. Las competencias científicas implicadas en este objetivo se dividen en tres tipos:

Tabla 1-1: Competencias Científicas

Competencia Tipo A Competencia para construir, comprender y discutir explicaciones, representaciones o modelos sobre los fenómenos¹	Competencia B Competencia para utilizar los sistemas dinámicos como una perspectiva y metodología de estudio de un fenómeno	Competencia C Competencia para diseñar experimentos como herramienta para contrastar hipótesis y modelos
<p style="text-align: center;">Nivel 1</p> <p>Capacidad de construir modelos de explicación y anticipación de fenómenos o acontecimientos.</p>	<p style="text-align: center;">Nivel 1</p> <p>Capacidad de pensar los problemas o fenómenos desde una mirada de causalidad circular.</p>	<p style="text-align: center;">Nivel 1</p> <p>Capacidad de diseñar experimentos que permitan responder a preguntas específicas Capacidad para controlar las variables y parámetros del experimento Capacidad de establecer y realizar un proceso de medición Capacidad de fundamentar los puntos de vista en razones, fenómenos o</p>

¹ Esta competencia se toma de las competencias básicas propuestas por el MEN

		acontecimientos
Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2
Capacidad de construir modelos de explicación de fenómenos o acontecimientos empleando nociones o conceptos de las ciencias.	Capacidad de establecer variables en términos de <i>flujos (flow)</i> y <i>depósitos (stocks)</i> y determinar qué cantidades son parámetros.	Capacidad de interpretar los datos experimentales. Capacidad de analizar los resultados obtenidos a la luz de los objetivos propuestos
	Nivel 3 Capacidad de aplicar el conocimiento adquirido a partir del análisis dinámico de fenómenos, en su campo de problemas y en situaciones nuevas	

1.1 Competencia para construir, comprender y discutir explicaciones, representaciones o modelos sobre los fenómenos

NIVEL 1

- Capacidad de construir modelos de explicación y anticipación de fenómenos o acontecimientos

Construir modelos es una acción inherente a los humanos; nuestras acciones están mediadas por la representación que a lo largo del tiempo y de la experiencia hemos forjado del mundo. Esta capacidad no es exclusiva de los adultos; los niños también realizan representaciones del mundo. Jean Piaget en la década del 70 publica un libro titulado *La representación del mundo en el niño* (PIAGET, 2001) en donde plantea etapas evolutivas fijas del desarrollo cognoscitivo, común a estas etapas es la relación entre la interacción con el mundo y la información que obtienen los niños a partir de los sentidos, de manera que en cada una de estas etapas el niño está construyendo modelos del mundo de acuerdo a sus vivencias. Un ejemplo común de representación de un modelo en todas las sociedades es el lenguaje: la máxima representación de la realidad. En palabras de Wittgenstein, “Un modo de hablar es un modo de vivir”, por lo que modificar los modos de hablar de las personas, como lo plantea Guidoni en su libro Enseñar Ciencia, (GUIDONI, y otros, 1990) “es inútil,.... porque éstos, que expresan modos de

pensar, y que constituyen los modos de comunicarse con los otros, son espejo y base de los diversos modos de vivir”.

Para algunos autores un modelo es una representación física o mental, y para otros (ARCA, y otros, 2000) es exclusivamente una representación mental que pertenece a un dominio lingüístico. Para el contexto en el cual se presenta este trabajo, el concepto de modelo hace referencia a una representación mental, que permite poner lo desconocido en términos de lo conocido, explicar situaciones o fenómenos, realizar predicciones y anticiparse al futuro.

NIVEL 2

- Capacidad de construir representaciones o modelos de explicación de fenómenos o acontecimientos empleando nociones o conceptos de las ciencias.

Los niños nacen en un mundo estructurado del cual aprenden. Uno de los objetivos de la Escuela es hacerlo comprensible. Para Hannah Arendt (La educación en Hannah Arendt, 2007), “el niño entra en el mundo cuando empieza a ir a la Escuela y la Escuela es la institución que se encuentra entre el hogar (campo privado) y el mundo (campo público), de modo que la Escuela no es el mundo sino aquella institución que facilita la transición de la familia al mundo”.

A pesar de que existen posiciones totalmente opuestas y radicales como la de Ivan Illich (ILICH, 1985) que habla sobre la educación sin escuelas y defiende la posición de una sociedad desescolarizada, la realidad generalizada es que en edades cada vez más tempranas los niños ingresan a la Escuela. Dentro de las muchas cosas que aprenden los niños del campo público, como lo llama Hannah Arendt, está la ciencia; existe en todos los currículos o planes de trabajo del mundo, es innegable su importancia e impacto que para las sociedades. La ciencia y en particular la enseñanza de las ciencias aportan una manera de pensar y de abordar los problemas utilizando nuevos elementos, y estos elementos implican necesariamente educación.

Dentro de la educación una de las cosas que se enseñan es el lenguaje de las ciencias. A pesar de que se utilizan palabras del mismo idioma, su significado no corresponde al que se utiliza en un lenguaje cotidiano; en la cotidianidad alguien puede decir: *el día de hoy hace mucho calor*, queriendo expresar que la temperatura ambiente es mayor a la temperatura corporal; sin embargo, en esta afirmación se está considerando el *calor* como una cualidad o estado, diferente al concepto que se tiene en la física sobre el calor, y así como el calor existen otras palabras que se prestan para confusión como peso, fuerza, presión, potencia, etc., lo que significa que no necesariamente cuando un estudiante utiliza estos términos esté haciendo referencia a la ciencia o por lo menos lo esté utilizando de manera adecuada. Por ello en la enseñanza de las ciencias es importante hacer la diferenciación de significados y proveer experiencias que posibiliten que los estudiantes utilicen los conceptos de las ciencias y no únicamente las palabras.

Podría preguntarse por la necesidad de que los estudiantes utilicen conceptos de la ciencia dentro de sus modelos, si de hecho ya utilizan un modelo que muy seguramente les funciona. Sobre este aspecto existen posturas como la de Claxton (CLAXTON, 1994) que justifica acceder a los conocimientos científicos porque “importan en términos de la búsqueda de mejores maneras de explorar el potencial de la naturaleza, sin dañarla y sin ahogar al planeta. Importan en términos de la capacidad de la persona para introducirse en el mundo de la Ciencia por placer y diversión. Importan porque las personas necesitan sentir que tienen algún control sobre la selección y el mantenimiento de la tecnología que utilizan en sus vidas... e importan porque la Ciencia constituye una parte fundamental y en constante cambio de nuestra cultura y porque sin una comprensión de sus rudimentos nadie se puede considerar adecuadamente culto, como dijo C.P. Snow hace muchos años”.

Dependiendo de los conocimientos adquiridos, la representación de nuestro modelo se enriquece en la medida en que se dará cuenta de más fenómenos y el nivel de explicación puede ser más complejo. El uso de conceptos o nociones de la ciencia y en particular de la física implica por una parte aprehensión de los conceptos y por otra capacidad de hacer uso de ellos para realizar explicaciones y predicciones.

1.2 Competencia para utilizar los sistemas dinámicos como una perspectiva y metodología de estudio de un fenómeno

Los sistemas dinámicos son una perspectiva o forma de estudio que busca modelar fenómenos que cambian en el tiempo, prevaleciendo el análisis de las interacciones entre sus componentes sobre el estudio de los componentes del fenómeno, el cual es visto como un sistema. Pensar en un sistema implica una mirada holística en la que la suma de las partes es mayor que el todo. Se plantean dentro del análisis del sistema bucles de retroalimentación que relacionan los parámetros y variables del sistema dentro de una causalidad circular, en contraposición a una mirada de causalidad lineal, tan común en el estudio de diversos fenómenos. Un ejemplo clásico dentro de los sistemas dinámicos es el estudio de población que se hace a dos especies de animales que conviven, en donde una de ellas es depredadora y la otra es la presa. Para conocer la población no solo es necesario conocer la tasa de natalidad y mortalidad de cada una de las especies per se, sino que también es necesario tener presente las interacciones entre depredador y presa como por ejemplo que la tasa de mortalidad de la presa depende del número de depredadores, del alimento disponible e incluso del número total de presas de la manada; de igual manera la tasa de mortalidad del depredador depende entre otros factores del número de presas que haya en el territorio, pues si es bajo este valor el alimento será escaso y aumenta la tasa de mortalidad.

NIVEL 1

- Capacidad de pensar los problemas o fenómenos desde una mirada de causalidad circular.

Con causalidad circular se hace referencia a una forma de análisis de fenómenos o situaciones en los que la causa y el efecto se desdibujan; no es posible determinar cuál es la causa original pues las variables se retroalimentan. La causalidad circular, como lo expresa Donella Meadows (MEADOWS, 2008), no implica la mejor manera de pensar y analizar, sino contar con unos lentes diferentes con los que se pueden estudiar los fenómenos. Este concepto es clave en la Teoría General de Sistemas; implica un cambio epistemológico y una forma diferente de analizar las situaciones en el tiempo.

NIVEL 2

- Capacidad de establecer variables en términos de *flujos (flow)* y *depósitos (stocks)* y determinar qué cantidades son parámetros.

El estudio que se realiza en la física y en general en las ciencias con respecto a las variables está basado en identificar variables independientes y dependientes y a partir de esta relación encontrar una función que exprese la relación entre ellas, teniendo en cuenta las condiciones iniciales. Establecer las variables y parámetros en términos de flujos y depósitos permite analizar el fenómeno o mejor el sistema como un conjunto que se encuentra interrelacionado en una retroalimentación y cuyo comportamiento en determinado momento depende tanto de su estructura como del proceso.

Los depósitos en términos generales son las cantidades, magnitudes que se pueden contar, medir, percibir como: el número de peces en un estanque, la cantidad de agua en un tanque, el número de productos exportados, la riqueza de un país, la velocidad de un carro. El flujo es la cantidad que varía la cantidad o acumulación en el depósito, por ejemplo la tasa de mortalidad/natalidad de los peces, la tasa de llenado/vaciado del tanque, la calidad del producto que se exporta, el nivel educativo de un país, la aceleración de un carro.

NIVEL 3

- Capacidad de aplicar el conocimiento adquirido a partir del análisis dinámico de fenómenos, en su campo de problemas y en situaciones nuevas

A partir de la elaboración de explicaciones, de experimentos, de argumentaciones, de análisis se elabora un conocimiento acerca del fenómeno que se estudia. En la física las teorías no son válidas únicamente por su aplicabilidad en determinado campo, sino que son teorías porque tienen un rango de validez amplio que explican otros fenómenos o que brindan un soporte teórico para nuevas invenciones; tales son los casos de la

producción de rayos X o gamma que, sin la base teórica de la teoría electromagnética de Maxwell, muy seguramente no se hubieran desarrollado.

Las explicaciones que realizan los estudiantes no deben quedar restringidas a la explicación que dio origen al fenómeno, sino que deben trascender este y ampliarse para la explicación de fenómenos relacionados de manera que el modelo se contraste y pruebe su validez de explicación.

1.3 Competencia para diseñar experimentos como herramienta para contrastar hipótesis y modelos

El objetivo de un experimento es examinar la validez de la hipótesis o el modelo que se ha construido de un fenómeno o situación. En el experimento se puede llegar a determinar tanto la validez como el rango en el que es válida la hipótesis; por ejemplo, para el caso de un péndulo, se relaciona la masa de este con el periodo de oscilación en una relación matemática sencilla; sin embargo este modelo solo es válido para las oscilaciones con una amplitud menor a 10 grados.

En los libros de texto se habla sobre el método científico como el estándar de realización de experimentos por parte de la comunidad científica. Sin embargo se ha argumentado que tal método no existe o por lo menos no es tan riguroso en el sentido en que no existe una *receta* predeterminada para su realización. No obstante, la experimentación que se realiza en los laboratorios no es una cuestión azarosa, implica ciertas capacidades y habilidades por parte de quien lo desarrolla.

Dentro de los modelos de enseñanza de las ciencias se encuentran planteamientos donde el eje es la experimentación como fuente de motivación. Este planteamiento aunque no es generalizado sí hace parte de otras metodologías de enseñanza. Tanto en la educación universitaria como en la escolar se presentan dos tipos de trabajo experimental opuestos: dirigido y abierto. En los dos tipos las intenciones están relacionadas con a) ilustrar el contenido de las clases teóricas, b) enseñar técnicas experimentales, y c) promover actitudes científicas. La discusión se centra en qué medida los dos tipos permiten alcanzar estos objetivos.

En el *tipo dirigido* el trabajo experimental para algunos casos consiste en la reproducción de una experiencia predefinida sobre la que se sabe qué es lo que se debe obtener, qué se debe medir, que materiales usar, etc. Este tipo de trabajo está basado sobre la teoría de la física y se espera que los datos de los estudiantes coincidan con los valores de la teoría. Por ejemplo, si se realiza un experimento sobre la caída de objetos se espera que el valor con que varía la velocidad sea de $9,8 \text{ m/s}^2$ sin tener en cuenta que este es un valor tomado desde la teoría en la que se consideran, un caso ideal que es difícil o si no imposible de reproducir. En el afán de hacer coincidir los datos experimentales con los

teóricos, los estudiantes “machetean” los datos y atribuyen todo tipo de errores para justificar las incongruencias.

Este tipo de montaje experimental no permite, por una parte, que se piense en el experimento, ¿cuál es su intención?, ¿qué se necesita?, ¿cómo realizarlo?, sino que se convierta en una actividad meramente instrumental. Como se menciona en el artículo *Inadequacies in the Teaching of Laboratory and Experimental Skills* (National Science Foundation, 1994), este tipo de trabajo no muestra lo que realmente hacen los científicos y por lo tanto brinda una imagen de ciencia acabada y de “cookbook”; no obstante, el desarrollo de este tipo de laboratorios o actividad experimental representa ganancias en cuanto al conocimiento de equipos, manejo de datos, aproximarse a una manera de organizar la información.

De igual manera un tipo de experimento totalmente abierto no le aportaría a los estudiantes que inician en su acercamiento a las dinámicas de la ciencia, en cuanto el campo de aplicación es muy amplio y no permitiría definir con claridad los objetivos.

Por lo tanto el tipo de trabajo experimental debe permitir, por una parte, conocer y vivenciar las maneras como se hacen descubrimientos en la ciencia y, por otra, estructurar una manera de desarrollar laboratorios o trabajos experimentales que brinden la posibilidad de corroborar modelos e hipótesis.

Consecuentemente con esta idea, las competencias relacionadas con el trabajo experimental pueden definirse en dos niveles:

NIVEL 1

- Capacidad de diseñar experimentos que permitan responder a preguntas específicas.
- Capacidad para controlar las variables y parámetros del experimento.
- Capacidad de establecer y realizar un proceso de medición.
- Capacidad de fundamentar los puntos de vista en razones, fenómenos o acontecimientos.

El diseño por si solo es una capacidad que involucra anticiparse y coordinar varios elementos para un objetivo. El diseño de un experimento, además de lo anterior, implica la búsqueda de una estrategia que brinde solución a una pregunta. La pregunta que surge no es una pregunta a priori o externa; debe ser parte de la curiosidad que al estudiante le surge luego de discusiones sobre experimentos mentales, por lo que el experimento, en la medida de lo posible, debe surgir como una necesidad para fundamentar su hipótesis a partir de argumentos y evidencia experimental.

Dentro del diseño de experimentos está involucrado el reconocimiento de variables y parámetros en situaciones reales, en donde es necesario manipular la experiencia de tal

manera que se puedan mantener ciertas cantidades como parámetros y otras como variables para poder corroborar el modelo establecido y determinar el patrón e instrumento de medida, pues de este dependen los datos experimentales.

NIVEL 2

- Capacidad de interpretar los datos experimentales.
- Capacidad de analizar los resultados obtenidos teniendo en cuenta los objetivos propuestos.

Esta capacidad implica organizar un mapa mental del fenómeno, en el que los datos no solo son números sino que muestran una tendencia que puede ser contrastada con la hipótesis. Es importante anotar que esta capacidad también implica juzgar la pertinencia del diseño experimental, es decir, mostrar la correspondencia entre el modelo establecido y el experimento, ya que en algunas ocasiones el desarrollo del experimento muestra variables que no se habían considerado con anticipación.

2. Estudio del fenómeno de la caída de objetos

En el estudio de la caída de objetos puede reconocerse a tres grandes pensadores: Aristóteles, Galileo Galilei e Isaac Newton. Cada uno de ellos representa un paradigma en la historia de la ciencia.

Para Aristóteles conocer implica conocer las causas. La causa del movimiento en Aristóteles estaba relacionada con el lugar natural de las cosas. Existen dos mundos: el mundo sublunar donde habitamos y el mundo supra lunar de los cuerpos celestes. En el mundo sublunar hay cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. El centro del mundo es el lugar de lo pesado (la tierra es el elemento más pesado) y la periferia es el lugar de lo liviano (el fuego es el más liviano de los elementos). Los objetos caen porque el centro del mundo (que es el centro de la Tierra) es su lugar natural y el peso es una propiedad intrínseca del objeto. Con respecto a la caída de los objetos Aristóteles afirma que la velocidad del objeto es proporcional a su peso. Además Aristóteles niega la existencia del vacío. Las ideas de Aristóteles impregnaron el pensamiento por más de mil quinientos años.

Galileo Galilei en el año 1638 publicó el libro *Dos nuevas ciencias*, en el que contradecía la ley de los cuerpos cadentes de Aristóteles y argumentaba que “en un medio totalmente desprovisto de resistencia, todos los cuerpos caerán con la misma aceleración, durante intervalos iguales de tiempo (un cuerpo cadente) recibirá incrementos iguales de velocidad...” (MARCH, 1997). La experiencia muestra que los cuerpos caen con diferentes “velocidades” debido a la resistencia del aire y que algunos ascienden porque son menos densos que el aire. La teoría de Galileo (en el vacío todo cae) era pionera en el estudio del movimiento, pues hablar *de un medio totalmente desprovisto de resistencia* implicaba razonar de un modo diferente al que hasta ese momento se empleaba en la *Filosofía Natural*.² Galileo Galilei explicó la caída de cuerpos con una teoría basada en la idealización de un estado que no existe en la naturaleza (y que para Aristóteles era imposible, porque según él la naturaleza tiene horror al vacío). Galileo llegó a la conclusión de que en el vacío la velocidad es proporcional al tiempo de la caída y la distancia recorrida por el cuerpo que cae es proporcional al cuadrado del tiempo.

² Con Filosofía Natural se hace referencia al estudio de lo que hoy se conoce como Física, este nombre fue empleado hasta el siglo XIX.

En Newton el estado natural de las cosas se regían por el principio de la inercia ya propuesto por Galileo, es decir la pregunta ya no era ¿porqué se mueven los objetos? sino ¿porqué cambia el movimiento los objetos? En la argumentación de Newton la fuerza es la causa del cambio del movimiento, es decir de la variación de la velocidad. Las leyes de la Física son universales; se razona igual la caída de un objeto al movimiento de los planetas, la base es la interacción entre los objetos.

Para Newton era clave el formalismo matemático. Newton con sus planteamientos respondió a la pregunta ¿cuál es el estado de un objeto después de un determinado intervalo de tiempo? El objetivo de Newton era predecir. En palabras de Feynmann “before Newton’s time, the motion of things like the planets were a mystery, but after Newton there was complete understanding” (FEYNMAN, 1977)

Todos los objetos del universo en el sistema de Newton, se atraen con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Los cuerpos caen hacia el centro de la Tierra siguiendo esta ley universal de la gravitación. Los cuerpos que caen cerca de la superficie de la tierra caen con una aceleración aproximadamente igual (y aproximadamente constante) porque su distancia al centro de la tierra es aproximadamente la misma y varía poco a lo largo de la caída. Newton expresa la caída de los cuerpos cerca de la superficie Tierra como una manifestación de la Ley de la Gravitación Universal que explica el movimiento de los planetas.

Para Newton, era necesario explicar la causa de la aceleración del objeto que está cayendo, por lo tanto, si la aceleración de la caída es constante cerca de la superficie Tierra, una fuerza debía ejercerse y ser constante sobre el objeto. Ya que la aceleración es la misma para todos los objetos que caen cerca de la Tierra, la fuerza debe ser proporcional a la masa de los objetos.

2.1 Leyes de Newton

Previo a la exposición de las tres leyes de la dinámica, Newton define en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, tres conceptos que son claves en el desarrollo de su teoría: la masa, la cantidad de movimiento y la fuerza.

Masa: “La cantidad de materia es la medida de la misma, surgida de su densidad y magnitud conjuntamente” (GRANÉS, 2005), en esta definición Newton establece que la masa es una característica intrínseca a los objetos que además es proporcional al peso.

Cantidad de Movimiento: “Es la medida de la velocidad y la cantidad de materia conjuntamente” (GRANÉS, 2005). En la mecánica clásica se expresa la cantidad de movimiento o momentum como:

$$dp = F \cdot dt \quad (1)$$

Si se considera que el sistema en estudio es una sola partícula de masa constante la ecuación 1 es de la forma

$$p = m \cdot v \quad (2)$$

Esta es la forma matemática que se encuentra en los libros de texto de física, normalmente este concepto no se enseña cuando se introduce el concepto de fuerza, su uso más generalizado se remite al estudio de choques entre objetos.

Fuerza: Newton diferencia tres tipos de fuerza; fuerza *insita* o fuerza interna, "como poder de resistencia de los cuerpos a cambiar su estado de movimiento"³, la fuerza impresa, es la acción externa que modifica el movimiento del cuerpo, y la fuerza centrípeta, fuerza impresa dirigida siempre hacia el centro.

Posterior a estas definiciones Newton escribe el *escolio*, en el que realiza precisiones con respecto al espacio, el tiempo y el movimiento absoluto. En este apartado, se señala la importancia del sistema de referencia (S.R) y la validez de la primera ley siempre y cuando se trate con sistemas de referencia inerciales, es decir, el valor de la aceleración del S.R es igual a cero.

Posterior a estas definiciones Newton plantea las famosas leyes del movimiento:

La primera ley de Newton es la adaptación del principio de inercia de Galileo: "Todo cuerpo continúa en estado de reposo o de movimiento uniforme en una línea recta a menos que lo obligue a cambiar de estado una fuerza a él impresa" (MARCH, 1997)

La segunda ley habla sobre cómo cambia el movimiento, es decir cómo cambia la velocidad debido a la influencia de fuerzas: "el cambio de movimiento (ritmo de cambio de moméntum) es proporcional a la fuerza motriz impresa; y se efectúa en dirección de la línea recta en que se imprime esta fuerza" (MARCH, 1997). Esta ley puede aplicarse tanto a la definición cuantitativa de masa como de fuerza

La segunda ley de Newton es enunciada matemáticamente de la siguiente forma:

$$\frac{dp}{dt} = F \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt}(mv) = F \quad (4)$$

Al considerar que la masa no cambia, la expresión matemática se reduce a:

$$m \cdot \frac{d}{dt}(v) = F \quad (5)$$

$$m \cdot a = F \quad (6)$$

F corresponde a la fuerza neta o total sobre el objeto. Galileo además del principio de inercia, postuló también el principio de superposición en el que explica qué sucede con un cuerpo cuando está sometido a dos *influencias* o fuerzas.

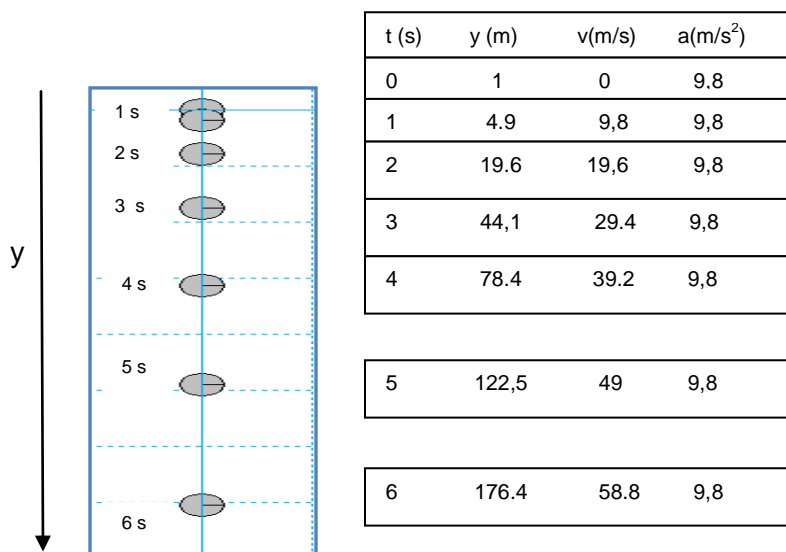
³ Ibíd, pág. 20

Las leyes de la dinámica complementadas con las ecuaciones de la cinemática, permiten estudiar el movimiento de un cuerpo considerándolo como partícula.

La tercera ley explica las fuerzas de acción y reacción, esta enunciada de la siguiente forma: "a cada acción se opone siempre una reacción igual; o bien las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas a partes contrarias" (MARCH, 1997). Con esta ley la fuerza queda definida como una interacción, para Newton cuando caminamos estamos empujando la Tierra, que empuja con la misma magnitud pero en dirección contraria, lo cual nos permite avanzar.

DINÁMICA DE LA CAÍDA DE UN OBJETO

De acuerdo al planteamiento anterior y teniendo en cuenta la consideración de Galileo acerca del vacío, los objetos caen con aceleración constante g . Para conocer el tiempo de caída, la distancia recorrida o la velocidad final del objeto, es necesario utilizar las ecuaciones para el movimiento uniformemente acelerado. El movimiento de un objeto, soltado a y metros del suelo corresponde al mostrado en la siguiente figura:



Esta forma de razonamiento es la que aparece en textos universitarios y escolares de física, aunque no en todos se hace énfasis en la importancia de la palabra *vacío* o en la frase *ausencia de rozamiento o resistencia* al exponer la caída de los cuerpos. Sin embargo para el estudio, diseño y construcción de implementos para deportes de aire (paracaidismo, parapentismo) o para el estudio de la caída de las gotas de lluvia o el granizo, las consideraciones realizadas por Galileo son insuficientes, ya que aunque él conocía la fuerza de rozamiento y sabía que la aceleración sólo es constante en el vacío, no conocía un modo de relacionar las fuerzas y las aceleraciones y, por tanto, no podía ir más allá del caso ideal en su descripción matemática.

Si se considera que el objeto no está en el vacío o que la resistencia del aire es considerable, es necesario estudiar el problema de manera compleja, analizar por ejemplo la variación de la velocidad de un objeto mientras cae.

2.2 ¿Afecta el peso a la velocidad de la caída de los objetos?

Cuando se considera la resistencia del medio, nuevos parámetros entran en escena: la forma, la densidad, la altura desde la que se suelta, el peso del objeto y, por otra parte, la densidad del medio. Estos parámetros juegan un papel importante en la caída del cuerpo. A continuación se presentan algunas consideraciones con respecto a estas variables:

Densidad: ¿Todos los cuerpos caen? Sin pensarlo mucho, la mayoría de las personas responderían afirmativamente; sin embargo, pensando en diferentes casos, por ejemplo se podría ver que un globo lleno de helio se eleva, sin importar el volumen que tenga. Analizando la situación se observa que no importan solamente las características del objeto que cae; para este caso, la relación de densidades (medio, objeto) explica porqué se eleva el globo.

Otro caso relacionado con la densidad del medio sería el caso comparativo de la caída de un objeto en el aire y en el agua; los tiempos en los que llegan a un punto determinado serán diferentes.

Altura desde la que se suelta el objeto: Si se consideran alturas pequeñas se podría concluir a partir de la observación directa que independientemente de la forma, peso específico, densidad del medio y del objeto, el objeto caerá tal como lo predice la teoría de Galileo. Pero si se hace una medición cuidadosa se verá que esa predicción no se cumple, ya que la velocidad terminal que tienen los objetos al caer está relacionada con la resistencia del medio. Se ha encontrado experimentalmente que para cada material la velocidad terminal es diferente.

Si se llegara a considerar el caso de alturas muy grandes del orden del radio de la Tierra, se debería considerar una variable nueva como es la aceleración de la gravedad, que para órdenes de magnitud mucho más pequeños puede considerarse como constante.

Forma del objeto: Es conocido el hecho que al soltar una hoja de papel y compararlo con la caída de otro cuerpo sólido, por ejemplo una esfera, se observa una diferencia considerable en la llegada de la hoja y de la esfera al suelo. Galileo aseguraba que este efecto se debía a la resistencia del aire sobre la hoja, pero que si se arrugaba la hoja y se soltaba nuevamente el comportamiento sería diferente, lo cual mostraba una vez más la relevancia de la resistencia del aire en la caída de los objetos pero a su vez la abstracción del vacío como una opción para simplificar el problema.

Peso Específico: Podría plantearse el experimento de dos globos que se sueltan desde determinada altura, uno de ellos está lleno con aire y el otro no (entre los dos hay una diferencia de peso), y realizar este mismo experimento con dos esferas de icopor cuya diferencia de peso, sea igual al caso de los globos y ver para cada caso, cuál de los dos llega primero al suelo. Los resultados sugieren que el peso no es la única variable importante en la caída de un cuerpo y muestran la importancia de la densidad y el peso específico del cuerpo que cae, en el primer caso el peso específico del globo con aire es mucho menor que el peso específico del globo.

La dinámica de un sistema como este, se representa matemáticamente de la siguiente forma:

$$m \cdot a = F \quad (7)$$

Bajo la influencia de la gravedad, $F = mg$ (8)

$$m \cdot a = mg - m_f g - K\eta v \quad (9)$$

donde $m_f g$, es la fuerza de flotación o empuje de conformidad con el principio de Arquímedes, K , es el coeficiente de fricción y depende de la forma del cuerpo, η , es el coeficiente de fricción interna del fluido o viscosidad.

Todas estas consideraciones hacen del problema de la caída de objetos un problema complejo en el que la matemática involucrada corresponde a ecuaciones diferenciales.

La solución a la ecuación 9 corresponde a la siguiente ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = g \left(1 - \frac{m_f}{m}\right) - \frac{K\eta v}{m} \quad (10)$$

Considerando $g \left(1 - \frac{m_f}{m}\right) = C$ y $\frac{K\eta}{m} = D$ (11)

Realizando separación de variables

$$\frac{dv}{C - Dv} = dt \quad (12)$$

Al integrar se obtiene que:

$$\ln|C - Dv| = -Dt + E \quad (13)$$

Siendo E una constante de integración

$$C - Dv = F e^{-Dt} \quad (14)$$

Siendo F una constante de integración

Si la velocidad inicial es cero $v(0)=0$, entonces $F = C$

$$v = \frac{C - C e^{-Dt}}{D} \quad (15)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{C - Ce^{-Dt}}{D} \quad (16)$$

Por lo tanto, la ecuación de movimiento es:

$$x = \frac{C}{D}t + \frac{Ce^{-Dt}}{D} + \frac{C}{D} \quad (17)$$

$$x = \frac{mg(1 - \frac{m_f}{m}C)}{K\eta}t + \frac{mg(1 - \frac{m_f}{m}C)}{K\eta}e^{-\frac{K\eta}{m}t} + \frac{mg(1 - \frac{m_f}{m}C)}{K\eta} \quad (18)$$

Esta es la ecuación que describe el movimiento de un cuerpo bajo la acción de la fuerza gravitacional, la resistencia del aire y el empuje del fluido en el que se encuentra. De la ecuación 15 se puede ver que cuando $t \rightarrow \infty$, la velocidad toma un valor constante igual a $v = \frac{C}{D}$, y por lo tanto el desplazamiento es proporcional al tiempo, también se puede ver que teniendo en cuenta la resistencia del aire, mientras más pesado sea un objeto, más rápido caerá, siempre y cuando la forma y el volumen se mantienen

Cuando se estudia este problema pueden realizarse algunas consideraciones:

Caso 1. Si se considera la masa del fluido como despreciable en comparación a la masa del objeto que cae, entonces $E \rightarrow 0$, (*E empuje*) por lo que la ecuación de movimiento tendría la siguiente forma:

$$m \cdot a = mg - K\eta v$$

$$v = \frac{mg - mge^{-\frac{t}{D}}}{K\eta} \quad (19)$$

Esto tendría como consecuencia que la velocidad límite sea mayor comparada con la expresión general (ecuación 15)

Caso 2. Considerando la ecuación 9 y suponiendo que la resistencia del aire es pequeña $K \rightarrow 0$, la ecuación de movimiento se reduce a:

$$m \cdot a = mg \quad (20)$$

$x = At - Bt^2 + C$, siendo A , B y C constantes.

El objeto cae con aceleración igual al valor de la aceleración de la gravedad.

Con esta exposición se muestra como la ecuación 20 es una simplificación del fenómeno complejo de la caída de un objeto, lamentablemente en la mayoría de los libros de texto

de física no dedican espacio a la explicación de esta simplificación y pareciera más un artilugio matemático que un razonamiento.

2.3 El problema de la caída de objetos en la clase de Física

Naturalmente en la escuela este nivel matemático no se maneja; sin embargo existen posibilidades para su estudio o análisis sin necesidad de plantear y resolver ecuaciones diferenciales; los Sistemas Dinámicos implican una opción para modelar el fenómeno considerando los parámetros y variables antes descritas.

Tradicionalmente la enseñanza de la física se basa en un modelo transmisionista, se considera que una exposición clara es suficiente para que los estudiantes comprendan los conceptos involucrados y que el trabajo posterior consiste en la realización de ejercicios en los que se aplique lo explicado. Una de las mayores críticas a la enseñanza de la física es su aspecto netamente matemático y algorítmico, en el que es suficiente conocer las ecuaciones y utilizarlas para resolver ejercicios. El razonamiento que realizan los estudiantes se reduce a la búsqueda de la ecuación para resolver el ejercicio, por lo que un buen estudiante de Física, es aquel que conoce bien las ecuaciones y sabe despejar la variable. El enfoque de enseñanza genera situaciones como por ejemplo que después de trabajar con las ecuaciones resultan datos de tiempo o un resultado incoherente, al que los estudiantes no le prestan atención y ni siquiera reconocen la inconsistencia en los valores o magnitudes. A pesar de la explicación en clase de la mecánica clásica, cuando se cuestiona a los estudiantes por el porqué de cierto fenómeno físico argumentan su respuesta con ideas Aristotélicas.

Frente a este panorama se han planteado propuestas que permitan que la clase de física sea un espacio que trascienda los procedimientos y que más allá de resolver ejercicios se resuelvan problemas. En este marco está ubicado este trabajo de grado, la propuesta se basa en abordar el problema de la caída de objetos desde la perspectiva de los sistemas dinámicos.

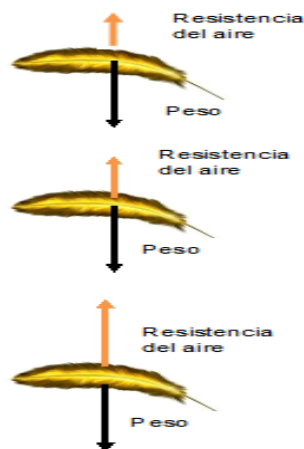
2.3 La caída de objetos desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos

Con anterioridad se mencionaron variables que intervienen en la caída de objetos. La primera intención en los Sistemas Dinámicos es analizar el fenómeno como un sistema en el que las variables están relacionadas y en algunos casos se retroalimentan a lo largo del tiempo, y estudia primordialmente las relaciones y no las variables aisladas. Desde esta perspectiva podría verse el problema de la siguiente manera:

El objeto inicialmente tiene velocidad cero, después de que es soltado esta comienza a aumentar, es acelerado el movimiento; sin resistencia del aire, este valor es constante (esto no es válido para todos los valores de altura ya que la aceleración de la gravedad varía con respecto a la altura; por ejemplo, la variación entre el valor de la aceleración en el Ecuador y en los polos es de $0,532 \text{ m/s}^2$). Considerando la resistencia del aire, el valor de la aceleración no es constante y es posible verificarlo observando la caída de las hojas a las que no vemos caer con aceleración; si esto es así, ¿a qué se debe que no caigan con aceleración?

Dinámicamente la fuerza gravitacional después de un tiempo es igualada por la resistencia del aire. A continuación se representan tres momentos (Figura 2-1) en la caída de una pluma:

Figura 2-1: Representación de las fuerzas sobre una pluma que va cayendo



Como observó Galileo, cuando la resistencia del aire iguala el valor de peso, la aceleración de la pluma es cero y la velocidad constante; esta velocidad se denomina *velocidad terminal*. La razón por la que no vemos todos los cuerpos cayendo a esta velocidad es porque para cada objeto existe una *velocidad límite*. A continuación se presenta una tabla con algunos valores:

Tabla 2-1: Velocidad límite de algunos objetos (DAVINCI)

OBJETO	VELOCIDAD (m/s)
Paracaidista con paracaídas cerrado	60
Pelota de tenis	42
Balón de baloncesto	20
Granizo	14
Pelota de ping-pong	9

Gota de lluvia (15mm de radio)	7
Paracaidista con paracaídas abierto	5

▪ **¿Por qué la velocidad límite depende del objeto?**

Cuando el objeto va cayendo aumenta su velocidad. Resultados experimentales muestran que la aceleración del objeto disminuye en cuanto la velocidad aumenta. Esto indica que cuanto mayor es la velocidad, la resistencia del aire sobre este también lo es, dando lugar a una disminución en la aceleración. Esta disminución se relaciona con el peso, la densidad y el área superficial de contacto⁴ del objeto. Para los diferentes casos la conclusión es la misma, si la altura desde la que se sueltan es suficiente, todos los objetos alcanzarán una *velocidad terminal* y llegarán al suelo con una velocidad constante.

Las variables y parámetros involucrados en la caída de objetos se describen a continuación:

Velocidad: En este estudio, la variable velocidad es la variable de estudio y se quiere saber cómo es su comportamiento a lo largo del tiempo.

Fuerza: Esta magnitud varía dependiendo del valor del peso del objeto y de la resistencia del aire.

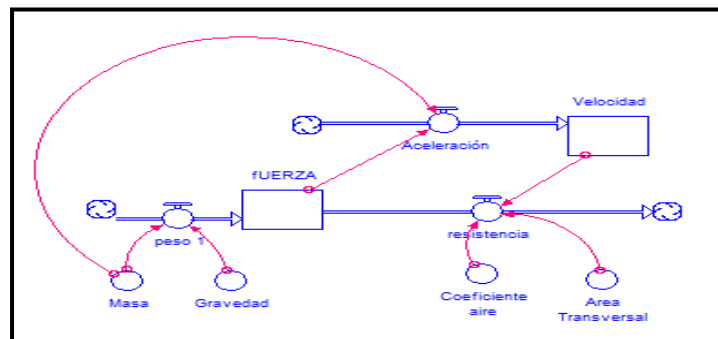
Aceleración: A pesar de que la aceleración también es una variable, para este estudio se considerara como un flujo; variación de la velocidad en la unidad de tiempo.

Peso: El peso es un flujo de entrada del depósito FUERZA; mantiene un valor constante.

Resistencia: Esta fuerza es variable; depende de parámetros como el coeficiente del aire y el área transversal del objeto que está cayendo, y también de la velocidad con la que el objeto cae.

En la figura 2-2 se muestra el diagrama realizado en el software Stella del modelo del sistema dinámico de la caída de un objeto teniendo en cuenta el análisis anterior.

Figura 2-2: Diagrama del modelo realizado en el software Stella



⁴ Con superficie de contacto se hace referencia a la sección de área que choca con las moléculas de aire mientras el objeto va cayendo.

En el modelo las flechas indican la relación de las variables o parámetros con algunas de las cantidades; por ejemplo, para el caso del PESO, aparece un cuadro de diálogo en el software Stella en el anexo A (figura A-1).

CONTRIBUCION DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS A LA CLASE DE FÍSICA

Estudiar un fenómeno desde la perspectiva de los sistemas dinámicos permite principalmente dos aspectos:

1. La forma como vemos las cosas

Cuando se toma como orientación para la enseñanza de la física a los S.D., nos encontramos con que la meta de la actividad no es el aprendizaje de las teorías o modelos del mundo vigentes, sino el reto que se plantea al estudiante para que elabore explicaciones, esto es, modelos del mundo en situaciones propias, sin simplificaciones derivadas de las conveniencias matemáticas. Tenemos entonces que:

El estudiante construye un modelo del fenómeno estudiado (competencia tipo A). Este modelo cualitativo abre camino en la enseñanza, motiva a los estudiantes.

A partir del modelo los estudiantes generan hipótesis del comportamiento futuro del fenómeno, es decir buscan anticiparse.

Además al realizar este análisis cualitativo el observador se encuentra obligado desde de los sistemas dinámicos a desarrollar un pensamiento sistémico que le permita establecer los posibles bucles de retroalimentación y así realizar una descripción detallada del fenómeno, estableciendo las relaciones entre las variables presentes y poder evidenciar las emergencias que surgen de dicha interacción. Es de esta manera como el observador deja de ser un ser pasivo de lo observado, es decir que “el conocimiento se construya a partir de las relaciones entre el sujeto y el problema a estudiar, pasando de la información contextualizada a la actividad comprometida”⁵

El presente trabajo de grado no pretende que los estudiantes desarrollen la compleja matemática involucrada en el estudio de caída de objetos teniendo en cuenta el rozamiento, pero si le apuesta a que los estudiantes comprendan las relaciones que existen entre diferentes variables (competencia tipo B) y puedan a partir de la contrastación de hipótesis responder a preguntas de tipo ¿Qué pasaría si...? La enseñanza tradicional de la física adolece de la conceptualización y comprensión de los fenómenos, trabajar únicamente a partir de las ecuaciones no permite que los estudiantes se cuestionen o analicen nuevas situaciones, desde la perspectiva presentada en este trabajo es posible que los estudiantes reconozcan que la caída libre de los cuerpos es un caso especial del modelo planteado. Esto no demerita en absoluto

⁵SEGURA, Dino. ARCOS Fabio, PEDREROS Rosa. El constructivismo radical como alternativa para fundamentar prácticas con sentido en la enseñanza de las ciencias. En: Itinerantes. No. 3 2005 pg. 59-72

el impacto e importancia que tiene la abstracción realizada por Galileo, simplemente la ubica en un contexto diferente.

2. La posibilidad del estudio de fenómenos reales

En la escuela se ha venido trabajando una visión jerárquica de la física cuya presunción consiste en que para estudiar temas actuales en física es necesario tener claro lo más importante; sus fundamentos, (SEGURA, 2000) es decir, lo que se estudia no obedece a las preguntas e intereses de los estudiantes sino a modelos que no corresponden a la realidad del estudiante; caída libre, péndulo simple, movimiento sin fricción, flujo sin turbulencia, trabajo sin pérdidas de calor, etc. en los que a través del estudio se va despojando al fenómeno de muchas de sus características para hacerlo coincidir con la disciplina, en este punto se crea una distinción entre el mundo de la física y el mundo de la vida, generando un abismo, responsable de preguntas tan comunes actualmente por parte de los estudiantes, como ¿para qué me sirve esto? ¿En qué se utiliza?

El estudio de modelos ideales que corresponden a la física se oponen desde el primer momento a los modelos de los estudiantes sobre el funcionamiento de las cosas que los rodean, la física se convierte entonces en un recetario de formulas para memorizar y utilizar en los exámenes. A partir de los S.D se pueden reconocer algunas variables o parámetros que están fuera del modelo ideal y que permitirían una mayor comprensión del fenómeno estudiado. En el caso particular de la caída de objetos es relevante considerar variables como la fuerza, el peso, la densidad, la resistencia del aire, si bien en la aplicación de este trabajo de grado no se hace una exploración profunda de cada uno de estos conceptos, sí se plantean situaciones comparativas, en las sesiones de preguntas y experimentos que involucren estos conceptos.

El diseño y desarrollo de los experimentos (competencia tipo C) permite que los estudiantes pongan a prueba su hipótesis de manera que tengan que considerar que tipo de material es preferible para el experimento, qué parámetros adicionales se deben tener en cuenta, de esta manera son los resultados de la experimentación los que juzgan la validez de la hipótesis.

3. Descripción de la propuesta de enseñanza

El estudio de la caída de objetos puede realizarse teniendo en cuenta dos aspectos; el primero relacionado con la naturaleza del fenómeno: ¿por qué caen los objetos?; y el segundo relacionado con las características/comportamiento de la caída: ¿cómo caen los objetos? La primera pregunta es Aristotélica. Ya en el siglo IV Aristóteles a.c afirmaba que todo se podía explicar a partir de la causa final. La idea era encontrar los principios e incluso los elementos, por medio de la distinción analítica. El caso del movimiento era considerado por Aristóteles como la actuación de la potencia en cuanto potencia, los objetos buscan su lugar natural, y lo que componía al Mundo Tierra tenía su lugar natural en la tierra; por lo tanto, los objetos caen porque buscaban su lugar natural; del mismo modo, el fuego tendía a subir ya que la Tierra no era su lugar natural. Galileo y Newton al enfrentarse a los fenómenos que estudió Aristóteles asumen el problema del cómo no del por qué, dando un vuelco epistemológico al problema en estudio. Este cambio implicó un cambio de paradigma acerca del movimiento, pues la pregunta ya no era ¿porqué se mueven los objetos? sino ¿porqué se detienen los objetos?

En la enseñanza de la física es común el estudio de la caída de objetos cuando se habla de movimiento con aceleración constante. En este caso se idealiza el fenómeno (abstracción) para poder ser explicado de una manera general y sencilla; no obstante, el paso entre el mundo real (complejidad) y el mundo de las teorías de la física (abstracción) no es tan evidente para todos los estudiantes. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Alicante que dio como resultado que el 42% de los estudiantes de carreras científicas establece una relación directa entre el peso del cuerpo y la velocidad de caída (Conocimientos de Física de alumnos universitarios. Influencia de las reformas educativas, 2003). Este estudio muestra como la dificultad no solo se presenta en la secundaria sino también en la educación universitaria. Existe también algunas investigaciones (Learning about Gravity I. Free Fall: A Guide for Teachers and Curriculum Developers, 2006) donde exponen preconceptos erróneos con respecto a la caída de objetos; no obstante esta mirada esta sesgada por los modelos ideales en las que no consideran las razones por las que los estudiantes responden de determinada manera, es decir, si a un estudiante previamente no se le ha hablado sobre la aceleración de la gravedad y sobre la independencia del peso en la aceleración de caída de los cuerpos, muy seguramente responderá que dos objetos lanzados desde la misma altura caerán en tiempos diferentes. Si se mira desde la teoría física esta respuesta es errónea pero si se analiza el fenómeno desde una perspectiva compleja (se consideran otras variables) se

encontrará que sí existe una relación entre la aceleración de la caída de un objeto y su peso, aunque no es una relación directa como lo plantean los estudiantes con los que se realizó la investigación de la Universidad de Alicante. No se puede pretender que los estudiantes respondan de acuerdo con las leyes de la física en un primer momento, pues llegar a estas ideas requiere un proceso en el que se reconozca que en el mundo sensible el comportamiento de los fenómenos es diferente al que predice la teoría. Esa concepción ha permitido a lo largo de los años comprender de manera aproximada nuestro entorno y que para llegar a esta teoría es necesario abordar el fenómeno que se da en el mundo sensible para después despojarlo o desprestigiar algunas variables que para el estudio que se esté realizando no sean relevantes. La pretensión de este trabajo es precisamente indagar por las razones que dan los estudiantes de sus respuestas para realizar un estudio del fenómeno en donde se consideren la influencia de variables que normalmente no se tienen en cuenta, de manera que la ley de la caída libre sea un resultado de obviar la resistencia del aire y no el punto de partida.

3.1 Metodología

El desarrollo de este trabajo se concentrará en el segundo aspecto: ¿cómo caen los objetos? Las actividades que se realizan con los estudiantes cuestionan la influencia de variables como la altura, el peso, y la forma en el que cae el un objeto. Las actividades desarrolladas están estructuradas en cuatro momentos:

1. Experimentos Mentales.
2. Actividades de Discusión. Socialización.
3. Comparación de Modelos Mentales con el Fenómeno: Diseño y realización de experimentos.
4. Análisis de los resultados de los experimentos. Conclusiones.

1. EXPERIMENTOS MENTALES⁶

Se presentan diferentes casos de experimentos mentales con dos objetivos; el primero, conocer cuáles y cómo son las explicaciones que los estudiantes elaboran de la situación presentada. Este aspecto es fundamental porque permite familiarizarse tanto con el lenguaje como con el punto de vista que tienen frente al conocimiento; el segundo objetivo es conocer cuáles son las variables y parámetros que los estudiantes consideran relevantes para la explicación del fenómeno.

⁶ Se entiende por experimento mental, la acción de visualizar y predecir el comportamiento de un fenómeno para un determinado caso. Responde a la pregunta ¿Qué pasaría si...?

2. SOCIALIZACIÓN Y DISCUSIÓN

Este punto es fundamental ya que es un espacio en el que se comunican, confrontan argumentos y explicaciones, y es clave para la construcción de conocimiento⁷. Después de cada sesión de trabajo el ideal es que exista un momento para exponer argumentos, procedimientos, dificultades y resultados del proceso, con el objetivo de que el maestro no sea el único que juzga el desarrollo del trabajo, sino que el grupo en general sea un referente y un actor activo en clase que tiene la capacidad de contra argumentar o argumentar a favor de lo que se propone.

La socialización no solo es importante por la labor académica que representa, sino porque permite que los estudiantes reconozcan en la argumentación una forma de participación válida en la que la racionalidad está por encima de actitudes agresivas o de imposición de una idea; es además un ejercicio en el que los estudiantes deben reconocer a sus pares como interlocutores válidos.

El problema que se le plantea a los estudiantes tiene la ventaja que se presta para el debate y muy seguramente se presentarán dos posiciones totalmente opuestas. Para cada estudiante o para el grupo esta discrepancia presenta un reto; demostrar al otro que se tiene razón tiene un efecto gatillador en la elaboración de modelos, explicaciones y experimentos.

3. DISEÑO Y REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS

El objetivo posterior a la socialización de los casos es el diseño de un experimento por parte de los estudiantes que les permita tener evidencia empírica que confirme los modelos planteados.

Este aspecto es fundamental pues el material escogido y las medidas en el experimento determinarán los resultados; por lo tanto esto no es una cuestión azarosa, sino que debe estar sustentada en el análisis previo que hicieron del caso planteado.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Después de cada experimento es ineludible dedicar un tiempo al análisis de los datos obtenidos; este aspecto comprende el estudio del comportamiento de las variables, la identificación de relaciones de proporcionalidad que existe entre dos variables y el análisis de gráficas.

⁷ Dino Segura plantea en el artículo *Los proyectos de aula, más allá de una estrategia didáctica* que “la conversación es una instancia generadora de conocimiento en donde la recursividad, la creatividad y la experiencia de cada individuo juegan el papel más determinante”.

A partir del análisis anterior, se espera que los estudiantes tengan herramientas para refinar⁸ y determinar qué tan satisfactorio resulta el modelo inicialmente planteado.

Este momento tiene un valor formativo adicional que se fundamenta en el reconocimiento del error o de las inconsistencias que se plantearon inicialmente.

3.2 Actividades

Los cuatro momentos expuestos anteriormente no necesariamente corresponden a una secuencia lineal; estas acciones recurrentemente se realizan y son la base del conjunto de actividades que se les presentan a los estudiantes en esta propuesta.

▪ SESIÓN 1

Caso 1. Se sueltan dos objetos desde la misma altura. ¿Cuál de los dos objetos llega primero al suelo?

Para esta pregunta no se espera una única respuesta. La hipótesis es que algunos de los estudiantes van a argumentar que, la esfera de mayor peso caerá primero y otros argumentarán que debido a que la fuerza de gravedad es la misma para todos los objetos, las dos esferas llegarán al suelo al mismo tiempo.

En esta pregunta queda abierta la posibilidad de considerar que las esferas sean de diferente material, que sean del mismo material pero tamaño diferente o una combinación tanto del material como del tamaño.

▪ SESIÓN 2

Se organiza el salón por bandos y se les pide que defiendan y argumenten su respuesta a la pregunta de cuál de los dos objetos llega primero al suelo. El objetivo es que inicialmente hagan uso de comparaciones, ejemplos, que les permita argumentar su posición y que a partir de la discusión encuentren puntos débiles en sus explicaciones sin necesidad de realizar un experimento. Posteriormente se les solicita que desarrollen y expongan un experimento donde tengan en cuenta las conclusiones a las que llegaron en la discusión para comprobar su respuesta. Hasta este momento la labor del maestro es de observador, moderador y guía para llamar la atención sobre algunos aspectos de los que se tratan.

⁸ Al respecto D.C Baird en su libro Experimentación comenta que "...debemos sentirnos en libertad de modificar o cambiar nuestros modelos en el momento en que sea necesario. Puesto que probablemente es imposible construir una descripción verbal o matemática de un fragmento de la realidad natural que sea un equivalente exacto y completo de éste, es preciso aceptar que un proceso de refinamiento continuo y de eventual reemplazo de los modelos, forma parte natural del acontecer científico" pg. 57

▪ **SESIÓN 3**

Esta sesión es fundamental pues se pretende demostrar que dos objetos lanzados desde la misma altura van a llegar en diferentes tiempos al suelo, a pesar de que la diferencia sea imperceptible para el ojo humano. Esta diferencia existe y para ciertas comparaciones entre objetos esta se hace cada vez más grande.

Esta conclusión es importante pues “contradice”⁹ lo que la gente considera como la Ley de la caída de los cuerpos planteada por Galileo Galilei. En esta sesión los grupos exponen sus experimentos y se espera ver diferencias en la caída de dos objetos.

Las exposiciones pueden suscitar discusiones y cuestionamientos sobre la manera en que los diferentes grupos realizaron el experimento; por lo tanto es importante contar con un video o un razonamiento adicional que permita demostrar y convencer a algunos estudiantes que en el mundo sensible¹⁰ existe una diferencia de tiempos en la caída de objetos.

▪ **SESIÓN 4**

Para esta sesión se espera que sea claro para la mayoría de los estudiantes que sí existe una diferencia de tiempos cuando se compara la caída de dos objetos.

Avanzado en este proceso, el objetivo de esta sesión es estudiar qué variables relacionadas con características del objeto afectan la caída.

Se les propone mantener el material como un parámetro y variar características del objeto como el área, la longitud y el peso. Para este propósito se utilizará como material PLASTILINA para construir los objetos fácilmente:

Utilizando dos figuras iniciales (esferas, paralelepípedos, cubos) de diferente peso se les pide a los estudiantes que modifiquen las figuras y realicen la siguiente experiencia:

- Comparar la caída de un objeto largo con la de uno corto.
- Comparar la caída de un objeto de área transversal pequeña con la de uno con área más grande.

A partir de estas experiencias el objetivo es que organicen un modelo en donde incluyan y relacionen las variables que afectan la caída de un objeto.

⁹ La palabra contradice esta en comillas porque contradice no la ley de caída de cuerpos sino la creencia generalizada que afirma que dos objetos independientes de su peso van a caer con la misma aceleración. Las personas la consideran esto como una ley universal sin considerar la afirmación donde se menciona: *libre de resistencia del aire*.

¹⁰ El mundo sensible hace referencia a nuestro mundo en el que no podemos ni controlar variables ni despreciarlas, normalmente en los acontecimientos preparados es decir en los experimentos esta es el objetivo para estudiar un fenómeno.

▪ **SESIÓN 5**

Para esta sesión se espera que los estudiantes hayan construido un modelo más complejo (relaciones entre variables) del fenómeno para poder particularizar el fenómeno y estudiar cómo cae un objeto, enfocado en el análisis de la velocidad y la posición del objeto al caer.

Para este efecto los estudiantes escogerán un único objeto con el que realizarán las mediciones. Los experimentos de caída de objetos usualmente hacían uso de estroboscopios o de sensores de movimiento que permiten determinar la posición del objeto; actualmente se puede hacer uso de la cámara digital y de programas de visualización de imágenes que permiten observar las coordenadas del objeto en el video en el tiempo.

El video es una herramienta que permite visualizar lo que se veía con la cámara estroboscópica pero de una manera permanente (foto) y además, con los datos de las coordenadas, se pueden realizar gráficas de posición-tiempo, velocidad-tiempo, aceleración-tiempo, y a partir de éstas realizar un análisis de las variables.

▪ **SESIÓN 6**

Una de las cantidades que se ha considerado hasta el momento como parámetro es la altura desde la que se suelta el objeto. En esta sesión se pretenden estudiar las variables posición, velocidad y aceleración para un objeto que es soltado desde diferentes alturas.

Para el experimento se propone como material GLOBOS. Se escoge este material por su facilidad para adquirirlo y porque la resistencia del aire sobre éste es apreciable y puede registrarse en un video sin mayor complejidad técnica.

El objetivo que se propone en esta actividad es reconocer la fuerza de resistencia sobre el objeto y que está tiene una relación con la altura desde que se lanza. Por ello es necesario que realicen gráficas de altura vs. tiempo de caída, y posteriormente analicen la posible relación o causa de esta resistencia del aire.

▪ **SESIÓN 7**

En esta sesión se utilizará el mismo material de la sesión anterior. En este caso se mantendrá constante la altura y se variará el área transversal; al igual que en el caso anterior, se realizarán las gráficas de área vs. tiempo de la caída para analizar su relación.

▪ **SESIÓN 8**

En esta última sesión se hace una puesta en común, se evalúan los resultados que se obtuvieron y se compara éstos con los modelos iniciales.

4. Análisis descriptivo de la implementación

4.1 SESIÓN 1

Caso 1. Se sueltan dos objetos desde la misma altura ¿Cuál de los dos objetos llega primero al suelo?

Como se había mencionado anteriormente, para esta pregunta fueron dos los modelos planteados por los estudiantes:

- MODELO 1: El peso no es una variable relevante en la caída de los objetos; por lo tanto los dos objetos caen al mismo tiempo.
- MODELO 2: El peso es una variable relevante en la caída de los objetos; por lo tanto el objeto más pesado cae primero.

A continuación se presenta una tabla (Tabla 4-1, 4-2) con los argumentos que dan los estudiantes para cada caso:

Tabla 4-1: Tabla de comentarios del modelo 1, propuesto por los estudiantes

MODELO 1	
Argumento	Comentario
Caen al mismo tiempo porque <u>la fuerza de gravedad es la misma</u>	El uso de una expresión como <i>Fuerza de Gravedad</i> coarta la elaboración de explicaciones que den cuenta del fenómeno, la información para este caso evita el pensamiento y se asume la afirmación como un axioma. Frente a los cuestionamientos sobre Fuerza de Gravedad, los estudiantes respondían que era una fuerza que atraía a todos los elementos sin importar el peso.
Si son objetos de la misma forma deben caer al mismo tiempo; si no lo son como el caso de la pluma y el martillo, sí hay diferencia.	En esta respuesta se analiza otro factor, como es la forma de los objetos y se impone una condición para que el modelo 1 sea válido.
Si la forma es la misma llegarían al mismo tiempo por el peso, pero en caso de que la forma de uno fuera algo que tiene hueco al interior sería diferente.	Al igual que en la respuesta anterior se plantea otro factor que puede hacer que dos objetos que se lanzan desde la misma altura no lleguen al mismo tiempo.

Tabla 4-2: Tabla de comentarios del modelo 2, propuesto por los estudiantes

MODELO 2	
Argumento	Comentario
El objeto 1 es más pesado, lo cual apresura su caída.	En esta respuesta se establece una relación directa entre el peso y el tiempo de caída del objeto.
El objeto 1 con mayor masa caería primero ya que la gravedad la atrae más rápido.	Nuevamente aparece el término <i>gravedad</i> como una palabra mágica que explica el fenómeno.
El objeto con mayor masa dependiendo de su densidad llegaría primero al suelo, sin importar la forma.	En esta respuesta se establecen dos criterios para que se cumpla el modelo 2: masa y densidad.
La forma influye, por ejemplo una forma cilíndrica y larga cae más rápido ya que su forma <i>rompe</i> más el viento.	Esta afirmación trae a colación una relación entre variables hasta el momento no mencionada: la interacción entre la forma del objeto que cae y el aire o viento.
Un objeto redondo caería primero porque apresura su caída a una mayor velocidad, ya que la esfera no se estrella con el aire.	En esta pregunta establecen la relación que existe entre la forma y la velocidad.
<ul style="list-style-type: none"> • En términos físicos la densidad y el volumen son parámetros que los estudiantes discriminan en el momento de responder. • Los modelos presentados pueden ser simples, (adjudican a una propiedad el comportamiento del fenómeno) y complejos, (la explicación se fundamenta en la interacción). 	

4.2 SESIÓN 2

Parte I: Discusión por bandos

Esta fue uno de los momentos más interesantes en la implementación de la actividad, pues el hecho de que existiera un reto, *convencer a su oponente*, les llamaba la atención y disponía al grupo a escuchar. A continuación se presenta la transcripción (Tabla 4-3) de las explicaciones que se dieron en esta sesión.

Tabla 4-3: Análisis descriptivo de los argumentos de la sesión 2

INTERVENCIONES	COMENTARIO
1: <i>entre más masa, cae más rápido, por la gravedad si se supone que se lanza algo más pesado, la gravedad lo atrae más.</i>	En este diálogo se exponen dos modelos explicativos de la caída de un objeto. En los dos casos la gravedad o fuerza de gravedad, es clave en la explicación del fenómeno.
2: <i>la fuerza de la gravedad es la misma y caen</i>	Existe un elemento de dogmatismo en la

al mismo tiempo.

3: *los objetos caen a la tierra y todos caen igual porque la fuerza de gravedad es la misma, la fuerza de gravedad es igual acá que en Nueva York, pues esto es lo que enseña la física, si camino acá o allá necesito la misma fuerza.*

4: *el peso es la fuerza de gravedad que hay sobre un objeto, no tiene nada que ver con el tiempo.*

Maestra: ¿Qué es la fuerza gravitacional?

5: *es la atracción que tienen los cuerpos hacia la tierra*

6: *la que tiene más peso va a coger más velocidad, porque se impulsa mas, como la otra tiene menos peso tiene menos impulso tiene menos fuerza para caer*

7: *no es solo la fuerza que atrae los objetos, el peso no hace que caiga más rápido, por ejemplo la fuerza que atrae los objetos no hace que caigan más rápido; digamos que pones a saltar a una persona de determinada altura y a otra que pesa más, van a caer igual.*

Maestra: ¿Qué es lo que hace que caiga más rápido?

Se realiza la siguiente experiencia: se toman dos hojas iguales, una de ellas se arruga y la otra se deja plana, se sitúan a una misma altura con respecto al suelo, en este punto se les pregunta a los estudiantes ¿cuál de las dos hojas va a llegar primero al suelo?

8: *es diferente ya que juega otra fuerza que es el viento, hay objetos que no fluyen en el viento, entonces ahí ya hay otra fuerza que influye en el experimento.*

9: *el peso mayor puede desplazar mejor la densidad que con peso menor y por eso va a caer más rápido al suelo*

afirmación 3 cuando se habla de lo que enseña la física, este es un punto de quiebre que es difícil controvertir debido a el de autoridad que esta tipo de información tiene.

Esta afirmación es interesante, en el sentido en que diferencia el concepto de peso del concepto de fuerza de gravedad. Plantea la independencia del peso con el tiempo de caída del objeto. Se hace énfasis en que a pesar de que haya atracción no implica que sea una atracción “rápida” o “lenta”.

Ya que los estudiantes hablan recurrentemente sobre fuerza de gravedad, se les pidió que la definieran. Esta es una de las primeras definiciones.

Esta afirmación tiene la intención de contradecir que los dos objetos van a caer al mismo tiempo, relaciona tres conceptos: peso, fuerza, velocidad, relacionando directamente la velocidad que logra el objeto con el peso.

Esta explicación acude a la analogía para mostrar la independencia de los pesos en el tiempo de caída de los objetos.

Cuestionando el significado y la causa que atribuyen los estudiantes al hablar de velocidad, se les planteo una pregunta, con el ánimo de conocer que variables encontraban relevantes o influyentes en la velocidad. Debido a que no se dieron respuestas a esta pregunta, se planteo una experiencia que en principio contradecía los dos modelos planteados.

Los estudiantes que defendían el modelo 1 (caen al mismo tiempo), agregan otra variable que hasta el momento no se había mencionado explícitamente, y puntualizan en que este es un caso diferente.

Este es el argumento de los estudiantes que defendían el modelo 2, con la palabra densidad hacen referencia a una propiedad del aire que

10: *En toda ley de la matemática y de la física hay una excepción y el ejemplo de la hoja es la excepción, el efecto que hace es cortar el viento por eso no va a caer igual*

no permita que fluya de igual manera el objeto. Frente a esta respuesta el otro *bando* no cuestiono el hecho de que las dos eran del mismo peso, por lo tanto esta explicación no tenía validez.

Esta respuesta (estudiante-modelo 1) habla sobre una ley general que no se va a cumplir en todos los casos y menciona cuál es la causa por la que no se cumple, implícitamente afirma que el efecto de cortar el viento no es una variable que se tenga en cuenta en la ley general.

11: *De igual manera influye si el objeto está lleno de aire*

En ninguna de las explicaciones sobre la diferencia en la caída de las hojas mencionan explícitamente

Un estudiante (modelo 2) habla sobre otra posible situación en la que a pesar de que dos objetos tengan la misma forma, no van a caer al suelo en el mismo tiempo.

12: *La diferencia entre dos objetos que caen va a ser mínima y no se nota casi, es como el ejemplo de la carrera de atletismo donde uno de los corredores no le lleva mucha distancia desde el principio pero con el paso del tiempo esta diferencia se incrementa, igual pasa con los objetos.*

Posterior a la realización de esta experiencia los estudiantes plantean soltar una esfera de ping pong y una piquis, para ver cuál de los dos modelos es cierto. Se realizan 3 repeticiones; sin embargo, las observaciones no son concluyentes y generan debate. Frente a este aspecto un estudiante establece una analogía para explicar porque desde cierta altura no se nota diferencia.

La discusión en bandos fue bastante interesante, no tanto porque llegaran a una conclusión o todo el grupo se inclinara más por un modelo que por otro, sino porque las explicaciones paulatinamente se hacían más complejas al introducir nuevas variables y porque estaban obligados a hacer explicaciones que fueran más claras para todos. Frente a este aspecto los estudiantes recurren a analogías para hacerse inteligible la explicación.

En la explicación hacen uso de palabras cotidianas, por ejemplo *coger velocidad* haciendo referencia a la variación de la velocidad en el tiempo, aceleración. Después de la discusión quedó como expectativa la realización del experimento como instrumento para demostrar su modelo.

▪ Parte II: Experimento

En esta parte se vivieron dos momentos; el primero relacionado con el diseño, y el segundo relacionado con el desarrollo del experimento. Para guiar el proceso de diseño del experimento se plantearon las siguientes preguntas:

1. ¿Qué se quiere probar con el experimento?
2. ¿Qué condiciones se deben tener en cuenta?
3. ¿Qué materiales son necesarios?
4. ¿Qué ventajas ofrece utilizar estos materiales?

Para la realización del experimento se planteó a los estudiantes, como herramienta de adquisición de datos, una cámara de video, para que posteriormente fuera sencilla la presentación del experimento al grupo.

Cada grupo se enfocó en estudiar la variable que consideraba influyente en la caída del objeto; por lo tanto se obtuvieron diversos experimentos, las respuestas a las preguntas planteadas en la parte 2 de la sesión 2 se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4-4: Respuestas de los estudiantes sobre el diseño del experimento

PREGUNTA 1	PREGUNTA 2	PREGUNTA 3	PREGUNTA 4
Que objetos del mismo volumen y diferente masa caen al mismo tiempo	El volumen, la altura y el peso.	Balón de Volleyball normal y medicinal (lleno de arena)	El tamaño y forma es la misma pero el peso es diferente.
Comprobar que los objetos caen al mismo tiempo sin importar el peso, siempre y cuando estén a la misma altura y no haya fuerza que intervenga en la caída. Ej. viento	Que estén a la misma altura Que tengan la misma forma	Una bala (esfera utilizada para lanzamientos) y una pelota	Porque tienen la misma forma y porque una pesa más que la otra. Es fácil calcular su peso y su observación es fácil de realizar.
Que la de mayor peso cae primero	Aire, diferencia de peso razonable	Dos bolas del mismo tamaño pero de diferente peso.	Tienen que tener la misma forma y distinto peso.
Que la fuerza que atrae los objetos hace que dos objetos de la misma forma pero de diferente peso caigan al mismo tiempo.	Se necesita tener en cuenta que sea exacta la similitud entre los dos objetos, tiene que ser un material que no rebote ya que puede afectar el experimento al confundirnos. También se necesita una superficie estable, tanto como desde donde se arroja como dónde cae.	Dos bolas de acero de diferente peso.	- Sin respuesta

4.3 SESIÓN 3

Esta sesión fue controvertida en el sentido en que entre los grupos discutían sobre la forma de realización del experimento. Sin embargo uno de los videos fue para la mayoría de los estudiantes una prueba irrefutable, en cámara lenta podía apreciarse una diferencia pequeña de altura entre las dos esferas.

Figura 4-1 Fotografía del video realizado por los estudiantes



El ejercicio de presentar los videos permitió que los estudiantes replantearan su modelo sobre la caída de objetos y lo adecuaron según los resultados observados en los videos. El tipo de análisis que realizaban se enfocaba en pensar en las variables que podían hacer que uno de los objetos llegará primero al suelo y poner condiciones al experimento para probar su modelo.

Para este experimento se realizaron varias pruebas; uno de los estudiantes se subió a uno de los árboles y desde la mitad (aproximadamente) de éste soltó las dos esferas. Como no observaron los resultados esperados, aumentaron la altura hasta el punto en que estaba muy cerca de la copa del árbol. El argumento que expusieron para justificar la metodología del experimento fue el siguiente: *los dos objetos caen al mismo tiempo (imperceptible) en una distancia corta y la de mayor peso no alcanza a coger más velocidad porque el aire es el que detiene a la de mayor peso.*

4.4 SESIÓN 4

En esta sesión se pretendía analizar las variables que resultaron relevantes en la comparación de la caída de objetos. Estas variables fueron:

- La forma
- La densidad/material
- El peso

Para conocer las explicaciones que tenían frente a la importancia de estas variables, se les propuso las siguientes comparaciones:

Comparar la caída de un objeto:

- *Liviano* con uno *Pesado*
 - Área grande con Área pequeña
 - Sólido con Hueco
1. De todos los objetos ¿cuál cayó más rápidamente?
 2. ¿Qué características de ese objeto hacen que caiga más rápido?
 3. ¿Cuál cayó lentamente?
 4. ¿Cuál par de objetos mostro una diferencia notable? ¿Cuál cree que es la razón?

Después del análisis y de algunas experiencias los estudiantes llegaron a las siguientes conclusiones:

- *El objeto con mayor área transversal ejerce más presión sobre el aire que el de menor área transversal haciendo que la de menor área caiga primero.*
- *Caen igual los objetos porque no hay la suficiente altura para que se pueda ver la diferencia.*
- *Un objeto plano hace más resistencia que uno redondo.*
- *Cuando son formas iguales pero de distinto peso cae primero la más pesada porque esta tiene menos resistencia al aire que produce la velocidad de la caída.*

4.5 SESIÓN 5

Después de haber comparado dos objetos cayendo, se propuso el estudio de la posición, velocidad y aceleración del objeto que cae. Para realizar este análisis se utilizaron los videos previamente realizados y se utilizó un software de visualización de imágenes que permitía seguir la secuencia del objeto cuadro a cuadro y exportar los datos de la posición y el tiempo de caída. El software que se utilizó fue *VideoPoint Physics Fundamentals*. A continuación se presentan los pantallazos de lo que se realizó con el programa:

A partir de la imagen de la secuencia del movimiento y la tabla de datos el objetivo es analizar la aceleración y la velocidad del objeto del que cada grupo hizo el video.

Para el análisis se plantearon las siguientes preguntas:

1. ¿Qué puede inferir a partir de la secuencia que se presenta en la imagen del video?
2. ¿Qué análisis puede hacer con respecto a la velocidad del objeto que está cayendo? ¿cuál es su valor?
3. ¿El movimiento del objeto es acelerado? Si ese es el caso, ¿cuál es su valor?

Se les solicitó realizar una nueva grabación con el mismo objeto pero variando la altura desde la que se lanza y se les planteó las siguientes preguntas:

4. Al aumentar la altura, ¿cuál es la variación de la velocidad?

Las respuestas a las preguntas anteriores se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 4-5: Respuestas al análisis de los datos obtenidos

PREGUNTA	RESPUESTA	COMENTARIO
1	<i>Entra mayor sea la altura se pueden obtener más diferencias.</i> <i>En el momento en que se suelta el objeto empieza a caer lento y cuando va a llegar al suelo es más rápido</i>	En la imagen es evidente el aumento en el desplazamiento del objeto que va cayendo, realizan una extrapolación y generalizan el experimento a que existe una relación directa entre la altura y el aumento en la velocidad.
2	<i>Entre más larga sea la distancia entre el objeto y el lugar de caída, va a aumentar más la velocidad.</i>	Este aspecto es importante pues solo hasta este momento es explícita que la velocidad esta variando su magnitud de manera creciente.
3	<i>La velocidad es creciente</i> <i>Si, la velocidad no es constante.</i>	Los estudiantes pueden hablar de velocidad constante o variable sin embargo no lo relacionan con el concepto de aceleración.
4	<i>La velocidad depende de la altura.</i>	En este punto establecen una relación entre velocidad y altura aunque no es muy precisa ya que habla de la velocidad y no del incremento de la velocidad.

4.6 SESIÓN 6

Para esta sesión, se realizó el mismo procedimiento y las mismas preguntas de la sesión 5 con base en la visualización cuadro por cuadro del video de la caída de un globo.

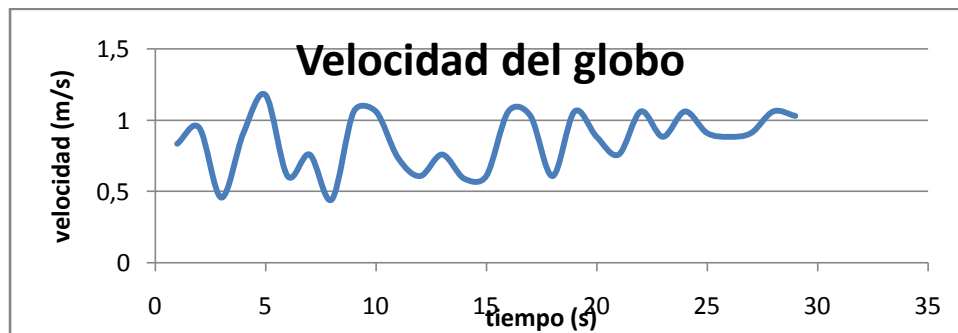
Figura 4-2 Seguimiento de la caída de un globo



La tabla de datos se presenta en el anexo B, figura B-6.

En el análisis de la caída del globo, los estudiantes evidenciaron que existe una variación en la velocidad pero, contrariamente a la caída de los otros objetos, esta variación no era siempre creciente y los cambios eran pequeños. El comportamiento de la velocidad en función del tiempo se presenta en la siguiente gráfica realizada por un grupo de estudiantes en Excel:

Gráfica 4-1: Gráfica de la Velocidad del Globo



Uno de los objetivos era encontrar que en la caída del globo se llega a un valor constante de velocidad, y lo que los estudiantes encuentran es que la variación de la velocidad es pequeña.

4.7 SESIÓN 7

En este caso los estudiantes tomaron medidas de tiempo para la caída de globos de diferente tamaño. Las medidas que tomaron fueron tiempo y diámetro del globo.

Los estudiantes señalaron la relación directa entre el diámetro del globo y el tiempo que tardaba en caer, realizaron comparaciones de dos globos de diferente diámetro lanzados desde la misma altura. La explicación que dan a este fenómeno es que si hay un diámetro mayor, el área es también mayor y por lo tanto hace más resistencia al aire.

4.8 SESIÓN 8

Esta sesión fue fundamental. Se realizó una última plenaria para recoger las ideas y explicaciones que resultaron después de un trabajo de discusión y experimentación. En esta sesión se realizó nuevamente la pregunta del caso 1:

- Frente a esta la mayoría del grupo afirmó que dos objetos no caerán al mismo tiempo y que las diferencias se aprecian más si la altura desde la que se sueltan es mayor.
- Un grupo de estudiantes afirmaba que si la forma y el material son los mismos, los objetos caerían al mismo tiempo.
- Un aspecto interesante es que para los estudiantes el aire no es una variable importante pero sí lo es el viento, en el sentido en que opone resistencia. Esto podría tener dos explicaciones; por una parte que lo que se considera como aire ellos lo denominen viento o que consideren las corrientes de aire (viento) como la variable relevante en la caída de objetos.
- La relación que establecen entre la velocidad y la resistencia del aire la describen cuando explican el funcionamiento del paracaídas: *“El paracaídas choca contra el viento, el globo no tiene centro fijo¹¹, y esto impide su caída brusca. Si es mayor la altura el paracaídas corta el viento en forma de planeador”*.

¹¹ Para este grupo, la expresión *centro fijo* hace referencia a un objeto que puede ser fácilmente trasladado por el aire, está relacionado también con objetos llenos de aire y poco macizos

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Esta propuesta de enseñanza gira en torno al desarrollo de competencias científicas a partir de la implementación de los sistemas dinámicos como perspectiva de estudio de un problema en la clase de física.

En el capítulo I se hacía referencia a las diferentes competencias científicas que era posible desarrollar al estudiar la caída de objetos teniendo en cuenta dos momentos; la construcción de modelos mentales y la experimentación.

Con respecto a la *Competencia para construir modelos de explicación y anticipación de fenómenos o acontecimientos*, se establecieron dos niveles:

1º Capacidad de construir modelos de explicación y anticipación de fenómenos o acontecimientos

Esta capacidad está ampliamente ejemplificada en la primera parte de la aplicación de la propuesta. Los modelos que los estudiantes ingenian pueden clasificarse en dos tipos: sencillos y complejos. Un modelo sencillo es aquel en el que se asocia un comportamiento a una propiedad, ej. *El objeto 1 cae más rápido porque es más pesado*. En un modelo complejo se establecen relaciones entre variables, ej. *Un objeto redondo caería primero porque apresura su caída a una mayor velocidad, ya que la esfera no se estrella con el aire*.

Uno de los objetivos en la enseñanza de las ciencias es enriquecer estos modelos tanto en complejidad como en el lenguaje en el que se expresan. Como se había mencionado en el análisis sobre esta competencia, esta es una capacidad natural que debe ser trabajada en el aula de clase.

2. Capacidad de construir modelos de explicación de fenómenos o acontecimientos empleando nociones o conceptos de ciencias.

Esta competencia es fundamental en el estudio de cualquier fenómeno de la Física; sin embargo, no se desarrolla dentro de la implementación de la propuesta pues hace parte de una fase posterior al alcance de este trabajo. Una de las posibilidades es estudiar los términos y conceptos físicos involucrados a partir del modelo dinámico.

Con respecto a la *Competencia para utilizar los sistemas dinámicos como una perspectiva y metodología de estudio de un fenómeno*

1. Capacidad de pensar los problemas o fenómenos desde una mirada de causalidad circular.

A medida que un objeto cae, aumenta su velocidad; no obstante al aumentar la velocidad, aumenta la resistencia del aire sobre el objeto, disminuyendo la velocidad, y así sucesivamente hasta un punto en el que se equilibran el peso del objeto con la resistencia del aire y el cuerpo cae con aceleración cero, es decir, cae con velocidad terminal.

Este tipo de explicación corresponde a una causalidad circular; típicamente se habla de que A causó B (causalidad lineal); sin embargo, en este caso A y B están interrelacionadas y el aumento o disminución de una afecta a la otra; además, este cambio genera una variación sobre sí misma.

Dentro de la teoría de los sistemas dinámicos esta es una retroalimentación negativa pues tiende el sistema a encontrar equilibrio.

El objetivo era presentar actividades que mostraran cómo están relacionadas las variables velocidad y resistencia del aire para establecer la interrelación entre ellas. No obstante, para los estudiantes esta no era una relación evidente, pues consideraban a la resistencia del aire como un parámetro. Esta dificultad puede presentarse debido a que la variación en la magnitud de la resistencia del aire no es observable. Por ejemplo en el trabajo de grado (ALARCÓN, 2010) de licenciatura en Física donde se estudió el vaciado del tanque, se le preguntó a los estudiantes por el tiempo que tardaría en desocuparse un tanque lleno a la mitad y uno lleno tres cuartos, si el tanque completamente lleno tardaba en desocuparse en 58 segundos. Uno de los grupos respondió “... *el razonamiento conjunto nos lleva a deducir que el tiempo varía de acuerdo a la cantidad de agua que haya. Si hay más agua va a salir más rápido y entre menos haya es más lento.*” En este caso fue evidente la relación entre la rapidez con la que salía el agua y el nivel que había en el tanque. En este caso es relativamente sencillo visualizar la relación entre las dos variables. Si bien la resistencia del aire varía, es difícil para los estudiantes entenderlo en el caso de los objetos que caen. Para encontrar esta variación es necesario analizar los datos de posición y velocidad.

2. Capacidad de establecer variables en términos de flujos y depósitos y reconocer qué cantidades son parámetros.

El objetivo es que los estudiantes sean capaces de determinar qué es lo que cambia y qué es lo que lo hace cambiar. Frente a este aspecto se realizó el análisis de las variables posición, velocidad y aceleración y se analizaron en términos de variables y flujo, parejas de variables: posición-velocidad, velocidad-aceleración. A partir de los

valores de posición los estudiantes calculaban la variación con respecto al tiempo y obtenían la velocidad; de igual manera realizaban este procedimiento con los valores de velocidad para obtener la aceleración. Una pregunta común de los estudiantes al realizar este procedimiento era ¿qué significa la variación de la aceleración?

Con respecto a la *Competencia para diseñar experimentos como herramienta para contrastar hipótesis y modelos*.

1. Capacidad de diseñar experimentos que permitan responder a preguntas específicas.

Esta capacidad no es natural y en la clase de física es uno de los elementos que se deben desarrollar pues los estudiantes deben distinguir entre varias opciones las que se consideren relevantes para encontrar respuestas. En la aplicación de la propuesta se les propuso a los estudiantes que diseñaran un experimento congruente y posteriormente que hicieran explícita la pregunta que querían responderse, para comparar las intenciones con las acciones que emprenden para encontrar una solución. En esta comparación es notable que una vez clara la situación, los estudiantes se plantean preguntas con respecto al fenómeno y el experimento es congruente con estas.

2. Capacidad para controlar las variables y parámetros del experimento

Esta capacidad se ve reflejada en el momento en que se diseña el experimento (Tabla 4-4). Los estudiantes discriminan y transforman variables en parámetros a partir de la elección de materiales y el desarrollo del experimento.

3. Capacidad de establecer y realizar un proceso de medición

Este aspecto es sui generis, en el sentido en que la medición no fue directa sino que se hizo uso de un software de visualización de imágenes que permitió conocer tanto el tiempo como la posición del objeto mientras caía. Fue importante que los estudiantes reconocieran que era necesario tener una longitud como parámetro para luego realizar la conversión entre pixeles y centímetros.

4. Capacidad de fundamentar los puntos de vista en razones, fenómenos o acontecimientos.

Esta capacidad fue transversal en la aplicación de la propuesta pues fue recurrente la socialización de los modelos planteados y de los experimentos en los que los estudiantes fundamentaron sus ideas. Algunos estudiantes habían tenido un acercamiento a la teoría de la caída libre de cuerpos y consideraban tener la razón porque su argumento era una verdad enseñada. Frente a este aspecto es importante ver como la información puede llegar a ser un obstáculo para que los estudiantes razonen y se hagan preguntas. Otro grupo de estudiantes se esforzó por explicar su modelo tanto en evidencia empírica como

en explicaciones conceptuales y analogías. Incluso para unos pocos estudiantes el experimento no fue una prueba contundente de la verificación del modelo de sus compañeros; argumentaban que debía existir un margen de error en el experimento que generaba una diferencia en los resultados. Dentro de la propuesta no se consideró explícitamente el concepto de error en el experimento; no obstante, es un aspecto a tener en cuenta.

5. Capacidad de interpretar los datos experimentales

Los estudiantes desarrollaron análisis de los datos de posición y velocidad y, como se mostró en el capítulo pasado encontraban diferencias en cuanto a la caída de una pelota y de un globo en cuanto a la variación de la posición con respecto al tiempo. El manejo del programa y los datos que arrojaba eran claros y eran evidentes las diferencias entre la caída de diversos objetos.

La interpretación de datos experimentales se da en diferentes niveles. Por ejemplo, cuando los estudiantes graficaron la velocidad del globo con respecto al tiempo observaban una variación pequeña que no era creciente, pues disminuía y aumentaba, pero no era claro que esta variación pudiese estar alrededor de un valor promedio. Este nivel de análisis no es un tema que se trabaje en educación media ya que la mayoría de gráficas que se realizan son teóricas y corresponden obviamente a líneas rectas o parábolas. Este aspecto podría introducirse a partir de la interpretación de datos experimentales y estudiar la importancia de la tendencia que presentan los datos; por ejemplo, en el caso de la gráfica de la velocidad, puede establecerse que la línea de tendencia de esa gráfica es una línea recta.

6. Capacidad de analizar los resultados obtenidos a la luz de los objetivos.

La última sesión mostraba como los estudiantes analizaban su modelo inicial y lo comparaban con los resultados obtenidos. Este proceso es importante pues más allá de dar la razón a uno u otro bando lo fundamental es reconocer nuevos elementos que pueden hacer más completo el modelo y que la explicación no es tan simple como a primera vista se pretende. La simplicidad es un proceso en las ciencias y en particular en la física que está después de haber analizado o estudiado diversas variables.

En la implementación de esta propuesta es evidente como en un primer momento las explicaciones en las que los estudiantes argumentan que los objetos pesados caen más rápido no son un obstáculo o un error conceptual para el estudio del fenómeno, sino que son un punto de partida para analizar el fenómeno de manera compleja. Es importante indagar por la explicación de las explicaciones de los estudiantes, pues en ellas se puede encontrar una forma de concebir y pensar el mundo que tal vez esté por fuera de la teoría de los libros de física pero que tiene en cuenta variables o parámetros que hacen parte de un modelo más complejo.

Las explicaciones y el análisis de las actividades desarrolladas por los estudiantes muestran que no es un error conceptual considerar al peso como una variable relevante en la caída del objeto, sino que puede ser un punto de partida para el estudio de este fenómeno de manera compleja para luego llegar a la abstracción de la ley de caída libre propuesta por Galileo Galilei.

Aunque no fue el centro de la actividad, la utilidad del video y de nuevas tecnologías, en este caso de software, para la comprensión del fenómeno es resaltable. Permitió realizar análisis cuantitativos del fenómeno que no se hubieran podido realizar con la misma facilidad y diversidad sin esta herramienta. Fue necesaria una cámara (celular, ipod) por grupo para la realización de los videos.

La propuesta planteada generó expectativa y motivación a los estudiantes, no solo por el componente académico o disciplinar que pueda tener sino porque la propuesta está concebida para que los estudiantes sean protagonistas en la construcción del conocimiento. Esta propuesta de trabajo muestra como la enseñanza de la física puede concebirse como un espacio en el que los estudiantes aprenden a partir de sus propias acciones.

Cuando un profesor pregunta en clase de física por la descripción de la caída de un objeto, los estudiantes en un gran porcentaje, relacionaran la velocidad del objeto con su peso, paso seguido el maestro explicará que existe una ley que dice que la velocidad del cuerpo no depende de su peso sino que su velocidad incrementa en intervalos iguales en la unidad de tiempo y que esta variación depende de la aceleración de la gravedad. Aunque el estudiante asuma para los exámenes o para resolver ejercicios este "axioma", cuando se le cuestione por una cuestión similar los estudiantes retomarán su idea inicial. Esta propuesta pretende romper con este paradigma de enseñanza, enfocando la atención a la conceptualización y análisis de fenómenos.

5.2 Recomendaciones

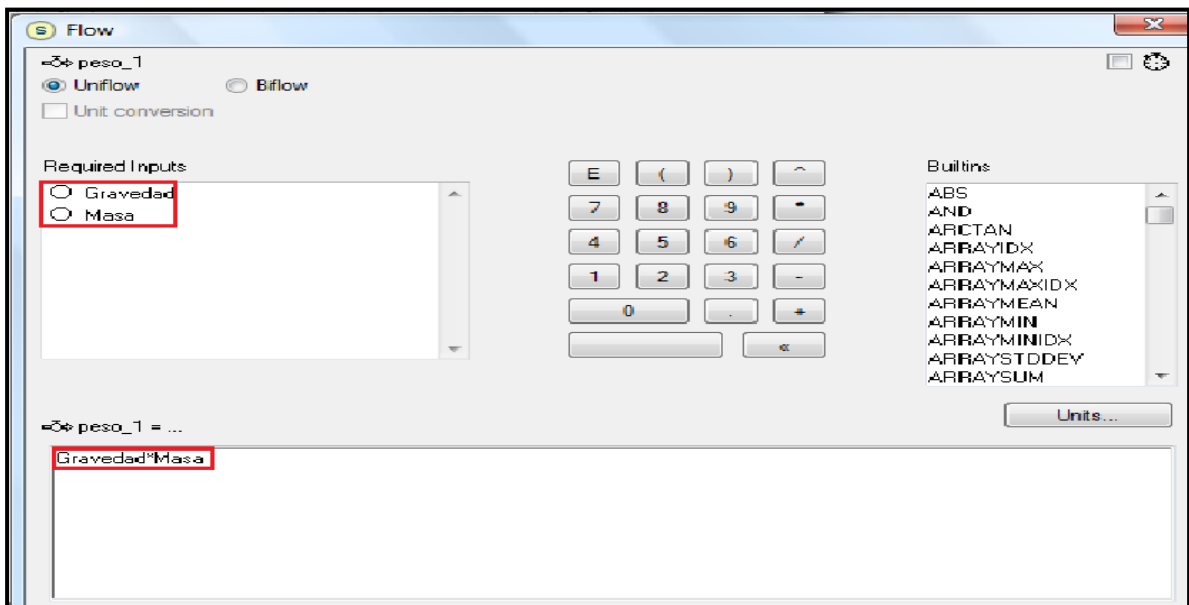
En la enseñanza de la Física generalmente los modelos ideales se estudian con mayor prioridad pues es necesario un conocimiento matemático más avanzado; sin embargo, el uso de software como Stella puede ser una posible solución a este aspecto pues, posteriormente a la realización del modelo dinámico en donde prima la comprensión, el software se encarga de realizar una simulación en la que se obtiene una gráfica, por lo tanto se puede prescindir de la solución de ecuaciones diferenciales.

El uso del modelo dinámico en el software Stella también es útil para iniciar un proceso de apropiación del lenguaje y de los conceptos de la física.

Anexo: Desarrollo del problema en el software Stella

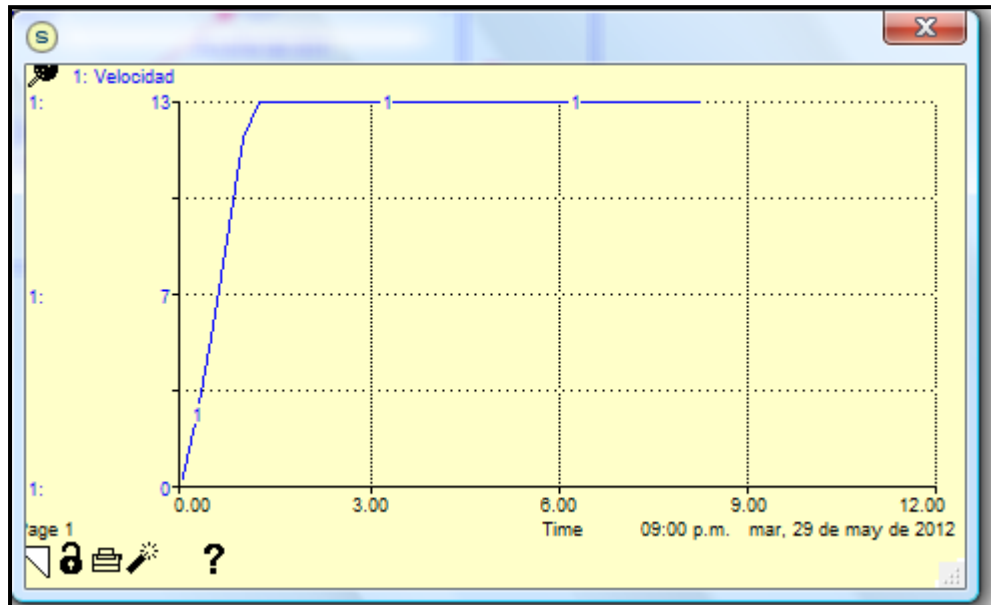
En el modelo las flechas indican la relación de las variables o parámetros con algunas de las cantidades; por ejemplo, para el caso del PESO, aparece un cuadro de diálogo (figura 2-10) como el siguiente:

Figura A-1: Cuadro de diálogo del software Stella.



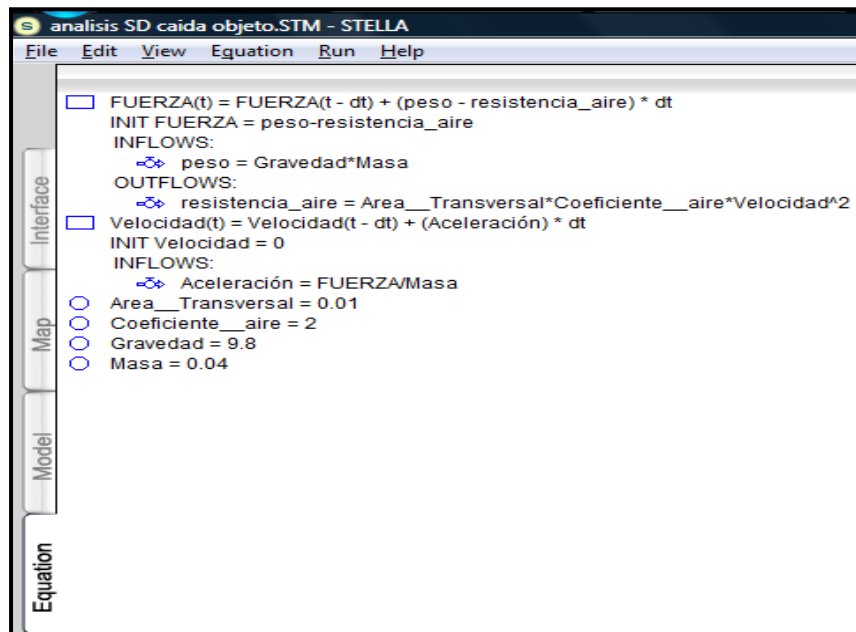
En un cuadro rojo están señalados los dos parámetros que en el modelo se unieron al PESO, el objetivo en el cuadro blanco inferior se escribe la relación matemática que existe, para este caso aparece **Gravedad*Masa**

De igual manera se hace con el flujo denominado RESISTENCIA y ACELERACIÓN y el depósito FUERZA.

Figura A-2: Gráfica de la simulación del modelo realizada en el software Stella

El programa Stella permite realizar una simulación del fenómeno a partir del modelo construido, en la gráfica (Figura A-2) es posible observar el valor de la velocidad límite para un objeto cuya masa es de 0,04 Kg. y de área transversal de $0,01\text{m}^2$.

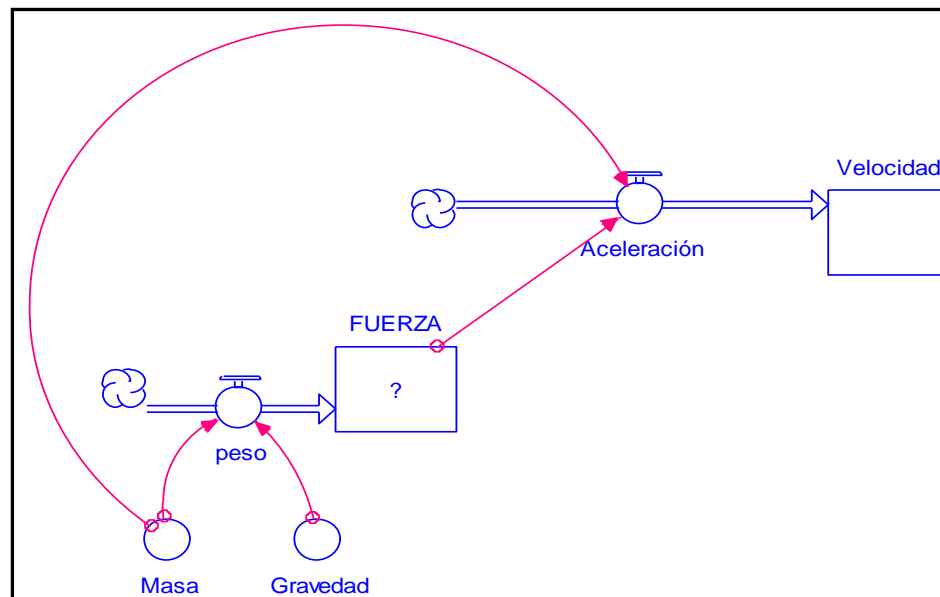
El programa tiene la opción de visualizar las ecuaciones (figura A-3) que están implícitas en el modelo:

Figura A-3: Visualización de las ecuaciones planteadas en el modelo dinámico

Una de las ventajas en el estudio de este tipo de problemas complejos es la posibilidad de cambiar los valores iniciales y simular el fenómeno sin necesidad de solucionar las ecuaciones diferenciales que resultan del análisis matemático.

En los casos en que no se tenga en cuenta la resistencia del aire o que esta sea despreciable para el estudio que se esté realizando, el modelo dinámico (figura A-4) representaría la ley de caída libre propuesta por Galileo, en la que la aceleración del cuerpo es igual a la aceleración de la gravedad.

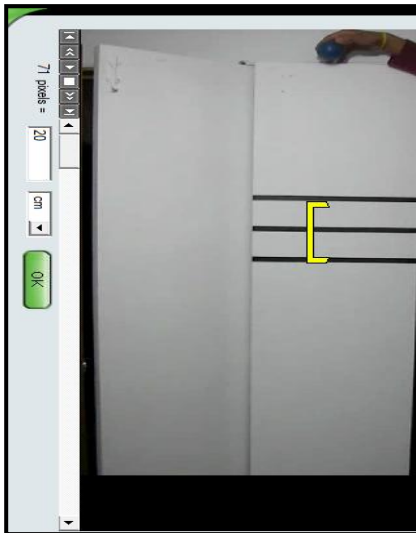
Figura A-4: Diagrama del modelo realizado en el software Stella despreciando la resistencia del aire



Anexo: Análisis del video

El software que se utilizó fue *VideoPoint Physics Fundamentals*, a continuación se presentan los pantallazos de lo que se realizó con el programa:

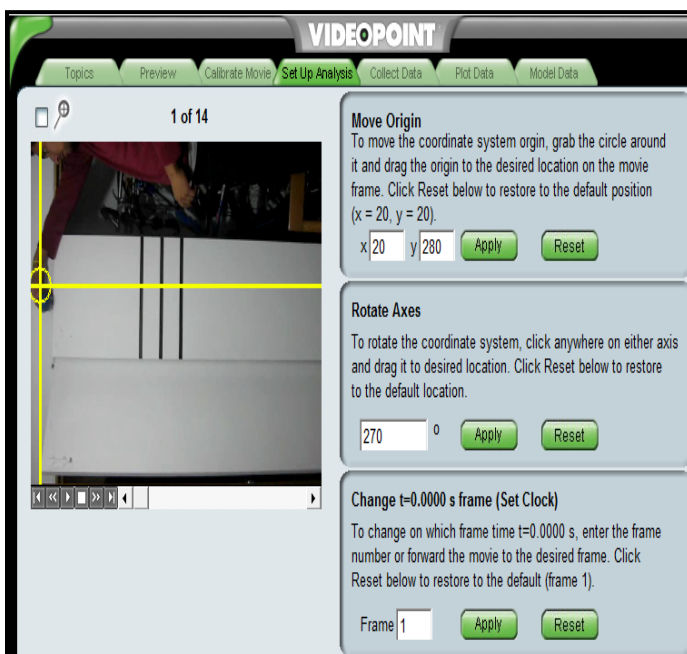
Figura A-1: Paso 1



1^{er} Paso: Calibrar la unidad de medida.

Como parte fundamental para la realización del video se les solicito que grabaran con un fondo en el que pudieran tener una referencia de medida, para realizar la conversión entre pixeles y centímetros.

Figura A-2: Paso 2



2^o Paso: Establecer las condiciones iniciales:

Este paso consiste en ubicar el sistema de referencia, y buscar el cuadro (frame) en el que se asume que $t = \text{cero}$ (t , tiempo).

Figura A-3: Paso 3



3^{er} Paso: Seguir cuadro a cuadro la trayectoria del objeto que cae.

Esta es la herramienta por la que vale la pena utilizar un software de este estilo, el programa muestra las imágenes cuadro por cuadro y permite señalarlas su posición.

Figura A-4: Paso 4

4^o Paso: Extracción de los datos



Las cámaras de video tiene como medida fps, lo cual significa cuadros por segundo, dependiendo de este valor se pueden obtener más o menos puntos de seguimiento de la caída del objeto.

Point S1			
f	time [s]	x [m]	y [m]
1	0.0000	0.0394	0.0394
2	0.1000	0.0704	0.1154
3	0.2000	0.0732	0.3436
4	0.3000	0.0816	0.7042
5	0.4000	0.1042	1.1718
6	0.5000	0.1070	1.7380
7	0.6000		
8	0.7000		
9	0.8000		

Tabla A-5: Tabla de datos de tiempo y posición del globo.

Frame	time [s]	y [m]
1	0	0,03
2	0,03	0,055
3	0,067	0,09
4	0,1	0,105
5	0,133	0,135
6	0,167	0,175
7	0,2	0,195
8	0,233	0,22
9	0,267	0,235
10	0,3	0,27
11	0,333	0,305
12	0,367	0,33
13	0,4	0,35
14	0,433	0,375
15	0,467	0,395
16	0,5	0,415
17	0,533	0,45
18	0,567	0,485
19	0,6	0,505
20	0,633	0,54
21	0,667	0,57
22	0,7	0,595
23	0,733	0,63
24	0,767	0,66
25	0,8	0,695
26	0,833	0,725

Bibliografía

- ALARCÓN, Mónica. 2010.** *La enseñanza de la física desde la perspectiva de los sistemas dinámicos: el vaciado de un tanque.* Bogotá : Trabajo de Grado de la Lic. en Física. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2010.
- ANDRADE, Hugo y PARRA, Carlos A. 1998.** Esbozo de una propuesta de modelo educativo centrado en los procesos de pensamiento. [En línea] 1998. [Citado el: 10 de Octubre de 2009.] <http://lsm.dei.uc.pt/ribie/docfiles/txt20034242121183.PDF>.
- ARCA, Maria y GUIDONI, Paulo. 2000.** Modelos Infantiles. [aut. libro] Dino. et. al. Segura. *Planteamientos en Educación. Enseñanza de las Ciencias.* Bogotá : Escuela Pedagógica Experimental, 2000, págs. 133-147.
- BRONOWSKY, Jacob. 1969.** Casi como los angeles. *El ascenso del hombre.* pendiente : pendiente, 1969, págs. 12-23.
- CAMPOS, Diógenes y ISAZA, José Fernando.** Universidad Sergio Arboleda. [En línea] www.usergioarboleda.edu.co/civilizar/matematicas/Pdfs/jfisaza.pdf.
- OSSIMITZ, Gunther y KAINZ, Daniel. 2002.** *Can Students Learn Stock-Flow-Thinking? An empirical Investigation.* Palermo, Italia : s.n., 2002.
- CARDENAS, Mauro. 2002.** *Fundamentos de los Sistemas Dinámicos. La interdisciplinariedad desde los sistemas no lineales.* Neiva : Universidad Sur Colombiana, 2002.
- CLAXTON, G. 1994.** *Educar mentes curiosas.* Madrid : Ediciones Visor, 1994.
- D' ANNA, Michelle. 2006.** Modeling in the classroom: Linking physics to other disciplines and to real-life phenomena. *La Sistemodinámica en la Enseñanza.* [En línea] 2006. http://www.sysdyn.ch/aktuell/Verita06/GIREP_dAnna.pdf.
- DAVINCI, IES Leonardo.** DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y QUÍMICA. [En línea] [Citado el: 12 de Abril de 2012.] <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Rozamiento-fluido/rozamiento-fluidos03.htm>.
- FEINAUE, Leslie y Patterson, Terence. 1993.** *Beyond linearity and circularity: deconstructing social systems theory.* 1, 1993, American Journal of Family Therapy, Vol. 21, pág. 93.

FEYNMAN, Richard. 1977. Newton's Laws of Dynamics. [aut. libro] Feynman Richard. *Lectures on Physics*. California : Addison Wesley, 1977.

GRANÉS, José. 2005. *Isaac Newton: Obra y Contexto*. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2005.

GÜNTHER, Ossimitz. Teaching System Dynamics and Systems Thinking in Austria and Germany. [En línea] [Citado el: 19 de Agosto de 2011.] G Ossimitz - System Dynamics Conference in Bergen, Norway, 2000 - wwwu.uni-klu.ac.at.

GUIDONI, P, Mazzoli, P y Arca, M. 1990. *Enseñar Ciencia*. Barcelona : Paidós, 1990.

HERNANDEZ, Carlos Augusto. ¿Qué son las competencias científicas? [En línea] [Citado el: 22 de Agosto de 2011.] http://www.esap.edu.co/esap/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_10184.pdf.

ILICH, Ivan. 1985. Mundo Libertario. [En línea] 1985. [Citado el: 13 de Abril de 2012.] http://www.mundolibertario.org/archivos/documentos/lvnlllich_lasociadadescolarizada.pdf.

SAMADHI, Aguilar. 2007 *La educación en Hannah Arendt.* 49, Enero de 2007, A parte rei. Revista de Filosofía.

KAVANAGH, Claudine y Sneider, Cary. 2006. *Learning about Gravity I. Free Fall: A Guide for Teachers and Curriculum Developers*. 2, Septiembre de 2006, Astronomy Education Review, Vol. 5.

MARCH, Robert. 1997. Los cuerpos que caen y el nacimiento de la mecánica. [aut. libro] Robert H March. *Física para Poetas*. México : Siglo Veintiuno Editores, 1997, págs. 16-34.

MARTORELLI, José Luis y PRIETO, José Luis. Torre de Babel. [En línea] [Citado el: 14 de Abril de 2012.] <http://www.e-torredebabel.com/Uned-Parla/Asignaturas/IntroduccionPsicologia/ResumenManual-Capitulo10.htm#2.3>. El constructivismo de George Kelly.

MEADOWS, Donella. 2008. *System Thinking*. Vermont : Chelsea Green Publishing, 2008.

MOLINA, Joaquín. 2003. Modelado de sistemas dinámicos y educación en ciencias. *Colegio Universitario de Bayamon-Upr*. [En línea] 31 de Octubre de 2003. [Citado el: 13 de Marzo de 2008.] http://www.prlsmp.org/what_is_prlsmp/Major_Events/annual_best_practices_conferenc/e/2003/Joaquin_Medin/CV_Joaquin_Medin_SDI.pdf.

National Science Foundation. 1994. Scientific Reasoning Research Institute. [En línea] Febrero de 1994. [Citado el: 2 de Junio de 2012.]
<https://www.srri.umass.edu/sites/srri/files/mestre-1994cal.pdf>.

PALMA, Ricardo,. Universidad Nacional del Sur. [En línea] [Citado el: 26 de Octubre de 2007.] <http://cs.uns.edu.ar/jeitics2005/Trabajos/pdf/17.pdf>.

PIAGET, Jean. 2001. *La representación del mundo en el niño*. Madrid : Ediciones Morata, 2001.

SEGURA, Dino. 2000. *¿Es posible pensar otra escuela?: Los fundamentos de la escuela: el conocimiento*. Bogotá : Escuela Pedagógica Experimental, 2000.

SENGE, Peter. 2002. *La quinta disciplina: Escuelas que Aprenden*. Bogota : Grupo Editorial Norma, 2002.

SANTOS, Julio y GRAS-MARTÍ, Albert. 2003. *Conocimientos de Física de alumnos universitarios. Influencia de las reformas educativas. 2*, Alicante-España : s.n., 2003, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 2, págs. 126-135.