

INFORMACIÓN SOBRE EL TRABAJO

Este trabajo está hecho en WINDOWS 98 Word 2000. Por los requerimientos de la Universidad de Antioquia se ha grabado en WINDOWS 95 Word 6.0.

PALABRAS CLAVES

Las palabras claves en este trabajo son las siguientes:

Sistemas
Estados
Transformaciones
Movimiento
Cosmovisión
Fenomenológico
Realista

**EL MOVIMIENTO DESDE LA PERSPECTIVA DE SISTEMA, ESTADOS Y
TRANSFORMACIONES**

YIRSEN AGUILAR MOSQUERA

TIBERIO RESTREPO CADAVID

RAÚL MEJÍA RIVERA

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIAS EXPERIMENTALES
MEDELLÍN
2002**

**EL MOVIMIENTO DESDE LA PERSPECTIVA DE SISTEMA, ESTADOS Y
TRANSFORMACIONES**

YIRSEN AGUILAR MOSQUERA

TIBERIO RESTREPO CADAVID

RAÚL MEJÍA RIVERA

**Monografía para optar al título de
Especialista en Educación**

**Asesor
Ángel Romero
Profesor de la Facultad de Educación
Universidad de Antioquia**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE EDUCACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIAS EXPERIMENTALES
MEDELLÍN
2002**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

jurado

Medellín, 12 de agosto de2002.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a:

Los profesores Luz Dary Rodríguez y Ángel Romero, profesores de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, por sus valiosos aportes, dedicación y apoyo permanente.

Marta Luz Ramírez F y Rodrigo Covaleda, profesores de la Universidad de Antioquia, por sus aportes, orientaciones y dedicación.

La Universidad de Antioquia en su Facultad de Educación, por brindarnos la oportunidad de realizar la especialización.

RESUMEN

Mediante el análisis que se hace de algunos textos de física del nivel medio y universitario, se muestran situaciones problemáticas de orden conceptual, en donde se destacan problemas como: el reposo como estado diferente al estado de movimiento rectilíneo uniforme, la inercia como oposición (resistencia) al cambio de estado de un cuerpo, la masa como cuantificación de la inercia, la fuerza con existencia propia y, en algunos casos, como atributo o propiedad del cuerpo. En este análisis se puede evidenciar que lo relacionado con la mecánica está fundamentado en el enfoque newtoniano, el cual lo constituyen las llamadas leyes de Newton.

Se realiza una caracterización de las visiones realista y fenomenológica, en la cual se muestran estas perspectivas como diferentes formas de ver y de relacionarse con el mundo, al igual que se explicita la concepción de ciencia que subyace en cada una de ellas. Se opta por la perspectiva fenomenológica como alternativa que permite asumir la física como la actividad humana que posibilita darle significación a la “realidad” construida por el hombre; se aborda el movimiento desde esta visión a través de la perspectiva de sistema, estados y transformaciones, formas de ver que se consideran coherente y que permiten una mejor significación del movimiento, asumiendo éste como la condición en la que se encuentra el sistema, donde un cambio en dicha condición da cuenta de la interacción del sistema con otro sistema.

Por último se diseñan actividades didácticas para iniciar un análisis del movimiento desde esta perspectiva.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Introducción.....	1
Justificación.....	3
Objetivos.....	5

1. LEYES DEL MOVIMIENTO

1.2	A propósito de las leyes del movimiento de Newton.....	6
1.3	Sobre la primera ley del movimiento.....	6
1.4	Sobre la segunda ley del movimiento.....	16

2. COSMOVISIONES

1.2	Cosmovisiones: Realista vs. Fenomenológica.....	23
1.3	Cosmovisión Realista.....	24
1.4	Cosmovisión Fenomenológica	27
1.5	Implicaciones de las cosmovisiones Realista y Fenomenológica en la enseñanza de la física	33
2.5.	Sistema, Estados y Transformaciones.....	34
2.6	Estados y Transformaciones.....	34

3. MOVIMIENTO

1.2	El movimiento desde la perspectiva de Sistema,	
-----	--	--

Estados y Transformaciones.....	40
3.2 Estados de movimiento.....	40
3.3 Permanencia y cambios en el estado de movimiento.....	41
3.4 Cuantificación de la velocidad a partir del espacio y el tiempo.....	46

4. TALLERES

4.1 Taller número uno: Sistema, Estados y Transformaciones... 53	
4.2 Taller número dos: Caracterización de la velocidad de Caída de un cuerpo.....	54
4.3. Taller número tres: Estado de un sistema, cambios de Estados e interacciones.....	56
4.4 Taller número cuatro: Caracterización del movimiento desde las transformaciones.....	57
Conclusiones.....	59
Bibliografía.....	61

INTRODUCCIÓN

Generalmente en la enseñanza de la física la mecánica abordada es de corte newtoniano, en donde sus tres leyes se constituyen en el núcleo fundamental de la mecánica. Generalmente los cursos de física se limitan a repetir leyes y teorías sin la posibilidad de reflexión alguna sobre el particular. Se puede decir que es poco usual que en la enseñanza de la física un examen crítico de los aspectos que determinan la selección y organización de las temáticas a ser enseñadas, al igual que propuestas que consideren un replanteamiento de qué enseñar.

Al abordarse la enseñanza de la física se debe ser consciente de la concepción de ciencia que se tiene, aspecto sobre el cual es igualmente importante reflexionar, ya que es la imagen de ciencia la que permite decidir sobre el qué enseñar y el cómo enseñar. La forma como tradicionalmente se aborda el movimiento desde las leyes de Newton presentan ciertas dificultades que se hacen explícitas a lo largo de este trabajo, tal es el caso de: el reposo como estado diferente al estado de movimiento rectilíneo uniforme, la inercia como oposición (resistencia) al cambio de estado de un cuerpo, la masa como cuantificación de la inercia, la fuerza con existencia propia y, en algunos casos, como atributo o propiedad del cuerpo. Por tal razón en esta propuesta se presenta otra forma de abordar los fenómenos mecánicos desde la perspectiva de sistema, estados y transformaciones. Con este enfoque se pretende generar condiciones que permitan una comprensión de los fenómenos mecánicos, en donde el sujeto es parte activa ya que es asumido como constructor de la realidad.

Consideraciones acerca de la ciencia, la física, el conocimiento y la enseñanza son los criterios que motivan y orientan esta propuesta. La ciencia se asume como aquella actividad que permite la búsqueda de significados de una realidad construida por el hombre, en donde los criterios de validez están condicionados por unos contextos particulares, que es justamente donde surge y se valida el conocimiento. La física se asume como la actividad humana orientada a la comprensión del mundo físico.

En síntesis, la identificación de ciertas problemáticas en el enfoque tradicional de la mecánica y la necesidad de una reflexión profunda en cuanto a las diversas

formas de ver, son las principales razones que han llevado a proponer un nuevo enfoque de los fenómenos mecánicos para su enseñanza.

En la primera parte de este trabajo se hace un análisis de textos de nivel medio, universitario y los Principia de Isaac Newton, lo cual permite explicitar las problemáticas de orden conceptual enunciadas anteriormente. Se examina la forma como se presenta la primera y segunda ley de Newton en textos introductorios de física de nivel medio y universitario. El segundo capítulo trata el aspecto teórico que corresponde a un análisis de las perspectivas realista y fenomenológica como formas diferentes de ver el mundo, en donde se explicita la concepción de ciencia que subyace a cada una de ellas y las implicaciones que estas formas diferentes de ver el mundo tienen en la enseñanza; sección que le da soporte a la propuesta de abordar el movimiento desde la perspectiva de Sistemas, Estados y Transformaciones. La tercera parte está conformada por la propuesta, que consiste en el enfoque del movimiento desde la perspectiva de sistema, estados y transformaciones, forma de ver que permite una organización de los fenómenos mecánicos. En este componente se examinan los aspectos importantes de la perspectiva de sistema, en donde se privilegian las relaciones y en particular, la forma de mirar por estados y transformaciones. Finalmente se presentan unas guías que pueden posibilitarle al estudiante la apropiación de los conceptos que involucra este nuevo enfoque.

JUSTIFICACIÓN

Las condiciones actuales del país obligan a pensar que la educación puede ser una buena alternativa para la transformación que éste requiere, y esto debe

orientar una reflexión sobre el quehacer de la escuela y, en particular, de la enseñanza. Los múltiples requerimientos que la sociedad impone a los maestros de ciencias exigen que éste busque alternativas en cuanto a los enfoques sobre la enseñanza de las ciencias. En la enseñanza se requieren enfoques que posibilite en los estudiantes la creatividad y que además permita en cada uno de ellos el fortalecimiento de una identidad imaginativa, lo cual demanda la generación de unos contextos en donde no se asuma la ciencia como algo acabado sino que, por el contrario, se reflexione en torno a la dinámica científica, de modo que se posibilite el indagar por la validez del conocimiento.

Reflexionar acerca del conocimiento científico y del cómo enseñar; en particular cómo enseñar la física, puede hacer consciente al maestro respecto a que la manera de abordarse y ponerse en práctica la física depende, básicamente, de la forma como el hombre concibe la ciencia, la cual está estrechamente relacionada con una forma de ver el mundo y de relacionarse con él.

Si el conocimiento científico es visto desde una concepción realista, el individuo se ocupará de descubrir unas leyes que están presentes en la naturaleza y son ajenas al hombre, constituyéndose de este modo el conocimiento científico en un cúmulo de información acerca de verdades objetivas que residen en el mundo al margen del individuo y de unos contextos. Desde esta óptica no se puede esperar una labor creativa y constructiva por parte del maestro de ciencias ya que su actividad se centra en la transmisión de construcciones o conocimientos llevadas a cabo por la comunidad científica. Sin embargo, desde una perspectiva fenomenológica la realidad no es ajena al hombre sino que es éste el que la construye. Desde esta óptica la ciencia es asumida como una actividad que busca darle significado a una realidad construida por el hombre, posibilitándole al maestro una labor creativa, transformadora y significativa.

Asumir la ciencia en estos términos posibilita al maestro de ciencia generar contextos de construcción y valoración del conocimiento, donde los modelos

físicos ya establecidos dejan de ser puntos de partida y se convierten en referentes de llegada, tanto para el maestro como para los estudiantes. Abordarse la física de esta forma puede generar en el aula un aprendizaje significativo ya que es el estudiante quien da significado a lo que construye.

A lo largo de la especialización sobre la Enseñanza de las ciencias experimentales con énfasis en la física, realizada en la U de A, se reflexionó acerca de las implicaciones que tiene una determinada concepción de ciencia y que, en particular, la postura que asume el maestro frente a la ciencia determina el qué y el cómo enseñar, lo cual incide en el tipo de hombre que se forma como futuro ciudadano.

Por otra parte, al hacer un análisis respecto a la forma como se enuncia la primera ley de Newton en muchos textos de física y en los Principia matemática, y a la manera como se asume la inercia y la masa; como también la forma de concebirse la fuerza a través de la segunda ley de Newton, se han explicitado algunas problemáticas de orden conceptual.

Por las razones anteriormente expresadas, nos sentimos motivados a presentar una propuesta alternativa referente al movimiento desde la perspectiva de sistema, estados y transformaciones.

OBJETIVO GENERAL

Propiciar una reflexión respecto a la incidencia que tiene la concepción de ciencia en la enseñanza de la física y, en particular, en los aspectos relacionados con el enfoque del movimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de la formas como en los textos se presenta la primera y la segunda ley de Newton.
- Hacer una caracterización de las perspectivas realista y fenomenológica para identificar las implicaciones que tiene, a nivel de la ciencia y la enseñanza, la forma de ver el mundo.
- Abordar el movimiento desde una visión fenomenológica a través de la perspectiva de sistema, estados y transformaciones.
- Diseñar actividades didácticas a través de las cuales se pueda iniciar un análisis del movimiento desde la perspectiva fenomenológica.

CAPÍTULO UNO

1.1 A PROPÓSITO DE LAS LEYES DEL MOVIMIENTO DE NEWTON

Cuando nos ocupamos de la física con la intención de dar algunas explicaciones referentes a ciertos acontecimientos que suceden en la naturaleza, resulta interesante estudiar las leyes físicas porque nos ayudan a comprender los fenómenos, pero también es igualmente interesante detenerse de vez en cuando y pensar, ¿qué significan estas leyes? En este sentido, al ocuparnos de un componente particular de la física como es el de las leyes del movimiento, es importante reflexionar y entrar a precisar acerca de ¿cómo se han entendido las leyes del movimiento de Newton y los conceptos que éstas involucran? ¿De qué

forma se suelen presentar estas leyes y conceptos en los textos de física de nivel medio y universitario? Reflexionar al respecto nos puede permitir clarificar nuestra postura en cuanto a estas leyes y, desde luego, de resultar situaciones problemáticas intentar construir una significación que resulte adecuada.

A continuación se realiza un análisis de algunos textos de física con la intención de examinar aspectos relacionados con los interrogantes planteados, en particular, los atinentes a la primera y segunda ley de Newton. En este caso se tiene en cuenta textos que inciden en la formación de los maestros de física, al igual que aquellos textos de nivel medio que con más frecuencia se emplean en la enseñanza de la física.

1.2 Sobre la primera ley del Movimiento

¿Cómo se comporta un cuerpo cuando no se ejerce fuerza sobre él? Usualmente los textos introductorios de física tratan de dar respuestas a este interrogante en los siguientes términos: “Todo cuerpo tiende a conservar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo y uniforme mientras no se ejerza sobre él una fuerza”¹.

1. PEÑA, Ángel y GARZO, Fernando. Curso de Física COU. Madrid: Mac Graw Hill, 1990. p.65 – 66.
Al no actuar fuerza exterior sobre un cuerpo, entonces:

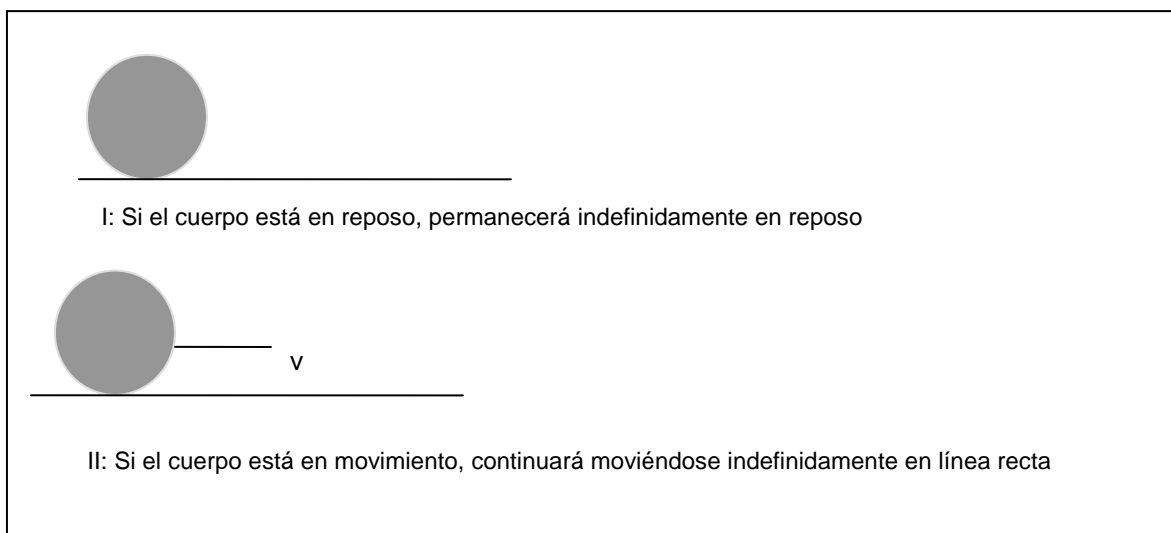


Figura 1. Condiciones en la que se encuentra un cuerpo si sobre él no actúan fuerzas externas.

Respecto a otros textos, podemos destacar enunciados como el siguiente:

Un cuerpo sobre el que no actúa una fuerza neta se mueve con velocidad constante (que puede ser cero) y cero aceleración.

... La tendencia de un cuerpo a seguir moviéndose una vez puesto en movimiento resulta de una propiedad llamada inercia... La tendencia de un cuerpo a permanecer en reposo también se debe a la inercia ².

Lo anterior es lo más usual en los textos de física, y cabe destacar que de este modo lo hemos asumido, es decir, en los mismos términos se ha considerado la ley de inercia.

-
2. SEARS, Francis, ZEMANSKY, W. Física. Madrid: Aguilar S. A, 1998. p.96.
Al igual que Sears y Zemansky lo asume Lea y Burke cuando escriben: "Un objeto sobre el que no actúa fuerza alguna permanece en reposo o se mueve en línea recta con rapidez constante". (LEA, Susan M y BURKE, John R. Física. México: Thomson Editores, 1998. p.150).
También Villegas y Ramírez escriben: "Todo cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas aplicadas sobre él". (VILLEGAS R, Mauricio y RAMÍREZ S, Ricardo. Investiguemos 10. Bogotá: Voluntad, 1989. p.80).

En la obra cumbre de I. Newton, los Principia, la forma como se enuncia la primera ley deja ver ciertas diferencias con el enunciado de los textos anteriormente citados: "Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta"³.

Después de analizar la forma de enunciar la primera ley y observar diferencias, surge la inquietud, ¿cuál es el modo más adecuado de enunciarse?

Además de las diferencias en cuanto a la forma de enunciar la primera ley, se percibe que la mayoría de textos introductorios de física consideran: el reposo como un estado diferente del estado de movimiento, la inercia como una oposición o resistencia al cambio de estado de un cuerpo, al igual que la masa

como la medida cuantitativa de la inercia; situaciones que generan ciertas problemáticas que examinaremos seguidamente.

i) El reposo como un estado diferente al estado de movimiento

El estado es la condición en la cual se encuentra un cuerpo, así que el reposo y el movimiento rectilíneo uniforme son estados diferentes. Si el cuerpo se encuentra en un estado de reposo respecto a un sistema de referencia, éste no cambia de posición, mientras que si el estado del cuerpo es el movimiento rectilíneo uniforme, éste cambia de posición respecto a dicho sistema de referencia.

Esta diferenciación se puede interpretar en el libro texto de Hecht por la forma como enuncia la ley: “Todo cuerpo continúa en su estado de reposo, o de movimiento uniforme en línea recta, a menos que sea forzado a cambiar ese estado por fuerzas ejercidas sobre él”⁴.

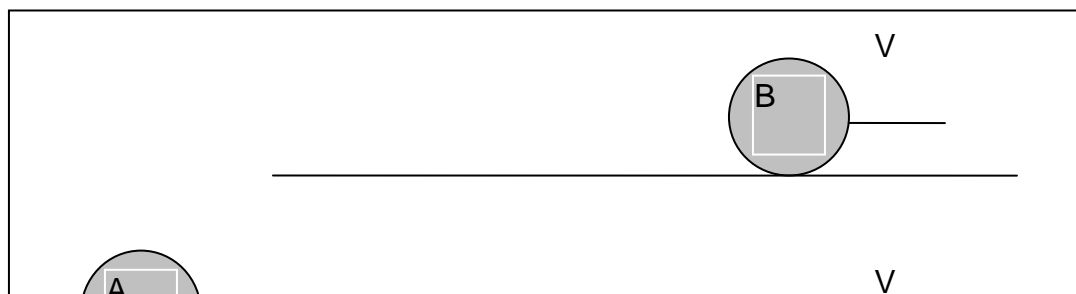
3. NEWTON, Isaac. Principios Matemáticos de la Filosofía Natural. Barcelona: Altaya, 1993. p.658.

4. HECHT, Eugene. Física en Perspectiva. Madrid: Educativa, 1991. p.107.

El enunciado de hecht es equivalente al presentado por Alvarenga: en ausencia de la acción de fuerzas, un cuerpo en reposo continuará en reposo, y uno en movimiento se moverá en línea recta y con velocidad constante. (ALVARENGA, Beatriz. Física general. México: Harla, 1981. p.134).

En algunos textos se enuncia la ley de modo diferente, sin embargo, también se puede interpretar el reposo como un estado diferente al estado de movimiento; veamos: “Todo cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que se le apliquen”⁵.

Respecto a esta distinción entre estado de reposo y estado de movimiento, se considera que la diferencia es debido a que en el estado de reposo el cuerpo no cambia de posición respecto a un observador, mientras que el cuerpo que está en movimiento cambia de posición respecto al mismo observador. Esta situación, vista de este modo, se torna problemática tal como se indica:



C

Figura 2. Los cuerpos B y C se mueven en superficie horizontal lisa con velocidad constante e igual respecto al cuerpo A,

Considérese que el cuerpo B de la figura 2 se mueve con velocidad constante y en línea recta con respecto al cuerpo A; el cuerpo C igualmente se mueve en línea recta con la misma velocidad de B y respecto al mismo cuerpo A . Bajo estas circunstancias el cuerpo B observa al cuerpo C en reposo; igualmente el cuerpo C

5. Resnick , Robert y HALIDAY, David. Física. México: Secsa,1978. p.129.

observa al cuerpo B en reposo. Tanto B como C están en movimiento con respecto al cuerpo A; sin embargo se observan mutuamente en reposo, situación que permite inferir que el reposo es un estado de movimiento de los cuerpos. Lo anterior lleva a formular, ¿es el reposo un estado equivalente al estado de movimiento?.

ii) La masa como cuantificación de la inercia

Para cambiar el estado en el que se encuentra un cuerpo, sobre éste debe aplicarse una fuerza exterior y mientras mayor sea la masa del cuerpo, mayor es la fuerza que debe aplicarse sobre él. En este caso podemos establecer una relación directamente proporcional entre la masa y la inercia del cuerpo. Si tenemos en cuenta esta relación y la cuantificación de la masa, podemos afirmar que cuantificar la masa es equivalente a cuantificar la inercia.

Esta forma de establecer la relación entre la masa y la inercia se argumenta en los siguientes términos:

¿Qué efecto tendrá la misma fuerza sobre cuerpos diferentes?...Para obtener una respuesta cuantitativa a esta pregunta necesitamos un método para medir masa, o sea, la propiedad de un cuerpo que determina su resistencia a cambiar su movimiento...Por consiguiente, la masa se puede considerar como una medida cuantitativa de la inercia.⁶

Del mismo modo lo asume Feynman cuando escribe:

Hay una diferencia que debe entenderse entre el peso de un objeto y su inercia (lo difícil que es poner una cosa en movimiento y cuánto pesa es algo diferente). El peso y la inercia son proporcionales y sobre la superficie de la Tierra se consideran a menudo numéricamente iguales...Usamos el término masa como medida cuantitativa de la inercia.⁷

6. RESNICK, Robert y HOLLIDAY, David. Física Parte I. México: SECSA, 1978. p.133.

7. FEYNMAN, Richard P.; LEIGTON, Robert y SAND, Matthew. Física. Panamá: Feisa, 1971. Cap. 9, Sección 9 – 1. Similar a Feynman lo asume Peña y Garzo cuando escriben: " La masa inercial es la expresión cuantitativa de la inercia, y cuanto mayor sea la masa mayor resistencia ofrece el cuerpo a cambiar su estado de movimiento". (PEÑA, Ángel y GARZO, Fernando. Curso de física COU. Madrid: Mc Graw Hill, 1990. p.65 – 66).

En los Principia también se puede interpretar la relación proporcional entre la masa y la inercia:

La fuerza insita de la materia es un poder de resistencia de todos los cuerpos, en cuya virtud perseveran cuanto está en ellos por mantenerse en su estado actual, ya sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta. Esta fuerza es siempre proporcional a su cuerpo, y sólo difiere de la inactividad de la masa por el modo de concebirla.

Debido a la inercia de la materia, un cuerpo no abandona sin dificultad su estado de reposo o movimiento. Por lo cual esa vis insita puede llamarse muy significativamente vis inertiae, fuerza de inactividad. Pero un cuerpo sólo ejerce esa fuerza cuando otra fuerza impresa en él trata de alterar su estado, y el ejercicio de

esa fuerza puede considerarse como resistencia y como ímpetu. Es resistencia en tanto en cuanto el cuerpo se opone a la fuerza impresa para mantener su estado actual. Es ímpetu en tanto en cuanto el cuerpo, sin ceder fácilmente a la fuerza impresa de otro, se esfuerza por cambiar el estado de ese otro.

La resistencia suele atribuirse a los cuerpos en reposo, y el ímpetu a los que están en movimiento, pero el movimiento y el reposo – tal como se conciben por lo general- sólo se distinguen de modo relativo, y no siempre se encuentra en auténtico reposo los cuerpos que suelen considerarse así.⁸

En el texto anterior se puede interpretar que la fuerza ínsita hace referencia a la inercia del cuerpo a la que se refiere la primera ley. Esto puede verse claramente cuando en Los Principia se escribe: “... sólo por propiedades semejantes observadas en los cuerpos inferimos que todos los cuerpos son móviles y dotados de ciertas fuerzas (que llamamos de inercia) para perseverar en su movimiento o en su reposo”⁹.

8. NEWTON, Op cit., p.28.

9. Ibid. p.658.

Al considerar la fuerza ínsita proporcional al cuerpo, y si se tiene en cuenta que Newton denomina a la cantidad de materia como cuerpo o masa, podemos deducir que la inercia es proporcional a la masa. Lo anterior debido a lo que en los principia se escribe: “La cantidad de materia es la medida de la misma, surgida de su densidad y magnitud conjuntamente. ...Es esa cantidad lo que en lo sucesivo menciono bajo el nombre de masa o cuerpo”¹⁰.

Asumir la relación entre la masa y la inercia de este modo nos lleva a plantear, ¿qué sucederá con un cuerpo de una gran masa cuando actúa sobre él una fuerza muy pequeña?.

- ii) La inercia como oposición (resistencia) al cambio de estado de un cuerpo:

La relación directamente proporcional entre la masa y la inercia genera en los cuerpos unos grados de inercia, de modo que cuando una fuerza actúa sobre un

cuerpo para cambiar su estado, ésta debe luchar contra dichos grados de inercia generados por la masa. En este sentido la inercia es una propiedad de los cuerpos, que se manifiesta como una oposición a toda fuerza que trata de cambiar el estado de dicho cuerpo. Consecuente con lo anterior podemos decir que, cuando dos cuerpos de diferente masa se mueven a igual velocidad de manera uniforme y en línea recta y se trata de alterarles dicho estado, resulta más fácil hacerlo en el cuerpo de menor masa debido a que esa tendencia a conservar su estado es proporcional a su masa. De igual modo ocurre cuando buscamos sacar del reposo éstos.

Actualmente el texto de física conceptual de P. G. Hewitt es considerado un buen referente a nivel conceptual en la educación media debido a la forma como presenta la física, y en particular los conceptos y leyes de la mecánica newtoniana; sin embargo veamos cómo este autor establece la relación entre la masa y la inercia:

6. *Ibid.*, p. 27

Si pateas una lata vacía, se mueve, si la lata está llena de arena no se moverá con tanta facilidad, y si está llena de clavos de acero te lastimarás el pie. La lata llena de clavos tiene más inercia que la lata vacía. La cantidad de inercia de un objeto depende de su masa, que es aproximadamente la cantidad de material presente en el objeto. Cuanta más masa tiene un objeto, mayor es su inercia y más fuerza se necesita para cambiar su estado de movimiento. La masa es una medida de la inercia de un objeto.¹¹

Considérese dos cuerpos, uno de masa m y otro de masa $100m$

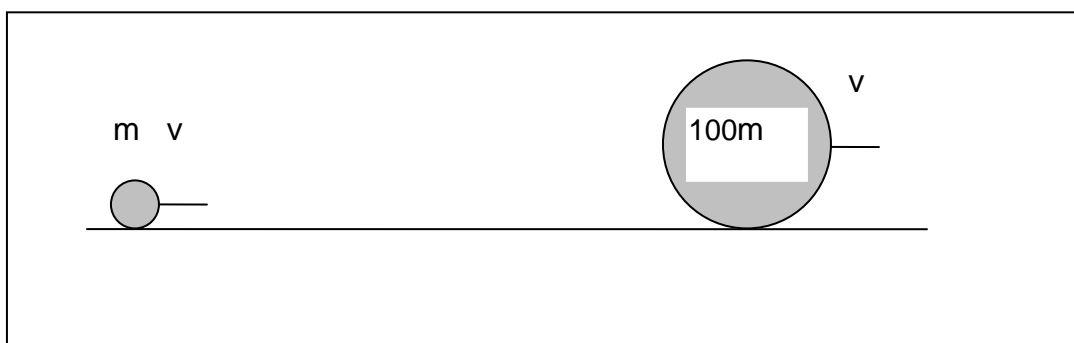


figura 3. Cuerpos de diferente masa se mueven con igual velocidad y en el mismo sentido sobre superficie horizontal lisa.

Los dos cuerpos se mueven con igual velocidad, pero el cuerpo de masa $100m$ tiene una mayor tendencia a mantenerse en su estado de movimiento que el cuerpo de masa m , por lo cual será más difícil alterar el estado del cuerpo de masa $100m$ que el cuerpo de masa m .

7. HEWITT, Paul G. Física Conceptual. México: Pearson Educación, 1999. p. 48.

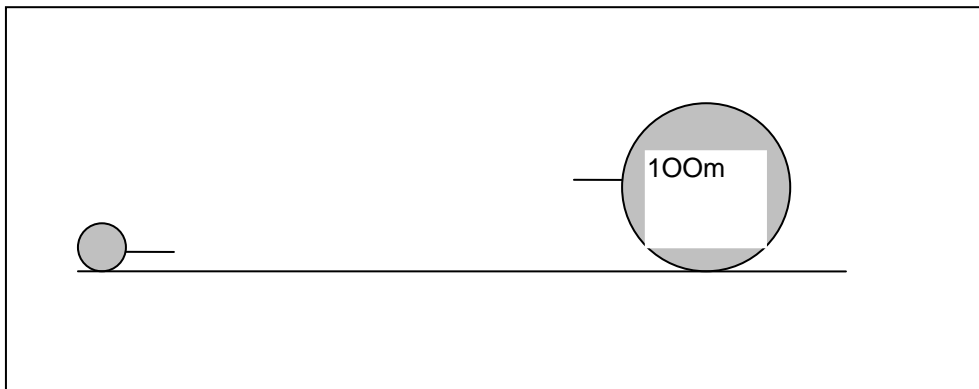


figura 4. Cuerpos de diferente masa se mueven con igual velocidad y en sentido contrario sobre superficie horizontal lisa.

Los dos cuerpos se mueven con igual velocidad, y si se trata de desviarlos lateralmente de su trayectoria para evitar que choquen, se requiere de una fuerza mayor en el cuerpo de masa $100m$ que en el de masa m ya que el primero tiene una mayor tendencia a seguir en su trayectoria debido a su gran masa.

Esta forma de asumir la inercia es también asumida por Sears y Zemansky, cuando escriben:

La masa es una medida cuantitativa de la inercia... cuanto mayor es la masa, más se “resiste” un cuerpo a ser acelerado... Si una fuerza causa una aceleración grande, la masa del cuerpo es pequeña; si la misma fuerza causa una aceleración pequeña, la masa es grande.¹²

De igual modo lo asume Michel Valero cuando escribe:

De manera más precisa, puede decirse que la masa es una medida de la inercia de un cuerpo (se define inercia como la resistencia al cambio). Mientras más masa tenga un cuerpo, más difícil será moverlo desde el reposo o pararlo cuando se encuentra en movimiento.

8. SEARS, Francis y ZEMANSKY, W. Física. Madrid: Aguilar S. A., 1998. p. 100.

Un auto tiene mucha más inercia que una bola de pimpón que se mueve con la misma velocidad, porque es mucho más difícil cambiar su movimiento. Tiene, en consecuencia, más masa.¹³

Considérese que la masa es una medida cuantitativa de la inercia y que ésta se opone al cambio de estado del cuerpo, y además se tiene un cuerpo de una masa apreciable, la cual representa una gran inercia del cuerpo ya que a mayor masa, mayor será su inercia. En este caso el cuerpo tendrá una inercia tal que, si la fuerza externa no tiene la suficiente intensidad para contrarrestar la inercia (fuerza opositora), no podrá mover el cuerpo, situación que está en contradicción con la primera ley de Newton, la cual afirma que todo cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que se le apliquen, sea cual fuere su intensidad.

En primer lugar, es importante resaltar que, cuando se hace referencia a la fuerza, ésta se asocia con una acción que se ejerce sobre otro cuerpo, es decir, aquello que se ejerce desde el exterior y que cambia el estado del cuerpo. En este sentido se asume la fuerza como algo activo, o sea, aquello que obra sobre..., en

síntesis, una acción externa sobre un cuerpo es lo que, en esta perspectiva newtoniana, se entiende por fuerza.

-
9. VALERO, Michel. Física Fundamental 1. Bogotá: Norma, 2000. p.107.

El enunciado de Valero es equivalente con el de Hecht, quien escribe: "...El objeto puede no tener peso pero siempre tiene masa. Es lo que a veces se denomina masa inercial, ya que se manifiesta por la resistencia al cambio en el movimiento. Inténtese imaginar flotando en el vacío, sosteniendo sin el menor esfuerzo una gran roca sin pesa. La roca revoloteará en su mano, como si, abajo en la tierra, estuviera sostenida por un cable invisible. Pero si intenta moverla, tendría que esforzarse en contra de su inercia..." (HECHT, Op cit., p. 113).

Al igual que Valero y Hecht lo asume Alvarenga cuando escribe: "...Cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, tanto menor será la aceleración que adquiera. En otras palabras, la masa de un cuerpo caracteriza la dificultad que presenta para adquirir una aceleración. Por lo tanto, dados dos cuerpos de diferente masa, el de masa mayor presentará una mayor dificultad para modificar su velocidad, o sea que el de masa mayor presenta una más alta inercia...cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, tanto mayor será su inercia; es decir, la masa de un cuerpo es una medida de la inercia del mismo". (ALVARENGA, Op cip., p. 169).

En segundo lugar se tiene en cuenta que la primera ley de Newton hace referencia a cuerpos inertes, entendiendo por inerte aquello que es inactivo, o sea, aquello que no hace nada por sí mismo. En este sentido, al definir la inercia como la tendencia de los cuerpos a oponerse a los cambios de su estado, se llegará a que los cuerpos no son inertes ya que tienen una facultad que los hace ejercer acciones por sí mismos, al tender a oponerse, situación contraria a lo que se asume como inerte. Lo anterior debido a que el término tender hace referencia a: "Mostrar o tener cierta inclinación hacia alguna cosa, persona o fin" ¹⁴, al igual que oponerse se refiera a: "Colocar una cosa frente a otra para impedir o estorbar su acción"¹⁵. Estos términos hacen referencia a seres conscientes y no a seres inertes. En este orden de ideas, si los cuerpos tienen la facultad de presentar resistencia a las fuerzas que actúan sobre ellos, tienen la capacidad de ejercer acciones por sí mismos. Si a esta facultad se le denomina inercia, esta propiedad adquiere un carácter activo en el sentido de ser capaz de realizar acciones para que el cuerpo se mantenga en su estado. De este modo, la inercia no sería una propiedad inactiva sino activa, adquiriendo así un carácter de fuerza. Bajo estas circunstancias vemos una inconsistencia en virtud de que la fuerza adquiere una doble función: hacer que los cuerpos mantengan su estado y hacer que los cuerpos cambien su estado, situación contradictoria en este enfoque newtoniano. En este sentido, a la inercia también se le atribuye un doble carácter, uno activo

como fuerza, y otro inactivo o inerte. Estos aspectos son totalmente opuestos, situación que resulta problemática.

1.2 Sobre la segunda ley del movimiento

¿Cómo son los cambios de estado de un cuerpo cuando actúa una fuerza sobre él? Usualmente los textos introductorios de física tratan de dar respuestas a este interrogante en los siguientes términos:

10. ENCICLOPEDIA ESPASA. Barcelona: Espasa Calpe S.A., Siglo XXI, 1998. p. 1699.

11. Ibid. P. 1322.

“ La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa”¹⁶.

Lo anterior se suele ilustrar de la siguiente manera:

Si actúa una fuerza exterior sobre un cuerpo, entonces:

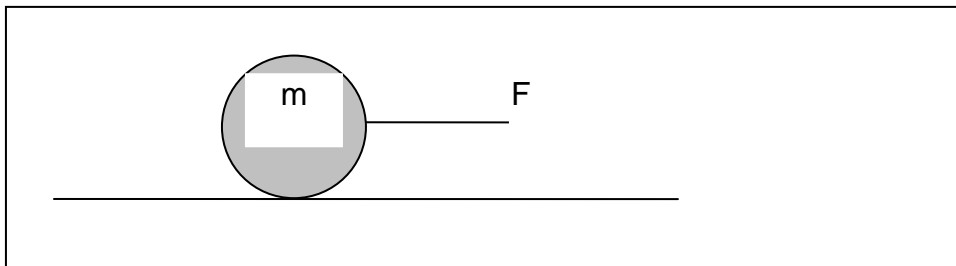


Figura 5. Una fuerza exterior actúa sobre un cuerpo, acelerando en la misma dirección de la fuerza aplicada.

El cuerpo acelera en la dirección de F con magnitud tal que hará que se cumpla:

$$\vec{a} = \frac{\vec{f}}{m} \quad \text{ó} \quad \vec{f} = m\vec{a}. \text{ En esta expresión } \vec{f} \text{ representa el conjunto de acciones}$$

externas que actúan sobre el cuerpo y que hacen cambiar el estado de movimiento del cuerpo; m representa la cantidad de materia que posee el cuerpo, asumida como invariable; \vec{a} representa los cambios de estado de movimiento del cuerpo.

12. SERWAY, Raimond A. Física I. Colombia: Mc Graw Hill, 1997. p. 112.

Veamos otras situaciones que dan cuenta de esta expresión:

i). Consideremos un cuerpo de masa m, inicialmente en reposo, sobre una superficie horizontal lisa. Si sobre este cuerpo se aplican separadamente fuerzas de magnitud F, 2F y 3F, el cambio de estado que experimenta el cuerpo será de 1, 2 y 3 unidades, respectivamente.

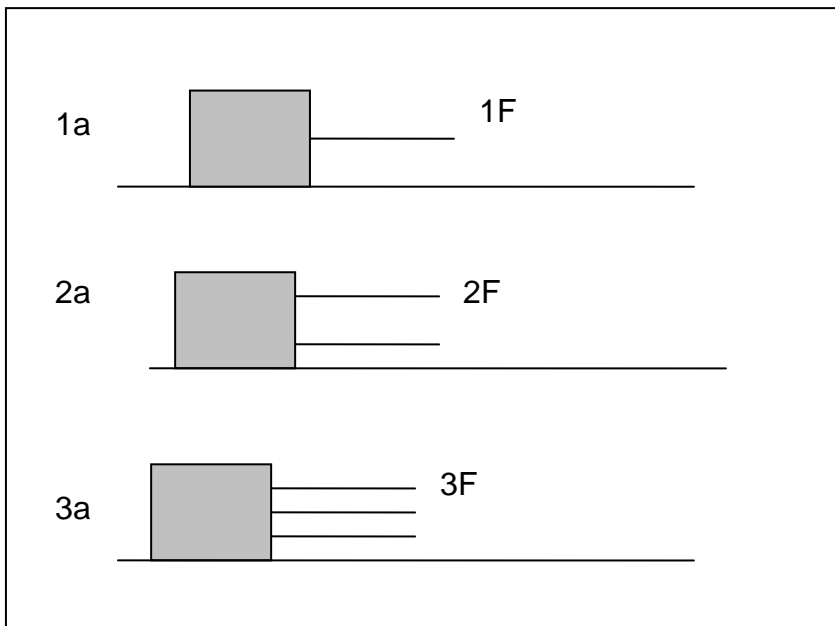


Figura 6. Sobre cuerpos de igual masa actúan fuerzas F , $2F$ y $3F$, generando aceleraciones de 1, 2 y 3 unidades respectivamente, en la misma dirección de las fuerzas aplicadas.

ii). Si se tiene cuerpos de masa m , $2m$ y $3m$ sobre una superficie horizontal lisa y se aplican sobre cada uno de ellos una fuerza F , el cambio de estado de cada uno de los cuerpos es del orden de 1, $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$ de unidad de aceleración, respectivamente.

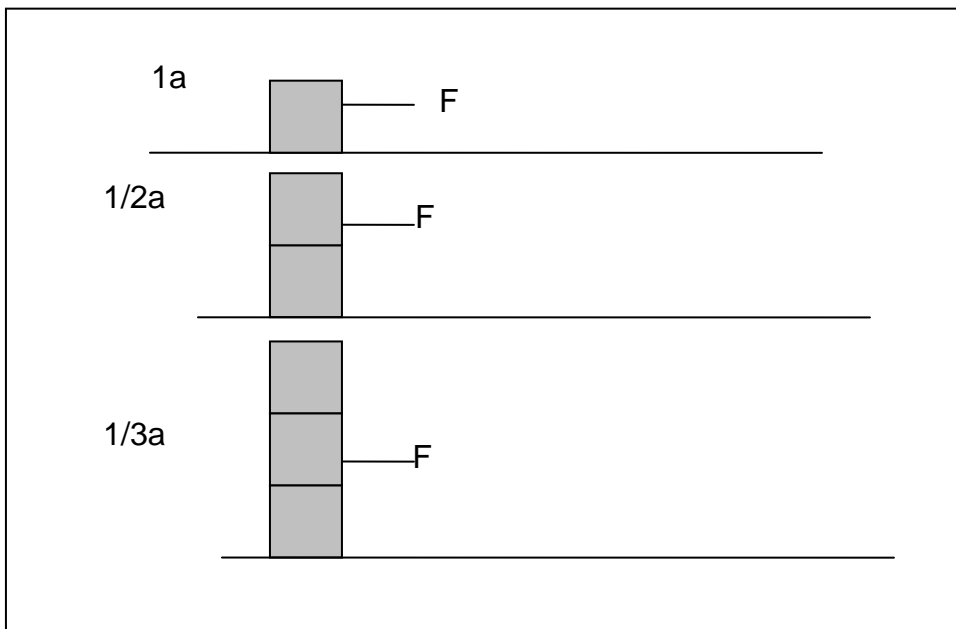
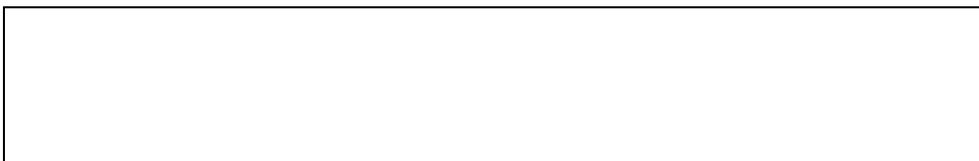


Figura 7. Sobre cuerpos de masa m , $2m$, $3m$, actúa una fuerza F , generando en cada uno de los cuerpos aceleraciones de 1, $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$ unidades respectivamente, en la misma dirección de las fuerzas aplicadas.

iii). Si se tiene un cuerpo de masa m y, se aplica una fuerza F éste experimenta un cambio de estado de una unidad de aceleración. Si se quiere generar el mismo cambio de estado en un cuerpo de masa $2m$, entonces se debe aplicar sobre él una fuerza $2F$.



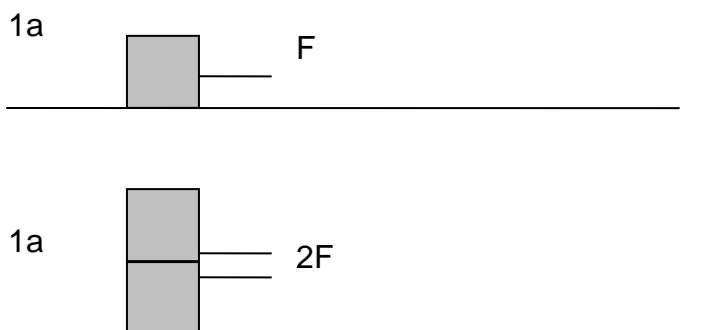


Figura 8. Sobre cuerpos de masa m , $2m$ actúan fuerzas F y $2F$, generando en cada uno de ellos una unidad de aceleración en la misma dirección de las fuerzas aplicadas.

Otros textos consideran la segunda ley en los siguientes términos: “Si una fuerza externa neta actúa sobre un cuerpo, éste se acelera. La dirección de la aceleración es la misma que la de la fuerza neta. El vector fuerza neta es igual a la masa del cuerpo multiplicada por su aceleración...”¹⁷.

Lo anterior es lo más usual en los textos de física, y de este modo lo hemos asumido, es decir, en los mismos términos se ha considerado la segunda ley de Newton.

Como la segunda ley involucra el concepto de fuerza, es importante reflexionar sobre ella ya que resultan situaciones problemáticas de orden conceptual en lo que atañe a la fuerza.

Cuando se realizan representaciones como la indicada:

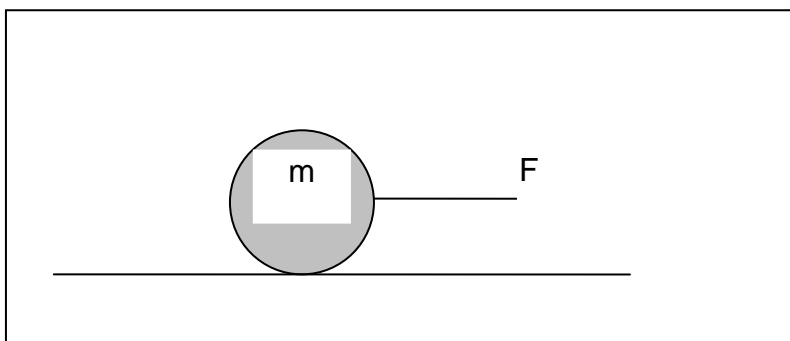


Figura 9. Sobre el cuerpo de masa m actúa una fuerza desde el exterior.

13. SEARS y ZEMANSKY, Op cit., p. 101.

Similar a Sears y Zemansky lo asume Alvarenga, cuando escribe: $F = ma$. La aceleración que un cuerpo adquiere es directamente proporcional a la resultante de las fuerzas que actúan en él y tienen la misma dirección y el mismo sentido que dicha resultante. (ALVARENGA, Op cit., p. 170).

Al igual que Sears y Zemansky y Alvarenga lo asume Zitzewitz / Neff cuando escriben: "La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa.

La segunda ley de Newton puede sintetizarse como $a = \frac{F}{m}$ ó, más comúnmente, $F = ma$. ..La aceleración

tiene la misma dirección de la fuerza que la causa". (ZITZEWITZ, Poaul W y NEFF, Robert F. Física 1. Bogotá: Mc Graw Hill, 1999. p. 86).

Del mismo modo que Sears y Zemansky , Alvarenga y Zitzewitz / Neff lo presenta Mauricio Villegas y Ricardo Ramírez cuando escriben: "La aceleración que experimenta un cuerpo cuando sobre él actúa una fuerza resultante, es directamente proporcional a la fuerza, inversamente proporcional a la masa y dirigida a lo largo de

la línea de acción de la fuerza. $F_R = m a$ ". (VILLEGAS / RAMÍREZ, Op cit., p. 80).

La fuerza F aparece como si tuviera existencia propia ya que dicha ilustración sólo da cuenta de un cuerpo en particular y una fuerza actuando sobre él. Esto se puede interpretar cuando se enuncia que la fuerza actúa sobre..., en estos términos se asume la fuerza como aquello independiente de los cuerpos, es decir, con existencia propia. La forma de expresar esta ley, y que permite esta interpretación, se puede leer seguidamente: "La aceleración de un objeto es proporcional a su fuerza total que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa" ¹⁸.

En algunos textos se asume la fuerza como aquello que posee un cuerpo y que puede aplicar sobre otro cuerpo, tal como se lee:

...Al tener que ver con las fuerzas, siempre se supone tácitamente que la fuerza es igual a cero, a menos que se encuentre presente un cuerpo físico, esto es, si encontramos una fuerza distinta de cero, también encontramos que existe algo a su alrededor que es una fuente de tal fuerza... Una de las características más importante de una fuerza es que tiene un origen material, y esto no es meramente una definición ¹⁹.

No obstante, en otros textos se destaca el surgimiento de la fuerza a partir de las interacciones, tal como se expresa: "... Por consiguiente, físicamente, podemos considerar la fuerza como la expresión de una interacción..."²⁰.

Como se puede ver, la fuerza es asumida bajo tres acepciones: con existencia propia, como aquello que poseen los cuerpos, o como lo que emerge de una interacción. Esta situación la consideramos problemática por lo siguiente:

14. LEA, Susan M. y BURKE, John R. Física Vol. 2. México: Thomson editores, 1999. p. 150.

15. FEYNMAN; LEIGTON y SAND, Op cit., Sección 12 – 2.

16. ALONSO, Marcelo y FINN, Edward J. Física Vol. I. México: Fondo Educativo Interamericano, 1970. p.164.

i). Si se considera la fuerza con existencia propia y que puede ejercer una acción sobre un objeto y cambiar su estado de movimiento, ¿cómo explicar el hecho de que en la naturaleza se puedan tener cuerpos en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme y conservar dicho estado durante mucho tiempo? ¿será que la fuerza presenta cierto estado de conciencia que le permita elegir el cuerpo sobre el cual actuar y así cambiar su estado de movimiento?.

ii).Al considerarse que un cuerpo cambia su estado de movimiento debido a que otro cuerpo ejerce una acción sobre él, la fuerza se considera como un atributo o propiedad del cuerpo, es decir, al cuerpo se le dota de una fuerza que le permite actuar sobre otro cuerpo.

Respecto a estas situaciones, ¿cuál es el modo más adecuado de asumir la fuerza?.

Es posible que la fuerza no tenga existencia propia, ni sea un atributo de un cuerpo que se le pueda aplicar a otro cuerpo, sino que sea lo que *emerge* debido a la presencia de los cuerpos, es decir, aquello que emerge de la interacción entre cuerpos, en cuyo caso, ¿qué sentido tiene la segunda ley de Newton?

A raíz de las problemáticas examinadas se hace necesario identificar otras formas de abordar el movimiento en las que se pueda construir una mejor significación de éste.

CAPÍTULO DOS

2.1 COSMOVISIONES : REALISTA y FENOMENOLÓGICA

Generalmente en la enseñanza de la física los cursos se limitan a repetir leyes y teorías sin posibilidad de reflexión alguna sobre los aspectos referidos a los fenómenos y a la teoría en particular. Se puede decir que en la enseñanza de la física, un examen crítico de los aspectos que determinan la selección y organización de lo que ha de ser enseñado es poco usual, al igual que propuestas que consideren un replanteamiento de qué enseñar también son muy pocas. Como lo muestran varios análisis, toda actividad de enseñanza (práctica) se fundamenta en una imagen de lo que es la física. Si la física se asume como un cúmulo de información o datos acerca de leyes presentes en la naturaleza, el proceso de enseñar no posibilita espacios de construcción y de reflexión; pero si la física es entendida como la actividad humana orientada a la comprensión del mundo físico y como aquella ciencia que permite darle significados a las construcciones del hombre, la física se convierte en generadora de contextos de construcción y convalidación de conocimiento.

(RODRÍGUEZ y ROMERO, 1999).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede hablar de dos tipos de cosmovisiones, realista y fenomenológica. Estas son cosmovisiones desde las cuales se puede organizar los fenómenos mecánicos de una forma en particular. Decidir sobre alguna de estas cosmovisiones se hace importante ya que en cada una de ellas hay una concepción distinta de ciencia y realidad, lo cual tiene implicaciones fundamentales en la física y en su enseñanza, pues son éstas las que inciden en el qué enseñar y el cómo enseñar. En tal sentido es importante tener en cuenta que en toda interpretación están presente una concepción del mundo y del conocimiento mismo, de modo que este último se puede asumir como una construcción de una comunidad científica o como la construcción que hace el sujeto en un contexto en particular en el cual se determinan los criterios de validez ; además es igualmente importante tener en cuenta que es la imagen de ciencia la que permite decidir sobre los problemas que se deben escoger entre la infinidad de los que pueden ser sugeridos por un contexto determinado, es decir, lo que en definitiva permite decidir qué enseñar es la imagen de ciencia que se tenga.

2.2 COSMOVISIÓN REALISTA

Desde esta perspectiva el mundo natural se considera que existe independiente del hombre, de modo que la realidad es entendida como aquello que está fuera del sujeto, es absoluta e independiente de todas las construcciones teóricas del hombre. En este sentido, cuando se hace referencia al mundo físico, se consideran fijas las leyes de la naturaleza y se asume que éstas no pueden cambiar en el tiempo. En esta perspectiva se considera que el hombre puede hacer una descripción objetiva de la naturaleza, donde éste no es constructor de la realidad sino un observador pasivo, y lo que busca es conocer la esencia del objeto. Aquí lo que el hombre percibe es exactamente lo que ocurre, en donde no se presenta una intermediación entre sujeto – objeto, razón por la cual se busca

conocer el objeto en sí mismo, el cual es considerado un receptáculo de propiedades.

Esta cosmovisión es una forma de conocer y de relacionarse con el mundo, en donde el conocimiento científico consiste en la apropiación permanente y acumulativa de proposiciones verdaderas con respecto al mundo. En esta perspectiva la fuente del conocimiento son los datos empíricos, y la prueba experimental prevalece sobre las predicciones. Richard Boyd²¹ considera que el

17. BOYD, Richard. Citado por YEHUDA, Elkana. La ciencia como Sistema cultural. En: Una aproximación antropológica. Bogotá. Vol. III. N°. 1(ene. Dic.1983), p. 76.

realismo científico es aquel en el cual los datos experimentales son capaces de determinar las estructuras de las teorías científicas, y que la prueba que ordinariamente pesa a favor de una ley o de una teoría científica es aquella que favorece la verdad y las descripciones de las relaciones causales entre las entidades que la ley o la teoría cuantifican (ELKANA,1983).

En esta cosmovisión podemos decir que hay una separación entre teoría y experimentación, y así lo considera Richard Boyd cuando afirma:

...las entidades teóricas son consideradas tan reales como las entidades experimentales porque la prueba experimental a favor de una teoría o de una ley que liga entidades teóricas debería probar “que las relaciones causales particulares en cuestión explican (...) las regularidades predichas y no solamente la justeza de las consecuencias observacionales de la teoría”.²²

Teniendo en cuenta lo anterior, ¿cuál es el papel del hombre y de la ciencia? Consideramos que desde esta perspectiva el papel del hombre es secundario, ya que éste no construye la realidad sino que está ahí frente a ella y lo único que queda es buscar llegar a la esencia que está en las cosas. Desde esta óptica la

naturaleza puede ser pensada como una estatuilla de oro que ha sido cubierta con velos a fin de protegerla del polvo e inclemencias del tiempo, y donde la única función del hombre es la de ir retirando paulatinamente cada uno de los velos que la cubren hasta llegar finalmente a la estatuilla tal como ella es. En este sentido la ciencia sería el instrumento que le posibilita al hombre ir descubriendo la estatuilla, pero nunca indagar por ella ni preguntarse por el cómo está constituida y cómo interactúa con otros objetos. Además, al considerar las leyes de la naturaleza como fijas, la ciencia adquiere un carácter estático y las actividades en la

18. BOYD, Richard. Citado por YEHUDA, Op cit., p. 76.

enseñanza limitadas a la confirmación de leyes presentes en la naturaleza, de modo que en esta perspectiva no se puede asumir la física como una actividad en donde el hombre pueda realizar construcciones que tengan validez en un contexto determinado.

Por otra parte, en el realismo se asume el principio de causalidad en los siguientes términos: la *causa* es un acontecimiento al cual está ligado otro denominado efecto. En esta forma de conocer, las relaciones de los elementos son dadas y constantes, y donde todos los cambios en dichas relaciones obligan a buscar unas causas. Si se perciben cambios, se diferencia claramente entre las causas y los efectos ya que las causas son dadas, anteceden a los efectos y no son intercambiables, es decir, los efectos no pueden ser causas. En esta perspectiva se establece que no se puede dar una explicación completa hasta que no se penetre hasta las últimas causas que actúan en arreglo a esta ley inmutable, que en todo tiempo y bajo iguales circunstancias externas produce efectos iguales. Al respecto, en los Principia se expresa que deben asignar tanto como sea posible a los mismos efectos las mismas causas (NEWTON, 1686). En particular, en la cosmovisión realista cuando se busca explicar el movimiento, se hace desde las causas y en términos de lo que se mueve, estando la causa íntimamente ligada a lo que se mueve. El movimiento es mirado como un cambio de posición del cuerpo.

Finalmente podemos decir que, como es asumido el principio de causalidad en esta cosmovisión, no es posible considerar los fenómenos físicos en detalle ya que el interés se centra únicamente en aspectos que determinan causas, descuidando otros aspectos que también pueden ser importantes. De esta manera lo considera Mach cuando escribe:

Llamamos causa a un acontecimiento al cual está ligado otro acontecimiento: el efecto.

Esta relación, la mayor parte de las veces no es entrevista sino en forma muy superficial e incompleta. En general, no se toma como causa y efecto más que dos partes más sorprendentes de un fenómeno y el análisis más exacto casi siempre muestra que la pretendida causa no es otra cosa que el complemento de todo un conjunto de circunstancias, que determinan el efecto. También este complemento es muy distinto según que se tenga en cuenta tal o cual parte del conjunto o que se lo descuide.... Cuando las ciencias están muy desarrolladas, emplean cada vez más raramente los conceptos de causa y de efecto. La razón está en que tales conceptos son provisorios, incompletos e imprecisos²³.

2.3 COSMOVISIÓN FENOMENOLÓGICA

En esta cosmovisión no interesa el objeto como tal sino las relaciones que el sujeto logra establecer a partir de las imágenes, y la correspondencia entre ellas es lo que convalida el conocimiento.

Estas relaciones entre las imágenes no se encuentran preestablecidas en la naturaleza sino que es el hombre quien las establece. En este sentido se puede decir que quien propone la naturaleza es el hombre, razón por la cual éste no busca descubrirla. Bajo estas circunstancias el mundo no es aprehensible en el sentido de llegar a la naturaleza de las cosas; aquí lo que interesa son las relaciones más no el objeto como tal. A este respecto, y retomando la analogía de

la estatuilla, la función del hombre no es quitar los velos y admirarla, sino construirla y buscarle significados a partir del establecimiento de relaciones con otras construcciones. En tal sentido es claro que el sujeto es parte activa del conocimiento, de tal modo que el objeto de estudio de la física, en esta perspectiva, se constituye en un sistema de relaciones que pueden establecerse a partir de las imágenes construidas, las cuales permanentemente son reafirmadas

19. MACH, Ernst. El concepto. En: Conocimiento y Error. Buenos Aires: Esparsa, 1948. p. 218-219.

o reformuladas por el hombre. Basta hacer un recorrido histórico acerca del concepto de átomo para darnos cuenta de cómo se transforma a medida que el hombre hace las construcciones de éste y le busca sus significados, de modo que aquello que llamamos átomo, cargado de significado y que se comporta de una manera particular en infinidad de circunstancias, es lo que es susceptible de seguirse transformando o construyendo. En este sentido Popper²⁴ considera que debemos someter nuestros constructos racionales a un régimen curativo a base de purgas hasta encontrar algún defecto funesto.

A este respecto podemos decir que los fenómenos físicos no existen independientemente del sujeto que los conoce, de modo que el fenómeno no es algo que está en la naturaleza y que el hombre descubre; estos fenómenos son contruidos por el sujeto. Para que el fenómeno físico sea posible es necesario decidir qué se quiere observar y así tener un esquema para organizar los datos sensibles. Los criterios para decidir qué se quiere observar obedecen, por su parte, a la concepción de mundo que se tenga (según una cosmovisión). Una vez se decida qué se quiere observar, la experiencia se organiza en virtud de los principios, donde éstos ya suponen unas elaboraciones por parte del sujeto. En estas circunstancias se puede decir que la experiencia tiene sentido solamente para aquel que ha pensado en ella, a pesar de no ser ésta el punto de partida debido a que están precedidas por la teorización. En este sentido la idea de dato puro es una creencia ya que éste es intervenido por el hombre. Bajo estas circunstancias un dato es significativo, no por el dato mismo, sino por la intencionalidad o el interés puesto en él. (HOLTON, 1976).

El fenomenismo es entonces, otra forma de conocer y de relacionarse con el mundo, en donde la realidad es construida por el sujeto que conoce, de modo que el objeto de la ciencia es la búsqueda de significados, y ante el planteamiento de problemas no se buscan causas sino el establecimiento de relaciones.

20. POPPER, Karl. Citado por HOLTON, Gerald. Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias físicas. Barcelona: Reverté, 1976. p. 50.

A este respecto Max Weber considera que:

El hombre es un animal suspendido en los entramados de significación que él mismo ha tejido,..., estos entramados son la cultura y el análisis de ésta no es, en consecuencia, una ciencia experimental en búsqueda de una ley, sino una ciencia interpretativa en búsqueda de una significación.²⁵

En esta perspectiva el conocimiento científico y los criterios de su validez están condicionados por unos contextos particulares, que es justamente donde surge y se valida el conocimiento, de modo que no tiene sentido hablar de verdad en términos absolutos, y el conocimiento científico no consiste en una apropiación y acumulación de verdades respecto al mundo, sino en la búsqueda de significados de la realidad construida por el hombre. En este sentido, cuando el hombre hace referencia a la realidad, está haciendo alusión a las construcciones que el mismo hombre ha hecho, de modo que al hacer referencia a lo externo, está haciendo alusión al mismo hombre. Se puede decir entonces que la validación de las construcciones del hombre no se hacen con un referente universal y absoluto, sino que la validación de estas construcciones se hace en contextos particulares, tal como lo considera Wittgenstein cuando dice: “toda confirmación y falsación de una hipótesis se realiza en el interior de un sistema... solamente tiene sentido aplicar la palabra verdadero a una frase concebida según los términos de una teoría dada y en vista de esta teoría con su realidad postulada”.²⁶

-
21. WEBER, Max. Citado por YEHUDA, Elkana. La Ciencia como sistema cultural. En: Una aproximación Antropológica. Bogotá. Vol. III Nº.1 (ene. Dic.1983). p. 67.
22. WITTGENSTEIN. Citado por YEHUDA, Op cit., p. 67.

Por otra parte, cuando se busca caracterizar los hechos, se representan las relaciones entre sí a través de funciones, lo que permite ver la interdependencia entre los elementos considerados ya que las cosas que dependen unas de otras generalmente cambian en conjunto, y si varios elementos están ligados por una sola ecuación, cada uno de ellos es una función de los otros; en este sentido los conceptos de causa y efecto se hacen intercambiables, de modo que un efecto puede ser considerado como la causa para una situación dada. Esta forma de considerar el principio de causalidad es el asumido por Mayer cuando considera que:

Si la causa C tiene el efecto E, luego $C = E$. Si en cambio E es la causa de otro efecto F, $E = F$ y así: $C = E = F = \dots E$.

Como es claro de la naturaleza de una ecuación, en una cadena causal de esta clase, ni un miembro ni una parte de un miembro pueden ser cero. A esta propiedad de todas las causas la llamamos indestructibilidad.²⁷

Lo anterior muestra claramente que, cuando en un sistema cualesquiera suceden cambios, es por que en otro sistema también sucedieron cambios, es decir, todo cambio es debido a otro cambio, pero donde no se privilegia ninguno de los ellos en términos de causa o de efecto. Veamos una situación donde se ilustra esto: al tener un gas confinado en un recipiente a una presión constante, un cambio en el volumen del gas produce un cambio en la temperatura del sistema, y un cambio en la temperatura del sistema genera un cambio en el volumen del gas; sin embargo, la causa del cambio de temperatura del sistema no siempre es debido a

un cambio en su volumen, sino que puede ser a causa de un cambio en la presión; y recíprocamente, la causa del cambio de volumen del sistema no siempre es un cambio en la temperatura , sino que puede ser a causa de un cambio en la presión.

-
23. MAYER, Julius R. On the Forces of Inorganic Nature. En: Historical development of the Concept. Stroudsburg, Pennsylvania: R. Bruce Lindsay (ed),1973 p.277.

En esta perspectiva lo constante en las relaciones sustituye la existencia material de las cosas, tal como lo asume Mach cuando afirma:

... El único camino seguro, es permanecer dentro de la órbita de los fenómenos mismos y describirlos tal y como son, en su pura realidad dada, sin ponernos a buscar para ellos cualesquier fundamentos de explicación no dados. Lo único que la física trata de conocer es la interdependencia de los fenómenos, la cual puede comprobarse directamente, sin acudir a ningún rodeo a través de ninguna clase de substratos hipotéticos... determinadas ecuaciones o relaciones representan lo que hay de verdaderamente constante en las cosas y que, por tanto, si hay algún elemento de la experiencia al que puede atribuírsele verdadera “sustancialidad” son precisamente estas relaciones constantes...²⁸

Finalmente podemos decir que, si es el hombre quien postula la realidad, la concepción de ciencia adquiere dimensiones que permiten, no sólo crear escenarios para las construcciones del sujeto, sino que la física misma puede asumirse como una actividad donde el hombre realiza construcciones que se pueden considerar válidas según un contexto socio - temporal dado. Además, la forma como es asumido el principio de causalidad permite analizar y comprender con mayor detalle y de manera más integral los fenómenos.

24. MACH, Ernst. Citado por CASSIRER, Ernst. Fin y método de la física teórica. Tomado de : Cassirer, Ernst. El problema del conocimiento, tomo IV. México: Fondo de Cultura Económica, 1986. p. 59 - 60.

A continuación se hace un paralelo entre las perspectivas realista y fenomenológica:

REALISMO	FENOMENISMO
<ul style="list-style-type: none"> • Se busca la esencia o causas últimas de las cosas, donde el papel fundamental del hombre es descubrir ya que la "realidad" está fuera de él. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se busca el establecimiento de relaciones, donde el hombre es el constructor de la realidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Se parte de la reflexión y abstracción de lo material, donde lo sustancial son las cosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se parte de la construcción de los fenómenos, donde lo sustancial es aquello que permanece constante en las relaciones.
<ul style="list-style-type: none"> • El conocimiento científico consiste en la apropiación permanente y acumulativa de proposiciones verdaderas con respecto al mundo. 	<ul style="list-style-type: none"> • El conocimiento científico consiste en la búsqueda de significados de la realidad construida por el hombre.
<ul style="list-style-type: none"> • El mundo natural no cambia en función de las teorías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las construcciones del hombre(realidad) son verdaderas según un contexto socio temporal dado.

2. 4 IMPLICACIONES DE LAS COSMOVISIONES REALISTA Y FENOMENOLÓGICA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

En la enseñanza de la física se debe ser consciente de la imagen de ciencia que se tiene, ya que esto presenta implicaciones sociales e ideológicas. Además es la imagen de ciencia la que determina el qué y el cómo enseñar. En cada una de las cosmovisiones realista y fenomenológica hay una concepción de ciencia diferente, de modo que cada una de estas cosmovisiones tiene implicaciones diferentes en la enseñanza de la física.

Al considerarse en el realismo el conocimiento científico como la apropiación permanente y acumulativa de proposiciones verdaderas con respecto al mundo, las producciones de la ciencia son independiente de los individuos y de los contextos, y este conocimiento sólo es posible de ser transmitido más no construido, salvo por un reducido número de personas consideradas científicas. En este caso el maestro y el estudiante se constituyen en consumidores de conocimiento. En este orden de ideas, al considerarse en el realismo las producciones de la ciencia como independiente de los individuos y de los contextos, el hombre es asumido como un agente pasivo frente al conocimiento, de modo que el maestro se constituye en un simple transmisor de verdades universales y objetivas construidas y validadas por una comunidad científica.

Ahora bien, si el conocimiento científico consiste en la búsqueda de significados de una realidad construida por el hombre, tal como es asumido en el fenomenismo, el hombre adquiere un papel activo en la construcción del conocimiento, lo cual implica que el sujeto es un constructor de contextos donde surge y se valida tal conocimiento. Si el maestro es consciente de esta concepción de ciencia y la asume en su actividad, éste deja de ser un transmisor y

consumidor de conocimiento, involucrándose activa y autónomamente en el proceso de la enseñanza. Bajo estas circunstancias el papel del maestro es determinante ya que no sólo incide en un grupo social sino que también construye imaginarios que adquieren carácter de realidad. A este respecto Rodríguez y Romero consideran:

dado que toda práctica de enseñanza de las ciencias está determinada por la imagen de ciencia que el maestro tenga, uno de los imaginarios más relevantes y que es necesario volver objeto de reflexión es precisamente la concepción de ciencia, puesta en juego en la forma como nos relacionamos con el llamado conocimiento científico...²⁹.

2.5 SISTEMA, ESTADOS Y TRANSFORMACIONES

Por los aspectos anteriormente destacados en la caracterización del realismo y fenomenismo, optamos por la perspectiva fenomenológica para abordar los fenómenos mecánicos, y en particular el movimiento a través del enfoque de sistema, estados y transformaciones. Es de resaltar que esta mirada es coherente con la perspectiva fenomenológica, enfoque que privilegia las relaciones en particular los estados y transformaciones.

En lo relativo al conocimiento en la física, podemos decir que el sujeto hace nuevas construcciones a partir de la implementación de una estrategia que involucre elementos, relaciones y estructuras, tal como lo considera Arca y Guidoni:

Siempre nuevos conocimientos pueden organizarse según un criterio de elementos - relaciones – estructuras, y así interconectarse recíprocamente. Cada elemento, en efecto, puede considerarse como tal sólo si constituye el término de una relación, que a su vez entre coherentemente a formar parte de la correspondiente estructura. Y en esta continua reclamación recíproca, elementos, relaciones y estructuras se hacen cada vez más particularizados, enriquecidos; se vuelven más coherentes y más articulados al mismo tiempo³⁰.

6. RODRÍGUEZ, Luz Dary y ROMERO, Ángel. La construcción de la Historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. En: de Física y cultura. Bogotá. Universidad Pedagógica N°. 6, 1999. p. 5.
7. ARCA, Maria; GUIDONI, Paolo y MAZZOLI, Paolo. Enseñar Ciencia. Barcelona: Paidós Educador, 1990. p. 174.

Es de resaltar que la formalización que realiza el sujeto en ningún caso es exactamente igual a la “realidad”, pero los modos de mirar, obrar y formalizar sí son una proyección coherente de esta realidad, y de este modo lo consideran M. ARCA y GUIDONI:

No tenemos acceso a las cosas como “son”, ni a nuestra manera de pensar como “es”. La única cosa que podemos saber es que cierto modo de pensar se adapta a cierto modo de ser de las cosas, con una adaptación más o menos buena, siempre parcial, siempre simultáneamente significativa (o no) a las dos vertientes.³¹

Teniendo en cuenta lo anterior, consideramos que las problemáticas que se han planteado pueden ser abordadas mediante la implementación de estrategias cognitivas que se constituyen en modos de ver, de pensar, de hacer y de formalizar: un modo de ver por espacios abstractos de sistemas y un modo de ver por espacios abstractos de variables.

En términos generales, se puede afirmar que es factible observar y hablar de la realidad según una estrategia de representación por espacios abstractos, donde ésta nos permite representar las diversas propiedades de los objetos mediante un sistema definido por tantas variables como se requieran considerar, según nuestro interés y simplicidad. Es de resaltar que en esta perspectiva se denomina “cuerpo” a la permanencia de ciertas relaciones que establece el sujeto.

En este orden de ideas, y en particular, ver por sistema, significa discretizar el espacio según criterios de estabilidad y coherencia, donde se rompe con la continuidad del universo y se consideran elementos, relaciones, estructuras de relaciones e interacciones. (GUIDONI y ARCA, 1990). A este respecto Bertalanffy considera:

8. GUIDONI, Paolo y ARCA, María. Sistemas y variables. Seminario dictado de la Facultad de las Ciencias. Universidad de Nápoles, Italia. Traducción: María Mercedes Ayala y Priscila de Castro. Departamento de Física,

Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. Tomado del Módulo del seminario de Fundamentación Didáctica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. p. 5.

Un sistema puede ser definido como un complejo de elementos interactuantes. Interacción significa que elementos, P , están en relaciones, R , de suerte que el comportamiento de un elemento P en R es diferente de su comportamiento en otra relación R' . Si los comportamientos en R y R' no difieren, no hay interacción, y los elementos se comportan independientemente con respecto a las relaciones R y R' ³².

Cuando se hacen discretizaciones entre dimensiones del espacio abstracto en el que se manifiestan las variables y sus enlaces, determinados por relaciones, se pueden definir elementos, relaciones entre elementos y estructuras de relaciones que permiten representar aspectos de la realidad en el espacio abstracto. A esta estrategia cognitiva es a la que se le denomina ver por variables.

En este sentido, cuando se ve por espacios abstractos de sistemas, simultáneamente se ve por espacios abstractos de variables, donde en estos modos de ver, a su vez, subyacen otros modos de ver como son, un modo de ver por estados y un modo de ver por transformaciones. Estos modos de ver están íntimamente relacionados, tal como lo considera Guidoni cuando afirma: "... no se alcanza a ver por sistemas sin ver también por variables y viceversa (análogamente son correlativos los modos de ver por estados y transformaciones...)"³³.

9. BERTALANFFY, Ludwig Von y BRAZILLER, George. Tendencias en la Teoría General de Sistemas. México: Alianza editorial, 1978. p. 56.

10. GUIDONI y ARCA, Op. cit., p. 5.

2.6 ESTADOS Y TRANSFORMACIONES

Cuando se busca construir relaciones entre sistemas o entre partes de un sistema, es necesario determinar las variables que describen y representan explícitamente la interacción en forma definida. Esta es una de las razones por las cuales ver por sistemas y ver por variables son estrategias que se aplican siempre simultáneamente y de modo correlativo, es decir, se desarrollan siempre juntas, sosteniéndose recíprocamente. En tal sentido, al ver por variables y presentarse invariabilidad de una estructura de relaciones entre dichas variables, se puede identificar la condición en la que se encuentra el sistema, en donde se pueden especificar unos atributos que dan cuenta del estar o condición del sistema, o sea, una característica de identidad de éste que se conserva estable durante cierto intervalo de tiempo. A esta situación se le conoce como estado del sistema. En este sentido, podemos decir que el estado es una configuración exacta que el sistema adquiere en el espacio abstracto de sus variables en ausencia de interacciones. A esta configuración se le da una atribución en un instante determinado según el tipo de relación que se establece en el sistema.

El estado del sistema puede ser descrito a través de unas variables de estado, es decir, a través de aquellas variables cuya interrelación define la configuración del sistema. Estas variables son las que cambian su configuración con el cambio de estado del sistema, y dicha configuración es arreglada una vez el estado es arreglado nuevamente. La ecuación que relaciona las variables de estado suele llamarse ecuación de estado. Así que, cada sistema se describe por una ecuación de estado en la cual están explícitas variables y parámetros ligados según una forma característica. Una ecuación de estado caracteriza la totalidad de las posibles transformaciones de un sistema. (GUIDONI y ARCA, 1990; ARONS,1997)

Al presentarse diferencias entre las estructuras de relaciones, se identifican estados diferentes que se pueden relacionar entre sí a través de los cambios o transformaciones, en donde el tiempo es un referente importante ya que se hace alusión a que el cambio de variable respecto al tiempo. Bajo estas circunstancias se tiene otro modo de ver estrechamente correlacionado con la forma de ver por estados, en donde se hace un análisis del espacio multidimensional en el que se representan las transformaciones.

Las transformaciones (cambios) del estado de un sistema sólo suceden debido a interacciones del sistema con otros sistemas, de modo que los cambios de estado son la evidencia de las interacciones entre sistemas. En este sentido se debe tener en cuenta que un sistema no puede hacer nada por sí mismo para cambiar el estado en el cual se encuentra. Bajo estas circunstancias es de resaltar que los cambios no se dan de modo gratuito, es decir, los cambios no resultan de la nada y cuando en el sistema se presentan éstos es por que en alguna parte tuvo que haber sucedido también un cambio, o sea, si el sistema gana algo es porque en otra parte se perdió eso que él ganó.

Cuando un sistema está interrelacionado con otro, cada uno de ellos está en función del otro, de modo que los conceptos de causa y de efecto son intercambiables, tal como se puede evidenciar en el caso de dos cuerpos que se ponen en contacto y están aislados de los otros cuerpos, donde la variación de temperatura del uno es la causa de la variación de temperatura del otro, e inversamente, es decir, lo considerado como efecto en un cuerpo se convierte en causa para el otro cuerpo. Esta forma de asumir la relación causa - efecto en esta perspectiva es coherente con la perspectiva fenomenológica. (ERNST MACH, 1948).

A continuación se hace una síntesis de sistemas, estados y transformaciones:

SISTEMA

- Es un modo de ver
- Es delimitado
- Presenta simplicidad
- Es el escenario de las interacciones
- Requiere de variables que dan cuenta de su estado
- No hace nada por sí mismo para cambiar la condición en la que se encuentra.

ESTADOS Y TRANSFORMACIONES

- Es el estar o condición del sistema
- Se define por la invariabilidad de una estructura de relaciones entre variables.
- Su permanencia implica ausencia de interacciones.
- Sus cambios (transformaciones) dan cuenta de una interacción
- Permite reproducir el sistema

CAPÍTULO TRES

3.1 EL MOVIMIENTO DESDE LA PERSPECTIVA DE SISTEMA, ESTADOS Y TRANSFORMACIONES

Teniendo en cuenta el análisis del apartado anterior, el movimiento puede pensarse en esta perspectiva como un modo de ser relativo de, al menos, dos cuerpos. En este sentido el movimiento se puede entender como la condición en la que se encuentra el sistema, constituyéndose el movimiento en una identidad del sistema y no de un cuerpo en particular.

El modo de ser relativo de los cuerpos se puede expresar siempre en términos de la velocidad, de modo que cuando se busca describir el movimiento es necesario hacer referencia a la velocidad como el modo de estar de un sistema, la cual se caracteriza por su grado o intensidad. Bajo estas circunstancias se puede asumir la velocidad como variable de estado, la cual puede tener diversos valores que permiten hablar de la condición del sistema - movimiento, de modo que se hace referencia a éste en términos de cuerpos: rápidos, muy rápidos, lentos o muy lentos con respecto a otros cuerpos.

3.2 ESTADOS DE MOVIMIENTO

El estado de movimiento es la condición en la cual se encuentra un sistema. En términos generales se puede afirmar que un sistema siempre se encuentra en una condición de movimiento, si se tiene en cuenta que al sistema, en cada instante, se le puede asignar un grado de velocidad y que en una situación particular la

velocidad puede aumentar o disminuir sin límite, y que además se puede establecer infinitos grados de velocidad en términos de más lento o más rápido. Bajo estas circunstancias, al establecerse infinitos grados de lentitud y que el cuerpo no se detiene más de un instante en cada estado de lentitud, el reposo no debe entenderse como el estar quieto de un sistema sino como un estado de movimiento con grado de lentitud infinito. A este respecto Galileo considera que la adquisición de los grados de velocidad de una piedra en caída desde el estado de reposo, el cual asume como, puede hacerse en el mismo orden que la disminución o pérdida de estado de lentitud infinita esos mismos grados de velocidad, de modo que al ir disminuyendo la velocidad de una piedra ascendente hasta extinguirse totalmente, dicha piedra no puede llegar al estado de reposo sin antes haber pasado por todos los grados de lentitud sin detenerse más de un instante, de tal forma que se puede establecer una correspondencia entre los infinitos instantes y los infinitos grados de velocidad. (GALILEO, 1636)³⁴. Todo lo anterior permite pensar y explicar el movimiento como estados sucesivos de infinitas velocidades instantáneas.

Si se asume el reposo como un estado de movimiento, al igual que el movimiento uniforme, éstos no se diferencian en concepción sino en grados de velocidad, lo cual implica que no se privilegien estados de movimiento en términos de reposo o movimiento uniforme, sino que simplemente se hable del movimiento en términos de grados de velocidad. Asumir el movimiento en estos términos permite superar la problemática planteada inicialmente, en donde se asumía el reposo como un estado diferente al estado de movimiento.

6. GALILEI, Galileo. La matemática del movimiento. En: El mundo de las matemáticas Vol. 2. Buenos Aires: Grijalbo, 1948. p. 14.

3.3 PERMANENCIA Y CAMBIOS EN EL ESTADO DE MOVIMIENTO

Cuando en el sistema – movimiento no se evidencian cambios en los grados de velocidad, se puede decir que hay una permanencia en el estado de movimiento, lo cual da cuenta de ausencia de interacción entre el sistema - movimiento con otro sistema; si por el contrario, se presentan cambios en esta variable de estado

(velocidad), esto da cuenta de una interacción entre el sistema - movimiento y otro sistema. Bajo estas circunstancias se puede afirmar que en el movimiento la velocidad es la que permite explicitar la interacción, en forma definida, entre el sistema - movimiento y otro sistema.

Las transformaciones del sistema - movimiento se manifiestan en los cambios de la variable de estado (velocidad) respecto al tiempo, ya que la descripción de las transformaciones del sistema se hacen en función del tiempo, de modo que las transformaciones del sistema movimiento pueden describirse mediante una función de velocidad – tiempo. En este orden de ideas, y teniendo en cuenta que el sistema no hace nada por sí mismo para cambiar el estado en el cual se encuentra, se puede decir que son las transformaciones o cambios los que dan cuenta de la interacción del sistema – movimiento con otro sistema.

Consecuente con lo anterior se puede decir que la permanencia en el estado de movimiento está ligada a la idea de indiferencia, en el sentido de que el sistema no hace nada por sí mismo para permanecer o salir del estado de movimiento en el cual se encuentra. De esta manera, el estado de movimiento se puede relacionar con la idea de inercia, en donde ésta surge de modo natural. La forma como surge la inercia en esta perspectiva permite superar la problemática planteada inicialmente, en donde la inercia adquiere un carácter activo por constituirse en la propiedad que hace que los cuerpos resistan o se opongan al cambio de estado. Bajo estas circunstancias, y si se asume la velocidad como variable de estado que permite dar cuenta de la condición de movimiento, es de

resaltar que la ley de inercia puede asumirse como aquella que reivindica el estado como una forma de mirar.

En esta perspectiva es de resaltar el hecho de considerar la velocidad como variable de estado, lo cual es coherente con la forma como Galileo asume el movimiento. En tal sentido se puede decir que un cuerpo en caída libre aumenta su grado de rapidez al descender, de modo que se puede asignar a los grados de rapidez de la caída un orden determinado. A este respecto Galileo considera que en el movimiento de caída los grados de velocidad aumentan a partir del reposo, con el incremento del tiempo a partir del primer instante del movimiento, y que en el movimiento uniforme acelerado se presentan incrementos iguales de velocidad durante intervalos iguales de tiempo. En este sentido Galileo realiza una demostración basada en la continuidad de la aceleración soportada en la noción de velocidad instantánea.

A este respecto Koyré cita el trabajo de Galileo desarrollado en su obra diálogo sobre dos nuevas ciencias, en los siguientes términos:

En el movimiento acelerado, el incremento de velocidad es continuo y ... los grados de velocidad que cambian de un momento a otro... son infinitos por ello podremos ilustrar mejor nuestra concepción dibujando un triángulo ABC, señalando en el lado AC tantas partes iguales como se quiera, AD, DE, EF, FG, etc, y trazando por los puntos D, E, F, G, etc, líneas rectas, paralelas a la base BC, seguidamente quiero que se imagine que las partes de la línea AC son tiempos iguales; que las paralelas trazadas por los puntos D, E, F, G, etc, representan los grados de velocidad que crecen por igual en tiempos iguales, y que el punto A es el estado de reposo, de donde parte el móvil que en el tiempo AD habrá adquirido el grado de velocidad DH, que en el siguiente tiempo la velocidad habrá crecido desde el grado DH hasta el grado EI y luego se hará mayor en los tiempos sucesivos según el

incremento de las líneas FK, GL, etc. Ahora bien, como la aceleración se produce de manera continua de un momento a otro, y no a saltos, de una parte del tiempo a otra, y puesto que el término A se considera como el momento mínimo de la velocidad, es decir, como el estado de reposo y como el primer instante del tiempo subsecuente AD, está claro que antes de adquirir el grado de velocidad DH, lo que hace en el tiempo AD, el móvil habrá pasado por una infinidad de grados, cada vez mayores, adquiridos en los instantes infinitos que hay en el tiempo AD; por ello, para representar la infinidad de grados de velocidad que preceden al grado DH, hay que imaginar una infinidad de líneas cada vez mayores, trazadas desde los puntos infinitos de la línea AD paralelamente a la línea DH, cuya infinidad de líneas representará finalmente la superficie del triángulo ADH. De ese modo representaremos todo espacio atravesado por el móvil con un movimiento que comenzado en el reposo y acelerándose uniformemente, habrá consumido y se habrá servido de infinidad de grados de velocidad creciente, conforme a las líneas infinitas que, comenzando desde el punto A, están supuestamente trazadas en forma paralela a la línea HD, y a las líneas IE, KF, LG y BC; y el movimiento podrá continuarse tanto como se desee...³⁵

7. KOYRÉ, Alexandre. Estudios Galileanos. Madrid: Siglo XXI, 1980. p.138.



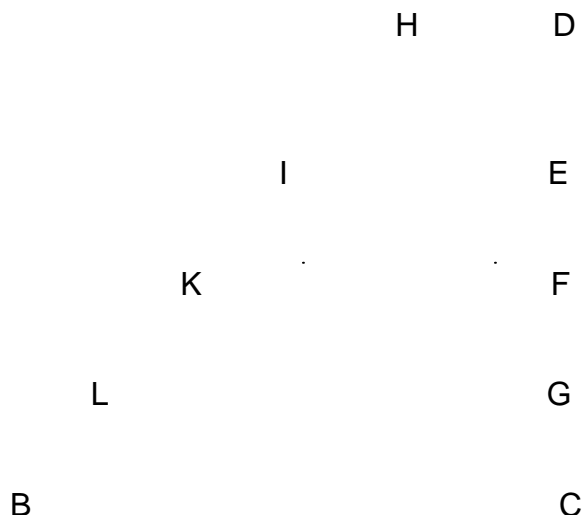


Figura 10: En el gráfico se representa el triángulo, tal como lo ilustra Galileo, para hacer la demostración de los incrementos de la velocidad en la caída.

Según lo anterior, la velocidad se puede medir sin tener que hacer referencia al movimiento producido en un espacio y durante un tiempo ya que al hacer alusión a la velocidad en términos de grados, ésta debe entenderse como una velocidad instantánea, la cual toma uno y sólo un valor en cada instante, y en donde el cuerpo no recorre ningún espacio ni se requiere de ningún tiempo, tal como lo considera Galileo:

... en un movimiento acelerado, el móvil no se retrasa, durante ningún espacio de tiempo, en un grado de velocidad. Y sin embargo a cada instante, en cada punto de su caída, ese móvil “tiene” una velocidad instantánea. El grado de velocidad es a partir de ese momento, la velocidad instantánea, una velocidad que no caracteriza ningún movimiento efectivo, una velocidad con la cual el cuerpo no recorrerá ningún espacio en ningún tiempo. La velocidad ya no es el atributo de un movimiento, sino de un cuerpo en un instante (o en un punto) determinado.³⁶

Lo anterior hace más explícita la posibilidad de que la velocidad es cuantificable en sí misma a partir del establecimiento de un orden en los grados de velocidad, y luego cuantificarla atribuyendo valores numéricos que permitan representar dicho orden establecido. Si, por ejemplo, se tiene los cuerpos A, B, C ordenados según su grado de rapidez creciente a través de la caída, podemos representar la ordenación con un orden de cifras que correspondan con el orden creciente de la velocidad:

$V_A \langle V_B \langle V_C \cong 1 \langle 2 \langle 3 \cong 5 \langle 10 \langle 15$. Las cifras indicadas representan grados de velocidad relativa de los cuerpos A, B y C, pero no indican necesariamente los grados de velocidad absoluto de cada uno de estos cuerpos. En tal sentido la velocidad se constituye en una variable independiente del espacio y del tiempo ya que para expresar el movimiento en estos términos solo es necesario establecer la relación entre los grados de velocidad de los cuerpos, definiendo las expresiones “más rápido” y “menos rápido” para poder hacer la descripción de los estados de movimiento, de tal modo que cada grado de la serie sea más rápido que el anterior y menos rápido que el siguiente. Sin embargo, este proceso de cuantificación presenta cierto grado de arbitrariedad ya que cualquier serie no representa adecuadamente la ordenación de los grados de velocidad de los cuerpos considerados. Aunque no toda serie representa adecuadamente la ordenación, existen infinitas series adecuadas para la ordenación. Esta arbitrariedad, en algunos casos, es posible eliminarla estableciendo una relación entre valores numéricos que representen el espacio, y por medio de esta relación encontrar valores que concuerden con el orden de los estados de la velocidad. (CAMPBELL, 1921)

8. GALILEI, Galileo. Los episodios Galileanos. En: Historia de las Ciencias. Paris: Bordas, 1989. p. 255 – 286.

3.4 CUANTIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD A PARTIR DEL ESPACIO Y DEL TIEMPO

En el caso particular de la cuantificación de la velocidad, el punto de partida es la relación que Galileo establece entre el movimiento y el tiempo.

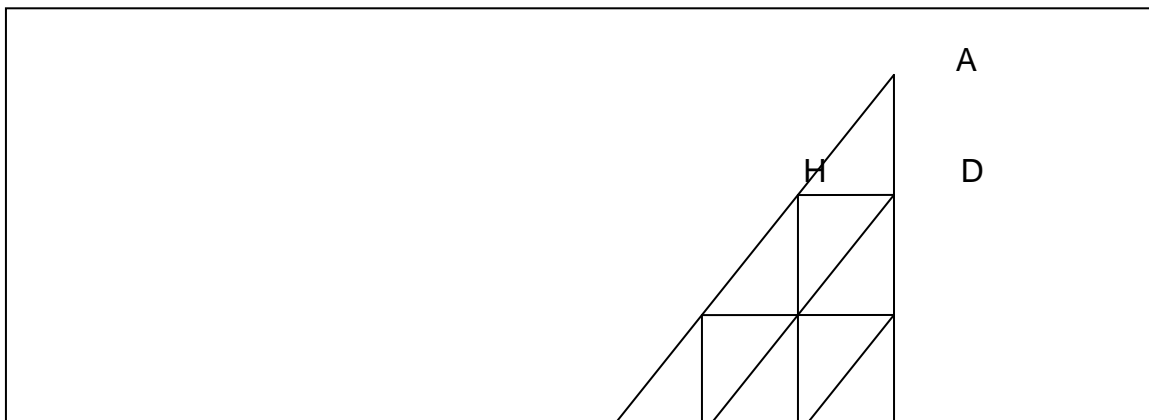
En la demostración de Galileo, antes citada, también se puede destacar la estrecha relación entre el movimiento y el tiempo, el cual expresa: “si un móvil partiendo del reposo desciende con un movimiento uniformemente acelerado, los espacios por él recorridos en cualesquiera tiempos están entre sí en proporción doble de los tiempos, es decir, como los cuadrados de los tiempos”³⁷.

Lo anterior muestra la relación entre el espacio recorrido y el tiempo de un cuerpo en caída, lo cual se puede expresar como $Y \propto T^2$ (1). De la demostración también se deduce que los desplazamientos, en tiempos iguales, siguen la sucesión de los números impares: 1, 3, 5, 7, 9, 11..., etc y que la velocidad de caída es directamente proporcional al tiempo, esto es, $V \propto T$ (2). Además, los incrementos que suceden en la velocidad son iguales en tiempos iguales. Teniendo en cuenta las expresiones (1) y (2) se puede establecer una relación entre la velocidad y la distancia recorrida por el cuerpo que cae, a saber:

$$Y \propto T^2 \rightarrow \sqrt{Y} \propto T, V \propto T \rightarrow V \propto \sqrt{Y}$$

9. KOYRÉ, Op cit., p. 142.

Veamos lo anterior en el siguiente gráfico:



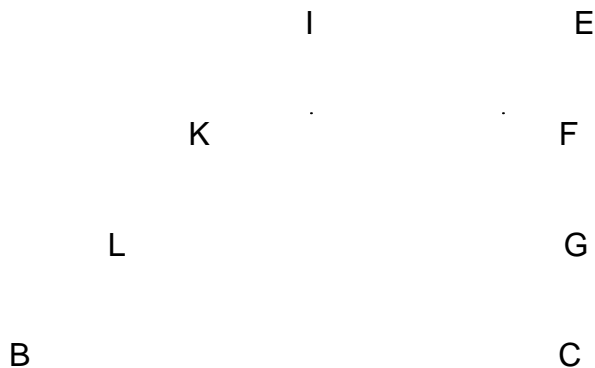


Figura 11. En el gráfico se representa el triángulo, tal como lo ilustra Galileo, para hacer la demostración de la relación entre el espacio recorrido y el tiempo en la caída.

Las relaciones establecidas se pueden deducir del gráfico, lo que induce a pensar que las áreas correspondientes a los triángulos deben representar las distancias ya que guardan la relación observada en la experiencia, es decir, el orden que se presenta en el gráfico satisface lo observado en la experiencia, razón por la cual, en esta perspectiva, se asume el área de los triángulos representados en este gráfico como el espacio recorrido en el movimiento uniforme acelerado.

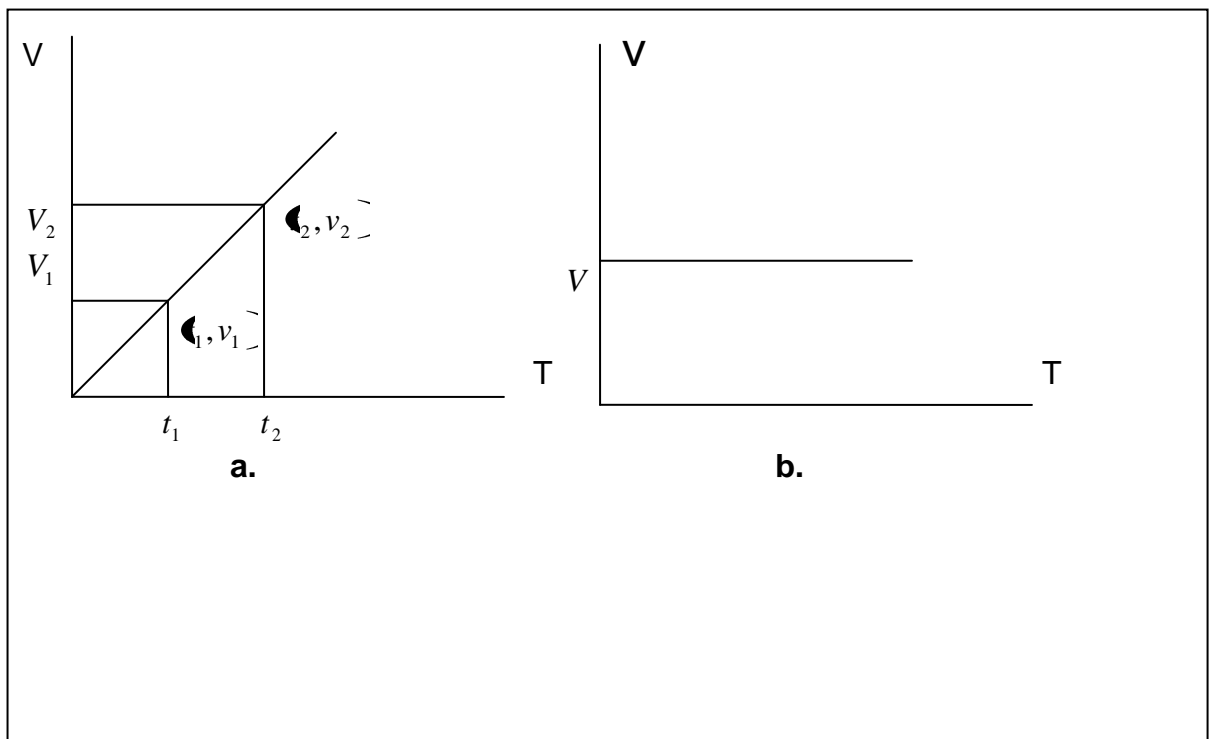
Lo anterior permite cuantificar la velocidad en función del espacio, en los siguientes términos:

Como $V \propto \sqrt{Y}$ y el orden de los espacios recorridos, desde el primer instante, según el gráfico, es de: 1, 4, 9, 16, 25, ... , se tiene : $V_H \propto \sqrt{Y}$ $V_I \propto \sqrt{4Y}$, $V_K \propto \sqrt{9Y}$, $V_L \propto \sqrt{16Y}$, $V_B \propto \sqrt{25Y}$.

$V_H \propto \sqrt{Y}$, $V_I \propto 2\sqrt{Y}$, $V_K \propto 3\sqrt{Y}$, $V_L \propto 4\sqrt{Y}$, $V_B \propto 5\sqrt{Y}$, luego, $\sqrt{Y} < 2\sqrt{Y} < 3\sqrt{Y} < 4\sqrt{Y} < 5\sqrt{Y}$, $V_H < V_I < V_K < V_L < V_B \dots$, entonces, $V_H < 2V_H < 3V_H < 4V_H < 5V_H \dots$ Esta relación permite afirmar que un orden adecuado para los grados de la velocidad del cuerpo en caída puede ser: 1,2,3,4... . Este orden también se cumple cuando se cuantifica la velocidad en función del tiempo,

ya que $V \propto T$. En particular, cada lapso de tiempo AD, DE, EF, FG, GC de la figura 11, es considerado como un conjunto continuo de instantes y como a cada instante le corresponde uno y sólo un grado de velocidad, se puede asumir el movimiento como estados sucesivos de reposo.

Cuando se considera un cuerpo que cae libremente cerca de la Tierra, para dar cuenta del estado del cuerpo se puede establecer una relación entre los grados de velocidad del cuerpo y las posiciones que éste ocupa durante la caída. En este caso el espacio abstracto por variables, se discretiza como un espacio bidimensional en términos de velocidad y posición, donde la velocidad es la que permite dar cuenta del estado de movimiento, la cual experimenta cambios iguales en tiempos iguales, así que en la caída de un cuerpo puede interpretarse que éste tiene cambios de estados iguales en tiempos iguales, situación que se ilustra en la figura 12a.



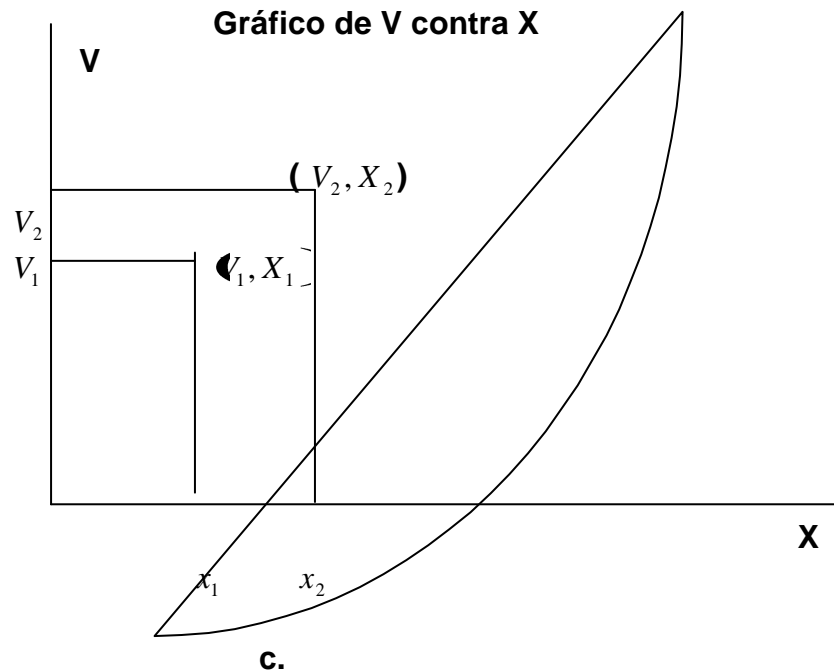


Figura12. Las gráficas hacen referencia a las diferentes representaciones del movimiento. En la a. Se representan las transformaciones, en la b. La permanencia del sistema en el estado de movimiento y en la c. Los puntos hacen referencia a la ecuación de estado.

En la figura 12a. los puntos (V_1, X_1) y (V_2, X_2) representan el estado de movimiento del sistema y la trayectoria entre estos puntos hace referencia a las transformaciones que experimenta el sistema entre t_1 y t_2 . Esta situación da cuenta de la interacción entre el sistema - movimiento con otro sistema. Estas transformaciones corresponden a una sucesión infinita de estados.

En la figura 12b. la semirrecta representa permanencia en el estado de movimiento del sistema, lo cual da cuenta de ausencia de interacciones.

En la figura 12c. los puntos representan la ecuación de estado del sistema.

CAPÍTULO CUATRO

En el intento de concretar esta propuesta, a continuación se presentan algunos talleres que pueden permitir una introducción en los aspectos relacionados con el movimiento desde la perspectiva de sistemas, estados y transformaciones.

Con el primer taller se pretende introducir elementos para una formulación de la mecánica que haga énfasis en la configuración de un sistema y sus interacciones. Desde esta perspectiva es importante tener en cuenta que, para abordar el movimiento, el estudiante debe tener claridad en cuanto a la delimitación y condición de un sistema, como también sus interacciones con otros sistemas,

razón por la cual consideramos necesario el taller uno que responda a estas expectativas.

El diseño de un segundo taller busca la cuantificación de la velocidad. En esta perspectiva es importante hacer claridad respecto a que la velocidad es la variable que permite describir el estado de movimiento mecánico de un sistema y que los cambios en ella dan cuenta de una interacción, razón por la cual es importante caracterizar la velocidad de caída de un cuerpo. La principal finalidad es mostrar que en la caída, a partir del reposo, a cada instante se le puede asignar un grado de velocidad y que los incrementos de estos grados de velocidad son continuos. Si se tiene en cuenta que durante la caída el cuerpo invierte un determinado tiempo y que esta variable no presenta interrupciones, es decir, es continua; y además el tiempo invertido por el cuerpo en la caída está constituido por infinitos instantes y a cada uno de éstos se le puede asignar uno y sólo un grado de velocidad, entonces se puede afirmar que la variable velocidad cambia permanentemente, constituyéndose en una variable continua.

El taller tres pretende familiarizar al estudiante con aspectos importantes en esta perspectiva tales como: Estados de movimiento de un sistema, cambios de estado e interacciones. En este enfoque es importante tener claridad acerca de la variable que permite describir el estado de movimiento de un sistema, al igual que comprender que los cambios en esta variable generan cambios de estado, lo cual da cuenta de una interacción. La principal intención del taller es empezar a dar bases en este nuevo enfoque del movimiento.

Con el cuarto taller se busca caracterizar las transformaciones del sistema. El fin primordial es la cuantificación de la velocidad a partir de las variables espacio y tiempo, y a la vez aclarar que, aunque la posición de los cuerpos puede cambiar en el tiempo, la posición no se puede considerar variable de estado ya que en algunos casos los cambios en esta variable no dan cuenta de las interacciones, como es el caso del movimiento uniforme, en donde se presentan unos cambios de posición pero no se dan interacciones, situación que no ocurre con la velocidad

debido a que todo cambio en ésta da cuenta de una interacción. Se debe tener en cuenta que los cambios en una variable de estado son evidencia de interacciones.

4.1 TALLER NÚMERO UNO. SISTEMAS E INTERACCIONES

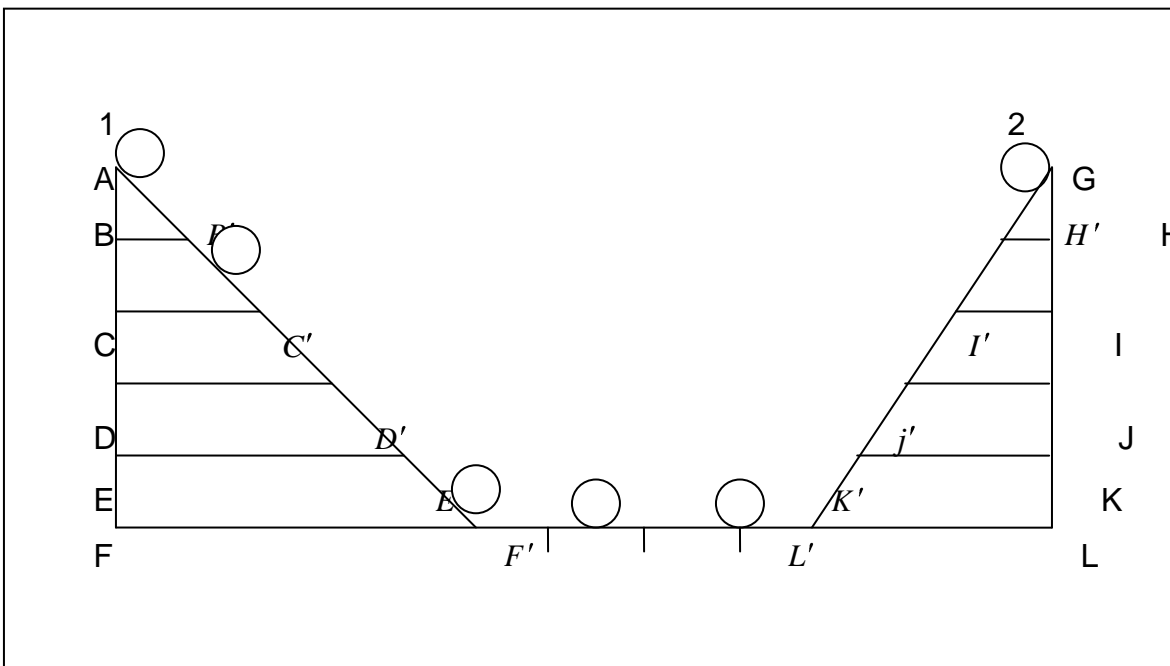
En cada una de las situaciones planteadas identifique sistemas y especifique cambios en ellos que den cuenta de interacciones, y si no hay evidencia de éstas explíctelo.

1. Una piedra se deja caer desde cierta altura.
2. Un bloque se desliza a través de un plano inclinado liso.
3. Un trozo de hielo dejado al medio ambiente.
4. Un choque frontal de dos esferas, donde una está en reposo.
5. Un par de cuerpos de diferentes masas, suspendidos de una cuerda que pasa a través de una polea fija.
6. Bloque empujado desplazándose con velocidad variable.
7. Una bomba llena de hidrógeno se deja libre cerca de la superficie de la tierra.

8. Un par de cuerpos de masas iguales, suspendidos de una cuerda que pasa a través de una polea fija, se mueven con velocidad constante .
9. Un cuerpo de madera flotando en un recipiente con agua.
10. Un bloque se desliza por un plano inclinado con velocidad constante.

4.2 TALLER NÚMERO DOS: CARACTERIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CAÍDA DE UN CUERPO

Desde la parte superior de dos planos inclinados lisos, de igual altura, se dejan caer esferas de igual masa hasta que alcanzan una superficie horizontal lisa, tal como se muestra en la figura.



M N O

1. Deje libre la esfera 1 desde la posición A y ordene, de menor a mayor, los grados de velocidad que la esfera tiene en los puntos: A, B', C', D', E', F', M, N, O.
 2. A partir de la posición G deje caer la esfera 2 y ordene, de menor a mayor, los grados de velocidad que ésta tiene en los puntos: G, H', I', J', K', L', O, N, M.
 3. a. ¿A partir de qué instante a estas esferas se les puede asignar algún grado de velocidad? Explique.
b. ¿A uno de los cuerpos se les puede asignar diferentes grados de velocidad en un mismo instante? Explique.
 4. ¿En qué puntos de las trayectorias las esferas 1 y 2 tienen el mismo grado de velocidad?
 5. Si $AB = BC = CD = DE = EF = GH = HI = IJ = JK = KL$:
 - a. ¿Qué relación de orden se puede establecer entre los grados de velocidad de la esfera 1 en: B' y C', B' y D', B' y E', B' y F'?
 - b. ¿Qué relación se puede establecer entre los grados de velocidad de la esfera 2 en: H' e I', H' y J', H' y K', H' y L'?
- Nota: En cada caso explique.
6. Teniendo en cuenta las respuestas de los numerales anteriores y que la inclinación de los planos es diferente, ¿de qué depende los grados de velocidad de la caída de los cuerpos en un plano inclinado liso?

4.3 TALLER NÚMERO TRES: ESTADO DE UN SISTEMA, CAMBIOS DE ESTADO E INTERACCIONES

Se tiene un sistema conformado por dos cuerpos esféricos duros A y B, de igual masa, y moviéndose sobre una superficie horizontal lisa tal como se indica.

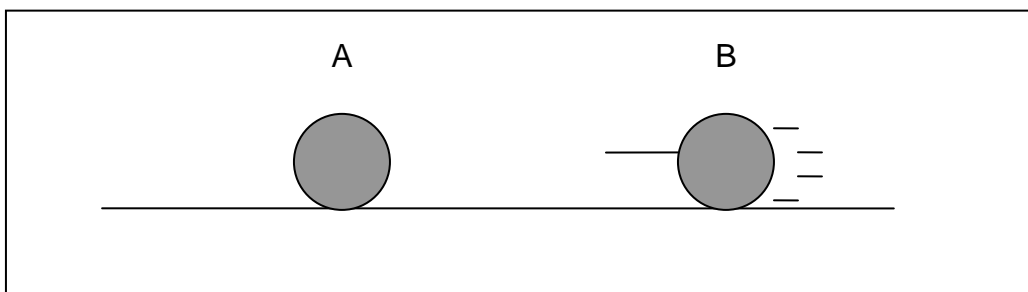


Figura 1.

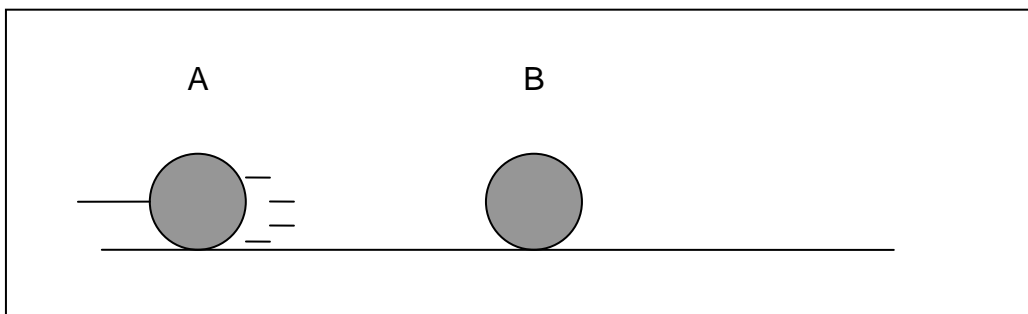
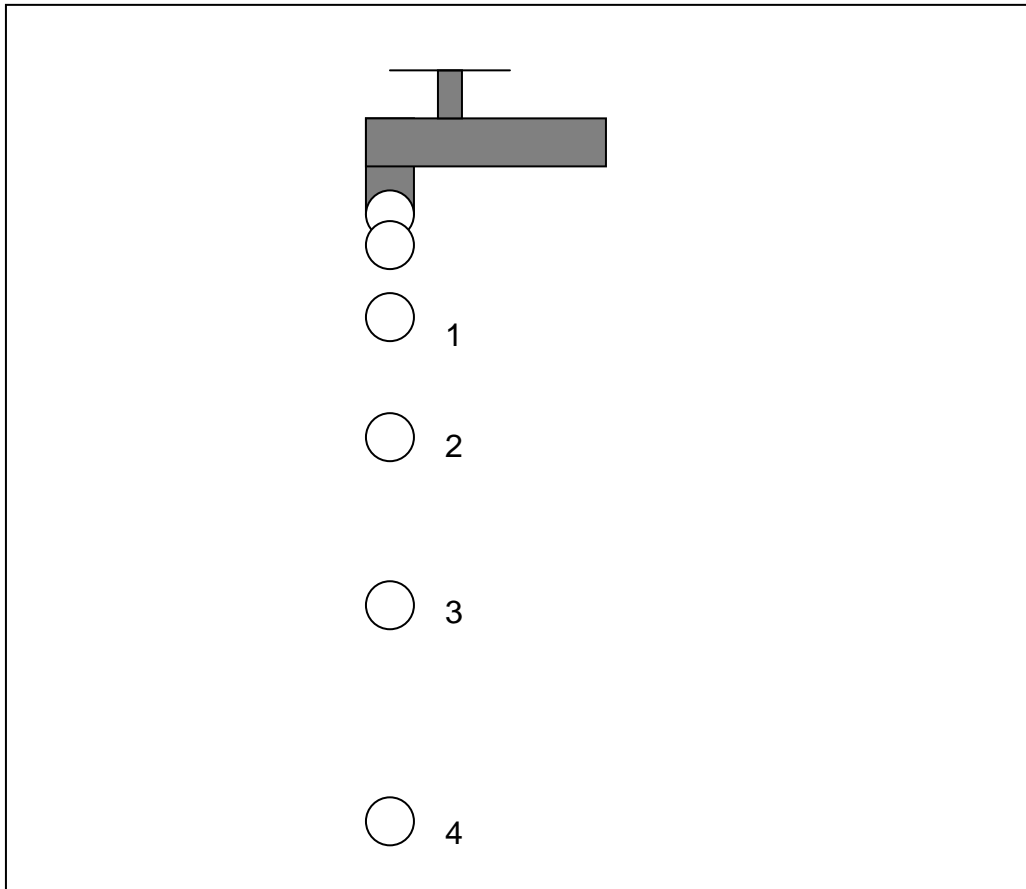


Figura 2.

1. A partir de una comparación de las figuras 1 y 2, haga una descripción de la situación presentada.
2. Entre las variables posición y velocidad, ¿cuál permite hacer una descripción del cambio de estado de lo planteado? Explique.
3. ¿Se puede afirmar que se presenta interacción entre los cuerpos A y B?, ¿Por qué?
4. Considera que la variable explicitada en el numeral 2 permite hacer la descripción del movimiento de un sistema? Justifique.

**4.4 TALLER NÚMERO CUATRO: CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO
DESDE LAS TRANSFORMACIONES**

La figura corresponde a una fotografía estroboscópica de gotas desprendidas de un grifo a intervalos de un segundo. Los números muestran las lecturas de tiempos correspondientes a cada posición de las gotas durante la caída.



1. Teniendo en cuenta el enunciado de “Galileo” de que en la caída de los cuerpos la velocidad experimenta incrementos iguales en tiempos iguales, establezca una relación de orden entre las velocidades de las gotas justo antes de caer la décima gota. Represente esta ordenación con un orden de cifras que correspondan con el orden creciente de las velocidades.
2. Teniendo en cuenta la proposición de Galileo, la cual expresa que los desplazamientos, en tiempos iguales, siguen la sucesión de los números impares 1,3, 5, 7,9,11..., determine los recorridos de cada una de las gotas justo antes de desprenderse la quinta gota.

3. A partir de los resultados obtenidos en el numeral anterior:
 - a. Establezca una relación entre espacio recorrido y tiempo de caída.
 - b. ¿En cuánto se incrementa la separación entre gotas consecutivas cada segundo?.
 - c. ¿Cómo son los cambios de velocidad en intervalos de tiempo igual.
Explique.
1. Realice un gráfico de velocidad contra tiempo ¿Qué significado físico tienen los puntos de la gráfica? ¿Qué interpretación física tiene la trayectoria entre estos puntos?
2. Realice un gráfico de velocidad contra espacio recorrido, ¿Qué representan los puntos de la gráfica obtenida?

CONCLUSIONES

El trabajo realizado a lo largo de la especialización, y en particular esta monografía, permitieron reflexionar acerca de las formas de ver el mundo, la ciencia y la física; en particular el movimiento desde una perspectiva realista y fenomenológica. De acuerdo con la visión que se tenga del mundo, se tendrá una imagen de ciencia, y la cual determinará el norte en cuanto al qué hacer y enseñar del maestro de ciencia.

Desde un enfoque realista el hombre hace parte de la realidad pero no la construye, y se ocupa, básicamente, de descubrir pero no de construir; posición distinta al enfoque fenomenológico en el cual la realidad es construida por el hombre y la verdad no es absoluta sino que es validada en contextos construidos por el hombre.

Por otra parte, al hacerse una lectura crítica de algunos textos de física en lo que toca con el movimiento, especialmente con la primera y segunda ley de Newton, se encontraron situaciones problemáticas en lo referente a: estado de reposo y movimiento rectilíneo uniforme como estados diferente, la inercia como oposición, la masa como cuantificación de la inercia y la fuerza con existencia propia o como aquello de lo cual está dotado un cuerpo. Se considera que estas situaciones problemáticas pueden ser superadas al abordarse el movimiento desde una perspectiva fenomenológica a través de un enfoque de sistema, estados y transformaciones; formas de ver coherentes y que posibilitan que el sujeto sea parte activa en la construcción del conocimiento.

Se puede afirmar que resulta más adecuado ver el movimiento como el modo de ser relativo de los cuerpos, y que la variable de estado que permite su descripción es la velocidad. Como esta variable puede aumentar y disminuir sin límite y se puede establecer infinitos grados de lentitud, el *reposo* no debe entenderse como el estar quieto de un sistema sino como un estado de movimiento con grado de lentitud infinito.

Finalmente, si un lapso de tiempo se puede considerar como la suma de infinitos instantes, en donde a cada instante se le puede asignar uno y sólo un grado de velocidad, entonces el movimiento en esta perspectiva corresponde a estados sucesivos de reposo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, Marcelo y FINN, Edward J. Física Vol. I. México: Fondo Educativo Interamericano, 1970.
- ALVARENGA, Beatriz. Física general. México: Harla, 1979.
- ARONS, Arnold. Teaching Introductory Physics. New York: Sohn Wiley and Sons, 1997.
- ARCA, María; GUIDONI, Paolo y MAZZOLI, Paolo. Enseñar Ciencias. Barcelona: Paidós Educador, 1990.
- BERTALANFFY, Ludwig Von y BRAZILLER, George. Teoría general de los Sistemas. México: Alianza Editorial, 1978.
- CAMPBELL, N.R. What is science. Londres, 1921. En: El mundo de las matemáticas, Vol V. Barcelona: Printer industria gráfica, 1985.
- CASSIRER, Ernst. Fin y método de la Física teórica. En: El problema del conocimiento, V.4. México: Fondo de cultura económica, 1986.
- ELKANA Yehuda,. La Ciencia como sistema cultural. En: Una aproximación antropológica. Bogotá. Vol. III. Nº. 1 (ene.-dic.,1983).
- ENCICLOPEDIA ESPASA. Barcelona: Espasa Calpe S.A., siglo XXI, 1998.
- FEYNMAN, Richard; LEIGHTON, Robert y SANDS, Matthew. Física. Panamá: Feisa, 1971.
- GALILEI, Galileo. Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas Ciencias. Madrid: Editora Nacional, 1981.

- GUIDONI, Paolo y ARCA, María. Sistemas y variables. Seminario didáctico de la facultad de las Ciencias. Universidad de Nápoles, Italia. Traducción: María Mercedes Ayala y Priscila de Castro: Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. Tomado del módulo del seminario de Fundamentación Didáctica, Universidad de Antioquia, Medellín.
- HEISENBERG, Werner. La imagen de la naturaleza en la Física actual. Barcelona: Orbis, 1985.
- HECHT, Eugene. Física en perspectiva. Madrid: Educativa, 1991.
- HERTZ, Heinrich. Los principios de la mecánica. New York: Dover Publications, 1956.
- HEWITT, Paul G. Física Conceptual. México: Pearson Educación, 1999.
- HOLTON, Gerald. Introducción a los conceptos y teorías de las Ciencias Físicas. Barcelona: Reverté, 1976.
- KOYRÉ, Alexandre. Estudios Galileanos. Madrid: Siglo XXI, 1980.
- MACH, Ernst. El Concepto. En: Conocimiento y Error. Buenos Aires: Espasa, 1948.
- MAYER, Julius R. On the Forces of Inorganic Nature. En: Historical development of the Concept. Stroudsburg, Pennsylvania: R. Bruce Lindsay (ed), 1973.
- NEWTON, Isaac. Principios matemáticos de la Filosofía natural. Barcelona: Altaya, 1994. V. 1.

- PEÑA, Ángel y GARZO, Fernando. Curso de Física COU. Madrid: Mc Graw Hill, 1990.
- RESNICK, Robert y HALLIDAY, David. Física. México: Cecs, 1978. V.1.
- RODRÍGUEZ, Luz Dary y ROMERO, Ángel. La construcción de la historicidad de las Ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 1999. N°. 6.
- SEARS, Francis y ZEMANSKY, W. Física. Madrid: Aguilar S. A, 1998.
- SERRES, Michel H. Historia de las Ciencias. París: Bordas, 1989.
- VALERO, Michel. Física Fundamental. Bogotá: Norma, 2000. Vol. 1.
- VILLEGAS, Mauricio y RAMÍREZ, Ricardo. Investiguemos 10, Física. Bogotá: Voluntad, 1989. Vol. 1.
- ZITZEWITZ, Paul y NEFF, Robert. Física. Bogotá: Mc Graw Hill, 1999. Vol.1.