

**ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE GUIDONI: RECONOCIMIENTO Y  
DIFERENCIACIÓN DE LAS PERSPECTIVAS CON LAS QUE SE DESCRIBEN Y  
EXPLICAN LOS FENÓMENOS AL CONCEPTUALIZAR LA NOCIÓN DE  
ESFUERZO EN MAESTROS EN FORMACIÓN**

Autores

Alejandro Sánchez Yalí

Wilman García Álvarez

Marco Julio Cañas Campillo

Asesor: Óscar Meneses Cardona

Monografía presentada

como requisito para optar título de Licenciado en Matemáticas y Física

Universidad de Antioquia; Facultad de Educación

Licenciatura de Matemáticas y Física

Antioquia, Medellín 2009

**ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE GUIDONI: RECONOCIMIENTO Y  
DIFERENCIACIÓN DE LAS PERSPECTIVAS CON LAS QUE SE DESCRIBEN Y  
EXPLICAN LOS FENÓMENOS AL CONCEPTUALIZAR LA NOCIÓN DE  
ESFUERZO EN MAESTROS EN FORMACIÓN**

## **PÁGINA DE ACEPTACIÓN**

## DEDICATORIA

### **Alejandro:**

*A mi familia, Darío de Jesús, Beatriz Elena y Juliana; por ser y estar, por compartir con mucho amor el espacio y tiempo de los momentos más significativos de mi vida.*

*A la familia Estrada, José Nelson, Bessie García, María Lilliam, María Cecilia, Juan Manuel y Sebastián; por ser un apoyo incondicional y creer en mí.*

*A mis amigos, en especial a Juan Guillermo, Mayer Lucia, Wilman, Damaris Natalia y Sebastián.*

### **Wilman:**

*A Dios, por ser el motor de mi vida.*

*Para mi familia, Oscar, Luz Mary, Oscar Alejandro, Edison, María José y María Isabel; por ser ejemplos de vidas íntegras y brindarme amor, refugio y comprensión en un lugar que verdaderamente es el hogar.*

*A profesores que fueron, son y serán modelos a seguir para un docente, como Oscar Meneses, Luis Carlos Yepes, Grimaldo Oleas y Yirsén Aguilar.*

*A mis amigos Camilo, John, Federico, Alejandro, Dany, Mayer y en especial para Nadia Mejía; todos son para mí un tesoro.*

### **Marco:**

*A mi madre, mi padre, mis hermanos, mi esposa y mi hijo que me han enseñado tanto.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro maestro y asesor Oscar Meneses Cardona, quien con su profesionalismo fue vital para llevar a feliz término este trabajo de grado; para el nuestro respeto y admiración.

A los profesores cooperadores, José Adán ramos y Yirsén Aguilar Mosquera por su disponibilidad y diligencia.

A la Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, el programa académico Licenciatura en Matemáticas y Física liderado por el profesor Luis Carlos Yepes por brindar la formación en calidad a nuestras vidas como proyecto de educadores.

Por último, pero no menos importante, agradecemos a Dios, nuestras familias y amigos, pues sin ellos hubiese sido imposible lograr este sueño.

## RESUMEN

Esta monografía presenta los análisis y resultados de la información obtenida en una investigación, cuyo objetivo es analizar en los maestros en formación, la incidencia de la aplicación del enfoque de Guidoni, en el reconocimiento y diferenciación de las perspectivas con las que se describen y explican los fenómenos, conceptualizando la noción de esfuerzo, a través de las estrategias de análisis, planteadas por este autor.

Se indaga y describe, en las argumentaciones de maestros en formación, el reconocimiento y la diferenciación de los *modos de ver*, con los cuales caracterizan y explican los fenómenos físicos alrededor del concepto de esfuerzo y con base en la coherencia y relacionabilidad de sus respuestas y la aplicación de estas a situaciones propuestas, se clasifican de acuerdo a los cuatro grupos de estrategias cognitivas de análisis propuestas por Guidoni.

El proyecto toma como fundamento didáctico la teoría de Sistemas de Guidoni. Como referentes teóricos complementarios, los trabajos de Elkana y Carr, donde las ciencias son *sistemas culturales*, dentro de una cosmovisión fenomenológica; en la cual los sujetos son constructores de sus realidades. En cuanto a lo disciplinar, autores como Feynman, Maxwell y Cauchy, proporcionan una diversidad de posturas y formas de interpretación del concepto de esfuerzo.

Descriptores: Epistemología e historia, teoría de sistemas de Guidoni y el concepto de esfuerzo

## ABSTRACT

This monography presents the analysis and results of an investigation whose purpose is to analyze, among teachers in training, the impact of implementing the approach in Guidoni recognition and differentiation of perspectives that describe and explain phenomena, to conceptualize the notion of effort, via the strategies of analysis.

It explores and describes the arguments in teacher training, recognition and differentiation of modes to see which characterize and explain the physical phenomena around the concept of effort and based on the coherence and relevance of their answers and their application situations proposals are classified according to four groups of cognitive strategies of analysis proposed by Guidoni.

The project takes as its basis the theory of systems Guidoni, as regards training and qualifying in the use of analysis strategies in the construction of instruments, is considered as a complementary theory concerning the work of Carr and Elkana, where science is cultural systems within a phenomenological worldview in which subjects are builders of their realities. Was taken as a reference discipline authors such as Feynman, Cauchy and Maxwell, which provide a variety of positions and ways of interpreting the concept of effort.

Descriptors: Epistemology, history and theory of systems Guidoni and the concept of effort

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>CONTENIDO .....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS Y TABLAS.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>1. PROBLEMA .....</b>	<b>13</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	13
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	17
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	20
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	20
<b>2. MARCO TEORICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. ¿QUÉ SON LAS CIENCIAS? .....	21
2.2. LA HISTORIA Y LA EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA .....	23
2.3. COSMOVISIONES .....	26
2.4. ENFOQUE SISTÉMICO DE GUIDONI .....	28
2.4.1. <i>Estrategias Generales</i> .....	29
2.4.2. <i>Estrategias de Análisis</i> .....	31
2.4.3. <i>Cultura Común y las Culturas Especializadas</i> .....	34
2.5. MATEMATIZACIÓN, FORMALIZACIÓN Y RECONTEXTUALIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA ...	35
<b>3. CONCEPTO DE ESFUERZO.....</b>	<b>39</b>
3.1. EL CONCEPTO DE ESFUERZO DESDE CAUCHY, MAXWELL Y FEYNMAN .....	39
3.2. EL ESFUERZO DESDE LA PERSPECTIVA DE ESTADOS.....	41
3.3. EL CONCEPTO DE ESFUERZO COMO VARIABLE DE ESTADO.....	42
<b>4. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>49</b>
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	49
4.1.1. <i>Características Definitorias del Estudio Cualitativo</i> .....	50
4.1.2. <i>Proceso de Investigación</i> .....	51

4.2.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
4.2.1.	<i>Fase 1</i> .....	52
4.2.2.	<i>Fase 2</i> .....	57
4.2.3.	<i>Fase 3</i> .....	63
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>86</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
7.1.	ANEXO 1: ALGUNOS APUNTES DEL DIARIO PEDAGÓGICO.....	90
7.1.1.	<i>Clase 1</i> .....	90
7.1.2.	<i>Clase 2</i> .....	92
7.2.	ANEXO 2: DISEÑO DE CLASES .....	93
7.2.1.	<i>Diseño de Clase 1: Elasticidad y Plasticidad, esfuerzo de tensión y comprensión....</i>	<i>93</i>
7.2.2.	<i>Diseño de Clase 2: Deformación de volumen y cortante .....</i>	<i>97</i>
7.2.3.	<i>Diseño de Clase 3: Principio de Arquímedes.....</i>	<i>100</i>
7.3.	ANEXO 3: TALLER INTRODUCTORIO. CONCEPTO DE PRESIÓN .....	103
7.4.	ANEXO 4: ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	104

## LISTA DE GRÁFICOS Y TABLAS

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE LA ACTIVIDAD DIAGNOSTICO (PARTE 1). .....	68
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE LA ACTIVIDAD DIAGNOSTICO (PARTE 2). .....	70
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE LA ACTIVIDAD DIAGNOSTICO (PARTE 3). .....	72
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS OBTENIDAS EN LA PRUEBA DIAGNOSTICO.....	72
TABLA 5: RESPUESTAS OBTENIDAS DE LA ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN 1 (PARTE 1) .....	75
TABLA 6: RESPUESTAS OBTENIDAS DE LA ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN 1 (PARTE 2) .....	76
TABLA 7: REPUESTAS OBTENIDAS DE LA ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN 1 .....	77
TABLA 8: REPUESTAS OBTENIDAS DE LA ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN 2 .....	81
TABLA 9: RESUMEN GENERAL. ....	81
ILUSTRACIÓN 1: TENSIÓN EN UNA CUERDA (SITUACIÓN 1). .....	61
ILUSTRACIÓN 2: TENSIÓN EN UNA CUERDA (SITUACIÓN 2). .....	61
ILUSTRACIÓN 4: GRÁFICO REALIZADO POR UN INFORMANTE. ....	79
ILUSTRACIÓN 5: CAPA NEUTRA .....	91
ILUSTRACIÓN 6: TENSIÓN DE UNA CUERDA (SITUACIÓN 1) .....	93
ILUSTRACIÓN 7: TENSIÓN EN UNA CUERDA (SITUACIÓN 2) .....	94
ILUSTRACIÓN 8: ESFUERZO POR CIZALLADURA .....	97

## INTRODUCCIÓN

Según Elkana (1983), las ciencias y sus dinámicas históricas son más que el conjunto de productos y resultados, son en sí mismas un entramado de significaciones que el mismo ser humano elabora y, por lo tanto, son *sistemas culturales*, que pueden ser cuestionados, modificados, enseñados y resignificados de una disciplina a otra y de una época a otra.

En esta investigación se ha hecho un estudio del concepto de esfuerzo, con una intencionalidad específicamente pedagógica. Como parte de este estudio, se adelantó una revisión de las obras de Feymann, Maxwell y Cauchy sobre el concepto de esfuerzo, se realizó un proceso de “recontextualización de saberes”, es decir, un proceso de identificación y selección de perspectivas de análisis sobre el concepto en mención que posibilitaron diseñar una ruta alternativa para su enseñanza – aprendizaje para la comprensión del concepto de esfuerzo.

El enfoque de sistemas de Guidoni (1990) propone el análisis de un fenómeno a través de diferentes estrategias; estas se caracterizan en el estudio del concepto de esfuerzo en los maestros en formación.

Esta monografía, que se presenta a continuación y que sintetiza los avances logrados en la investigación se divide en cuatro partes:

En el capítulo uno se presenta los antecedentes, la pregunta, la justificación y los objetivos de la investigación, en el capítulo dos se expone el marco teórico, donde se presenta qué son las ciencias a la luz del campo fenomenológico del conocimiento, seguidamente se caracterizan las cosmovisiones, haciendo énfasis en el estudio de las ciencias para luego mostrar la relación entre la epistemología e historia de las ciencias y la enseñanza de la física. Se expone también el enfoque de sistemas de Guidoni como marco metodológico para el estudio de los fenómenos físicos desde el reconocimiento y diferenciación de estrategias cognitivas de análisis y como componente final de este capítulo se trata los procesos de matematización, formalización y recontextualización en la enseñanza de la física.

En el capítulo tres se expone el análisis del concepto de esfuerzo, en el cual se hace la diferenciación de las estrategias empleadas por Maxwell, Cauchy y Feynman, estableciendo este concepto como una variable de estado.

En el capítulo cuatro, se presenta la metodología de la investigación, caracterización de informantes, descripción del contexto, diseño de métodos de recolección de información, criterios de análisis y clasificación de resultados producto de las intervenciones realizadas para el estudio de caso pertinente.

## 1. PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Los investigadores Martínez y Aguilera (2003) presentan una propuesta de enseñanza de la física basada en la naturaleza de los sistemas físicos. Según ellos, para el estudio de los fenómenos físicos es necesaria la identificación de observables y de relaciones entre ellos. La relación de estos observables definen el sistema físico en el cual tiene lugar los fenómenos de interés. Desde ésta perspectiva el discutir las propiedades que presentan los observables, enfocan el mismo fenómeno desde diferente áreas de la física (mecánica, termodinámica, electromagnetismo,...) y se constituye en una metodología para el estudio de sistemas físicos. El objetivo de estos investigadores es diseñar estrategias con base a estudios detallados que implican la construcción del conocimiento en determinados escenarios epistemológicos. Según Martínez y Aguilera, esta manera de enseñar los conceptos físicos a tratar en un curso, se basan en el método hipotético deductivo a fin de establecer las relaciones entre los diferentes observables que definen el sistema.

Así, el enfoque sistémico, es un marco metódico para observar y analizar los fenómenos particulares que se presentan en nuestro entorno.

De modo similar, Rojas (2003) argumenta en su artículo *On the Teaching and Learning of Physics: A Criticism and a Systemic Approach*, que la cantidad de investigaciones publicadas por Physics Education Research<sup>1</sup> muestran, por un lado, un creciente interés en el diseño y desarrollo de estrategias de enseñanza y, por otra parte, un intento por comprender las formas posibles como el cerebro procesa la información científica, a fin de que las destrezas del pensamiento científico puedan ser enseñadas de manera más eficaz, pero que a pesar de estos importantes esfuerzos, los resultados publicados son abrumadores y confusos para los maestros en física, en este sentido, las

---

<sup>1</sup>Physics Education Research, es una revista patrocinada por la American Physical Society (APS), la Asociación Americana de Profesores de Física (AAPT) y el Foro sobre Educación de APS (APS Fed). En ella se abarca toda la gama de investigación experimental y teórica sobre la enseñanza y/o aprendizaje de la física.

conclusiones que han surgido en los artículos, son en algunos casos polémicos y lejos de ser concluyentes en señalar una estrategia para superar los problemas de enseñanza. En consecuencia, Rojas concluye con base en el análisis de los trabajos publicados, que una de las principales dificultades para la enseñanza de la física está asociada a la falta de un marco metodológico y coherente que integre, tanto los aspectos conceptuales y los razonamiento matemáticos, en una forma sistémica de pensar.

Zahn (2003) en sus tesis doctoral *Vom Systemischen Denken zur Methode System Dynamics*, argumenta que desarrollar el pensamiento sistémico constituye una metodología para entender mejor el comportamiento de los sistemas complejos. Ya que según él, el pensamiento lineal causa - efecto, simplifica la naturaleza de los sistemas, dejando muchos detalles que producen transformaciones en otros sistemas. Él menciona, que es necesario reconocer que estamos en un sistema que está compuesto de subsistemas en constante interacción.

La complejidad, es entendida como la no linealidad. Según él, en la época actual muchas instituciones educativas han intentado implementar currículos que permitan el desarrollo del pensamiento sistémico, entre ellas señala el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en donde el investigador W. Forrester adelanto una investigación en los años 50 denominada "Industrial Dynamics". Esta investigación está orientada principalmente a la reforma de currículos en los programas del MIT que tiene que ver con la producción industrial y se centra en reconocer que las empresas y los gobiernos, necesitan utilizar el concepto de sistema dinámico para la gestión y toma de decisiones políticas. Se propone la sociedad como una sociedad dinámica de sistemas y el método de la dinámica de sistemas, como alternativa para ayudar a entender los problemas actuales y los efectos a largo plazo de las actuales acciones.

Machado y otros (1992) en su investigación sobre los conceptos de energía y sistema, con estudiantes de ciencias de la salud de la Universidad Simón Bolívar del Valle de Sartenejas, Venezuela, se fundamentan con la teoría cognitiva de Ausubel y tiene como objetivo principal, describir los procesos de aprendizaje para determinar la estructura de la asignatura de física alrededor de un concepto organizador. La información, se obtiene mediante encuestas y entrevistas. Ellos concluyen que el concepto organizador es el de

sistema, pues, partiendo de una definición de sistema y de sus propiedades, se presenta el cuerpo humano como un conjunto de sistemas: bioquímico, nervioso, cardiovascular, respiratorio, renal, térmico, digestivo, etc. Se discute la necesidad de que cada sistema funcione adecuadamente, en armonía con el resto y adaptado al medio ambiente.

Mencionan que la inclusión del concepto de sistema posibilita:

1. Introducir el concepto de energía desde el principio de la asignatura, en la propia definición de sistema y alrededor de la interacción entre sistemas.
2. Presentar el cuerpo humano como un conjunto interrelacionado de sistemas con el cual se evita la visión parcelada.

La investigación desarrollada por Covalada y otros (2005) sobre los conceptos de sistema y equilibrio, se centra en caracterizar las representaciones mentales que utilizan los estudiantes universitarios del curso de Física I, para dar significado a estos conceptos en el aprendizaje de la mecánica y la termodinámica. En este trabajo de exploración conceptual, los autores muestran una variedad de interpretaciones y significados que se asignan a los conceptos de sistema y equilibrio, en una muestra de 60 estudiantes universitarios del curso de Física I y constituyen las conclusiones preliminares de un estudio posterior.

Con relación al concepto de sistema, los autores concluyen, que éste en general, es interpretado como un conjunto de una variedad de elementos, cosas, leyes, y situaciones, que lo hacen amorfo conceptualmente, sin embargo, los estudiantes reconocen la existencia de relaciones y aún mas, de interacciones entre los elementos o cuerpos, aunque es notable el hecho de no identificar plenamente los sistemas que interactúan, ni las interacciones, las variables de estado y los cambios de estado; consideran además, que la solución de situaciones propuestas, no resulta en general exitosa, este es un indicio muy notable de la debilidad del concepto de sistema.

Kelly (1976) en un resumen de la investigación: *A Systems Approach to Teaching* presentado a Association for Educational Communications and Technology Annual Conference, muestra la implementación del enfoque sistémico como un mecanismo de

preparación de materiales para el diseño de las clases, esto con el fin de proveer a las instituciones de un método funcional de organización y comportamientos.

Se establece un sistema compuesto por entradas y salidas donde hay unos objetivos claros y bien demarcados en el proceso; en la construcción de los materiales se evidencia la presencia de sistemas y subsistemas para dar vida, a la creación de elementos útiles para llevar al aula con la ayuda de elementos visuales y diagramas de jerarquía.

Monroy (1985) presenta el concepto de sistema en su definición más usual en la literatura definiéndolo como un conjunto de elementos que se relacionan e interactúan entre sí. Se pretende dar evidencias que generen cambios en el currículo de los programas académicos de Ingeniería, para que en estos se adopte el concepto y el enfoque de sistemas.

Se justifica su importancia en el caso particular de la Ingeniería de Sistemas y el programa que denominan Ingeniería de Operaciones, en los cuales era tradicional que se enseñaran las diferentes asignaturas de manera independiente y en ausencia de relación entre si; donde primaba el estudio de los algoritmos de programación permitiendo poca interdisciplinariedad. Aquí el enfoque de sistemas pretende para esta investigación de Monroy, dar integridad a la formación del ingeniero y conjugar dentro de un “todo” la utilización de diversidad de saberes; que en el caso de la ingeniería dan un vuelco importante al considerar aspectos ambientales que no siempre fueron foco de análisis.

Esta investigación, según el autor, dio punto de partida para la renovación de los planes de estudio de Ingeniería y ahora se implementa en algunas universidades de México.

Finalmente, Guidoni (1990a) y Pozo (2000) afirma, que es muy poco probable que los estudiantes diferencien diversas estrategias de análisis y por lo tanto es esto lo que dificulta sus explicaciones, pues no permite construir una estructura de relaciones coherentes del fenómeno que trata de describir y explicar, estas están dominadas por la forma en que ve el mundo y la no identificación de otras formas de ver. Guidoni (1990a) dice además que los modos de mirar aparecen bastante mal diferenciados, y constituyen esbozos de modelos distintamente superpuestos y entrelazados uno con otro en la mente de cada estudiante.

A partir de la lectura de los antecedentes se puede inferir que tanto el concepto de sistema como el enfoque sistémico tienen un carácter interdisciplinario, que le puede dar plausibilidad en contextos de ingeniería, medicina y enseñanza por nombrar algunos.

La teoría de sistemas tiene un papel protagónico en procesos de organización y de enseñanza; y como bien señala Covalada (2005), los estudiantes tienen falencias en la utilización del concepto de sistema, además, es usual que los aprendices privilegien los razonamientos causales, dejando de lado otras alternativas y estrategias de análisis conduciéndose en algunos casos a conclusiones erróneas (Pozo, 2000).

En este orden de ideas se puede pensar que los sistemas son una tentativa interesante para investigar su incidencia en procesos educativos, particularmente en la enseñanza de la física de los medios continuos.

## **1.2. Pregunta de Investigación**

¿Qué incidencia tiene la aplicación del enfoque sistémico de Guidoni en el reconocimiento y diferenciación de las perspectivas con las que se describen y explican los fenómenos, al conceptualizar la noción de esfuerzo?

## **1.3. Justificación**

La raza humana se enfrenta hoy en día a problemas cada vez más complejos y se toman medidas aplicables a nivel local que los pueden resolver. Los ejemplos incluyen problemas, como el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera, el hambre en el mundo, la destrucción de las selvas tropicales, así como las crisis económicas a nivel mundial. El mundo se ha convertido en un sistema de subsistemas en interacción (Zahn, 2003). A pesar de que parece que estos problemas son típicos fenómenos de la rápida evolución de nuestro tiempo, son más bien el resultado de las relaciones entre las distintas

partes o subsistemas que siempre han existido, pero que dichas relaciones a menudo no se reconocen.

El hombre en su evolución, ha aprendido a pensar por simple relaciones de causa - efecto. Pero en la actualidad también está aprendiendo que hay determinadas situaciones, en las que es un requisito disponer de una estrategia diferente; hecho que rara vez se da (Zahn, 2003). De modo similar, Guidoni (1987) sugiere que cada organización cognoscitiva del mundo para ser eficaz, debe saber dominar diversos criterios de análisis.

Por otro lado, a las ciencias suele confundírsele con sus resultados y aplicaciones, olvidando que las metodologías cognoscitivas y las particulares maneras de pensar la realidad también hacen parte de las ciencias (Martínez, 2003). Así, es importante centrar la atención en la estructura y los métodos del pensamiento científico, entendidos éstos como la reunión de una gran cantidad de tácticas y estrategias empleadas por los investigadores para llevar a cabo su actividad (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990b).

La base del pensamiento sistémico consiste en reconocer la existencia de una serie de conceptos y estrategias genéricas aplicables y aplicados en diversos estudios (Rosnay, 1975). Nociones como la energía, flujos, ciclos, realimentación, sistema abierto, reservas, recursos de comunicación, catalizadores, interacciones mutuas, jerarquías, agentes de transformación, equilibrios y desequilibrios, estabilidad, evolución, etc., son aplicables a la idea genérica de sistema sin entrar en la disciplina concreta ni en el tipo del sistema considerado. La existencia de este vocabulario usual en muchos campos, parece responder a una aproximación común a los problemas que se encuentran dentro de una misma categoría: la complejidad organizada (Rosnay, 1975).

La importancia de este hecho es fundamental, pues significa que de ser cierto que existe una aproximación común, se puede establecer una forma de tratar el problema genérico - el sistema - independientemente de la disciplina en la que éste se considere. Esta aproximación común existe y surge de la sinergia entre la biología, la teoría de la información, la cibernética y la teoría de sistemas. A partir de ellas se extraen conclusiones generales, reflejadas en ese vocabulario compartido por todas las disciplinas. Este es el enfoque sistémico y debe verse, no como una nueva ciencia, una nueva teoría o una

disciplina sino como una nueva metodología que trata de organizar el conocimiento para dar más eficacia a la acción (Rosnay, 1975).

Para establecer una relación con algo que nos es más cercano, podemos recurrir a la comparación con el enfoque analítico. En él, se pretende desmenuzar la totalidad para estudiar los elementos por separado, aislando interacciones y componentes del resto del todo que forman. Por el contrario, el enfoque sistémico intenta englobar la totalidad de los elementos del sistema, estudiando las interacciones e interdependencias entre ellos. Por sistema se entiende un conjunto de elementos en interacción y se intenta investigar las invariantes que existen en la interacción de elementos (Guidoni, 1987). Esto es lo mismo que intentar aplicar en otro, las conclusiones extraídas para un sistema o intentar que lo que es válido para un nivel de complejidad, lo sea para otro. Esas invariantes son principios generales, estructuras y funcionamiento común a todos los sistemas (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990b).

El enfoque de sistemas, es viable para el estudio de diferentes problemáticas independientemente del contexto. En la enseñanza de las ciencias y el estudio de la noción de esfuerzo, toma su importancia particular argumentada en varios aspectos: a) Se observa debilidad conceptual, en los maestros en formación, en cuanto a los conceptos de esfuerzo y sistema; producto de observaciones consignadas en un diario de campo y antecedentes ya mencionados. b) Ausencia de diversidad de estrategias para interpretar y analizar los fenómenos físicos (Guidoni, 1987) en particular la noción de esfuerzo. c) El esfuerzo es un concepto transversal para el estudio de la física de los medios continuos desde el análisis de los fenómenos elásticos y deformaciones, pasando por el concepto de presión en los fluidos y aspectos relacionados con el esfuerzo en termodinámica. Además, la noción de esfuerzo es un fundamento para la construcción de formalizaciones y recontextualizaciones en electromagnetismos y otras “ramas” de la física (Ayala, Malagón, Garzón, Castillo, & Garzón, 2001)

## **1.4. Objetivos de Investigación**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Analizar, en los maestros en formación, la incidencia de la aplicación del enfoque de Guidoni, en el reconocimiento y diferenciación de las perspectivas, con las que se describen y explican los fenómenos al conceptualizar la noción de esfuerzo.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Indagar en las argumentaciones de maestros en formación, el reconocimiento y la diferenciación de modos de ver con los cuales describen y explican los fenómenos físicos alrededor del concepto de esfuerzo.
- Identificar estrategias de análisis que permitan las reflexiones epistemológicas alrededor del concepto de esfuerzo en el enfoque de sistemas.
- Describir las argumentaciones de los maestros en formación por medio de las categorías delimitadas en la clasificación de las estrategias de análisis de Guidoni.
- Establecer correspondencias entre las estrategias de análisis y los modelos explicativos de los maestros en formación.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. ¿Qué son las Ciencias?**

La reflexión en la enseñanza de la física de los medios continuos, y de las ciencias en general, implica hacer una pregunta que según Guidoni es fundamental para iniciar cualquier discusión sobre la educación para las ciencias: ¿Qué son las ciencias? Para poder establecer que puede “ofrecer” y “pedir” a la educación (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990b). Esta pregunta, eventualmente, para su respuesta exige una postura sobre las ciencias y su relación con la educación, postura desde la cual se ha de reflexionar el cómo se dan los aprendizajes y las estrategias de enseñanza para superar los problemas de aprendizaje en los estudiantes.

De manera particular se adopta que las ciencias son un fenómeno histórico y social cuyas características son modificables porque se determinan y construyen en distintos espacios y épocas de la humanidad (Elkana, 1983). De hecho, los conceptos surgidos de las ciencias se toman como alternativas frente a una serie de explicaciones de otros marcos referenciales como la mitología, la magia, la religión, el arte, etc. Por lo tanto se debe tener cuidado al momento de enunciar juicios acerca de la validez del conocimiento científico porque igual que la mitología, la magia, la religión, el arte forman parte de un engranaje social. El que se considere una forma de conocimiento más valiosa que otra no implica que podamos concebir la existencia de un pensamiento científico y otro no científico fuera del ámbito cultural. Las actividades que conforman la obra humana total, es decir, las manifestaciones artísticas, políticas y religiosas, tienen saberes reconocidos que se legitiman o al menos se reconocen por distintos grupos para edificar sus propios paradigmas o formas de entender el mundo.

La legitimidad del conocimiento cambia con el tiempo porque las sociedades son modificadas y modifican a su vez a los sistemas políticos, religiosos, económicos, etc. y,

por esta misma razón, la idea positivista sobre la existencia de una ciencia verdadera y objetiva, carece de sentido dentro del contexto mencionado.

*La ciencia, como algo existente y completo, es la cosa más objetiva que puede conocer el hombre. Pero la ciencia en su hacerse. La ciencia, como fin que debe ser perseguido, es algo tan subjetivo y condicionado psicológicamente como cualquier otro aspecto del esfuerzo humano, de modo de la pregunta ¿cuál es el objetivo y significado de la ciencia? Recibe respuestas muy diferentes en diferentes épocas y diferentes grupos de personas (Einstein, 1949).*

Elkana (1983) afirma que puede privilegiarse un *sistema cultural* (como la ciencia, el arte, la política) sobre otro, siempre que no se excluya su relación con los otros sistemas. La cultura no es una suma aritmética de elementos sino un sistema abierto de relaciones en el que se lleva a cabo un proceso constante de construcción y resignificación por parte de los individuos que se encuentran inmersos en él. Elkana retoma el concepto semiótico de cultura desarrollado por Geertz, para afirmar que las ciencias son *sistemas culturales* porque están históricamente construidas en un entramado de significaciones que el mismo ser humano elabora y, por lo tanto, son sistemas que pueden ser cuestionados, modificados, enseñados y resignificados de una disciplina a otra y de una época a otra.

Vale la pena recordar a modo de ejemplo, que hace casi cien años Poincaré y Einstein pusieron en tela de juicio la idea positivista sobre la objetividad científica. Para estos hombres la certeza y validez de un conocimiento no están en función del estudio de fenómenos aislados del dinamismo de su entorno (objetivados, diríamos) dentro de un laboratorio, con variables controladas y con la cifra precisa de la incertidumbre absoluta y relativa, como dicta la tradición del llamado método científico, como si fuese la única opción legítima para producir un conocimiento. Einstein (1949) colocó al científico en una dimensión humana al descubrir que él mismo era una de las variables dentro de un fenómeno que tampoco podía estar aislado del entorno, en "condiciones ideales", como suele decirse en las teorías y leyes. Einstein consideraba indispensable la intervención del investigador, su intuición, su experiencia y su constancia en el trabajo, mucho más que el método en la producción del conocimiento científico.

Así, el hombre se encuentra en una constante actividad de interpretar y de describir la realidad, y se manifiesta en un conjunto de representaciones sobre las cuales se tiene certeza de que son validas según el contexto de referencia. Es decir, no existe una única forma de conocer, existen diversos procedimientos de acopio de los datos empíricos acerca de la realidad, así mismo existen diversos modos de interpretación lógica de estos datos. Se trata de los diversos métodos epistemológicos utilizables para la comprensión del significado de los datos reales (Severino, 2000). Por esto, las ciencias ya no pueden pretender alcanzar una verdad única y absoluta; sus conclusiones no se consideran verdades dogmáticas sino formas de conocimiento, contenidos inteligibles que le aportan sentido a determinado aspecto de la realidad.

La multiplicidad de los aspectos a través de los cuales se manifiesta la realidad abre igualmente a una variedad de métodos de configuración de los datos fenoménicos, así como la diversidad de métodos epistemológicos. Los procedimientos, los métodos y la manera de interpretar y describir la realidad dependen de los marcos conceptuales, estos son de diversas fuentes tales como la ciencia, la magia, la religión, el mito, etc. Estos se constituyen en marcos de referencia que define las pautas para manipular, describir e interpretar la realidad (Elkana, 1983). Cada uno de estos intentos por tratar de entender la realidad nunca son completos, lo que exige que cada marco conceptual reconozca sus relaciones con otros marcos conceptuales.

## **2.2. La Historia y la Epistemología de las Ciencias en la Enseñanza de la Física**

La didáctica de las ciencias no es prescriptiva. No dice ni es su pretensión decir cómo enseñar. Este es un problema que resuelve el profesor de acuerdo con múltiples factores que configuran su realidad y su comprensión de la misma<sup>2</sup>, sin embargo la historia y epistemología de las ciencias (HEC) es una tentativa para responder una gran cantidad de problemáticas en la enseñanza de esta disciplina.

---

<sup>2</sup> Entrevista realizada a la doctora Fanny Angulo, directora del grupo de investigación GECM de la Facultad de Educación, Universidad de Antioquia. Para profundizar mirar el anexo 4.

Muchas veces se le confunde a las ciencias con sus resultados o productos, obviando que esta se construye históricamente (Ayala M. M., 2008) esto ha llevado a asumir la ciencia como un cuerpo de hechos, conceptos, leyes, teorías, etc.; convirtiendo a los contenidos en el eje de la enseñanza. Dado el acelerado desarrollo de las ciencias en el presente siglo, tal enfoque ha introducido una problemática de difícil solución, que reviste características especiales en el caso de la enseñanza de la física (Ayala M. M., 2000).

En este orden de ideas, es pertinente pensar en posturas y perspectivas de enseñanza alternativas a las usadas clásicamente, se argumenta ahora como los fundamentos de la HEC son válidos y plausibles como filosofía de enseñanza.

Mediante el estudio de tópicos referentes a la génesis de los conceptos y teorías de la física, se busca mostrarla en su dinámica histórica de desarrollo, examinar las especificidades de su racionalidad, sus campos de validez, así como tematizar sus relaciones con la cultura. Los tópicos de historia y epistemología permiten derivar elementos de corte epistemológico para el análisis de las teorías de la física y permiten tener una aproximación al entorno social, que posibilitó la formulación de los planteamientos teóricos y de esa manera expandir el espectro cultural del docente, en relación con el devenir de la física, ampliando sus posibilidades de acción en el aula (Orozco & Juan, 1996), de modo que no se presenta la física como un producto terminado o como resultado de un procedimiento no existente, en el cual hay que creer ciegamente.

Estas ideas refuerzan la tesis de Matthews (1994) cuando afirma que la HEC motiva y despierta el interés por las ciencias; proporciona una mejor comprensión de los conceptos científicos mostrando su desarrollo y dinámica de construcción; propicia la comprensión de cómo se generan y validan los diferentes productos de la actividad científica; permite establecer relaciones entre los contenidos científicos y los intereses éticos, culturales y políticos de los contextos donde se produjeron.

Pero la HEC no se limita al hecho de indagar como se generó y validó el conocimiento científico, también permite una reflexión conceptual desde los problemas originales de la ciencia, además que favorece una reorganización conceptual desde diversos

enfoques, fortaleciendo tanto lo disciplinar como el componente pedagógico–didáctico, ya que pueden surgir enfoques diferentes en la solución de un mismo asunto (Aguilar, 2006).

Dentro de las ideas de corte histórico y epistemológico se puede interpretar las ciencias como una construcción humana, como un *sistema cultural* que puede ser debatido, corregido, enseñado, confirmado (Elkana, 1983) y que 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, un enfoque histórico epistemológico, puede permitir ver cómo los diferentes modos de significar la física están ligados a contextos particulares y a problemas propios de ese contexto, lo que posibilita significar la física como una disciplina históricamente constituida (Aguilar, 2006), donde nadie puede acceder al conocimiento real, pues este se metaforiza de modo que es cada sujeto quien construye sus realidades (Ayala M. M., 2008).

En estas reflexiones no se interpreta la historia de manera lineal, siguiendo una secuencia de datos, o la mera recolección de asuntos biográficos y curiosos, la concepción de historia es más bien de un análisis crítico y reflexivo de acontecimientos que generan cambios, un dialogo sin fin entre el pasado y el presente (Carr, 1991).

En cuanto a la relación con la docencia, conocer la física para un profesor de física es conocer, en primer lugar, los problemas que han posibilitado la construcción de fenómenos, la formación y el desarrollo de los conceptos de la física y su sistematización en teorías; las condiciones en que tales problemas fueron planteados, en especial, su pertinencia en el momento histórico en que fueron formulados, conocer la física significa estar en capacidad de caracterizar los procesos de diferenciación conceptual que se desarrollan en la construcción de nuevos fenómenos, en la redefinición y reconceptualización de una problemática, y en la constitución de nuevos objetos disciplinares y métodos y técnicas para abordarlos (Ayala M. M., 2000).

Para los procesos de recontextualización se recomiendan los análisis de los textos originales de primera mano así como Kuhn lo ha señalado, el sistema de enseñanza a través de libros de texto comporta ciertos dogmatismos de base que el retorno a las fuentes contribuiría a superar (Kuhn, 1982). Según este, el análisis de los textos originales de los científicos permite: i) entender que los conceptos que finalmente fueron decantados en un paradigma, y que son presentados de manera acabada y precisa en los libros de texto, tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo. Esto permite enriquecer el concepto, flexibilizándolo y sugiriendo nuevos significados y relaciones; ii) identificar las problemáticas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular y en muchas ocasiones, las contradicciones y los debates entre posiciones contrapuestas que generalmente no aparecen en los libros de texto y iii) entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto, es decir, tomar conciencia de los cambios en el significado de los conceptos y en su articulación respectiva, de las transformaciones en la formulación de los problemas, en el lenguaje, en las formas de argumentación y en los criterios de coherencia y de rigor.

### **2.3. Cosmovisiones**

Cuando se organiza la información que será llevada a un aula de clase para (Aguilar, 2002), el diseño no debe girar exclusivamente en cuanto a las temáticas que se van a presentar, previamente el docente debe incluir entre sus cuestionamientos, la forma cómo concibe las ciencias, ya que estas afectan de manera directa o indirecta su relación con la enseñanza y la disciplina; además, estas reflexiones son las que permiten delimitar y escoger los problemas a tratar dentro del universo físico.

Este autor, expone que del análisis de la observación de una clase o de un docente, se puede inferir la concepción de las ciencias que este tiene, o como interpreta la naturaleza de las disciplinas, es usual encontrarse contextos educativos donde los cursos se limitan a repetir leyes, eximiendo la posibilidad de reflexión de algunos fenómenos y teorías.

En este sentido, se considera pertinente realizar algunas referencias y acotaciones en cuanto a las cosmovisiones, sus relaciones y efectos. Elkana considera diferentes sistemas culturales, sin hacer privilegio de uno sobre otro, también es importante hacer una selección consecuente de los referentes teóricos para evitar caer en el eclecticismo y dar coherencia y fluidez al discurso desde lo disciplinar y educativo (Segura, 2008). Es por esto que la elección de una cosmovisión, se hace menester desde la argumentación en sus implicaciones en la enseñanza, como propuesta educativa y para la interpretación de la naturaleza de las ciencias.

Por tanto, no será igual estar en un espacio de conceptualización donde el docente adopte una cosmovisión *realista* del mundo, donde las leyes físicas son invariantes y absolutas en el tiempo, donde el hombre y el sujeto carecen de protagonismo y solo son agentes de recepción y repetición de verdades científicas. Aquí serían asumidas las ciencias como un cúmulo de datos o leyes presentes en la naturaleza, donde el hombre se pregunta por las causas primeras de los fenómenos y “utiliza” la ciencia para descubrir y explicar el funcionamiento de su entorno.

Desde el realismo, los razonamientos son de tipo causal, se busca identificar esta causa y sus efectos, con el limitante que los efectos no pueden ser causas; reduciendo los planteamientos científicos a la búsqueda de la causa inicial para poder dar explicación satisfactoria a un determinado fenómeno; dentro de esta cosmovisión los procesos de enseñanza no posibilitan los procesos de reflexión y construcción y no permiten asumir las ciencias como una actividad en donde el hombre puede realizar construcciones que tengan validez en un contexto determinado (Aguilar, 2002).

También se puede pensar en un espacio de conceptualización, donde el docente interprete las ciencias, entendidas como la actividad humana orientada a la comprensión del mundo y como aquella que permite darle significados a las construcciones del hombre, la actividad de las ciencias se constituye en un espacio generador de contextos de construcción y validación de conocimiento (Rodríguez & Romero, 1999).

En este sentido, lo que importa son las relaciones y no el objeto como tal, el sujeto es quien construye y da explicación de su realidad, por tanto se convierte en agente

indispensable, primordial y protagonista del acto educativo, dando nuevas tareas a la figura del maestro.

El *fenomenismo*, es entonces, otra forma de conocer y de relacionarse con el mundo, en donde la realidad es postulada o construida por el sujeto que conoce, de modo que el objeto de las ciencias se centra en la búsqueda de significados, y ante el planteamiento de problemas no se buscan causas sino el establecimiento de relaciones (Aguilar, 2002).

Según Weber, se debe pensar al hombre como un ser sostenido por entramados que el mismo crea, desde diferentes sistemas culturales, donde las ciencias son vistas, no como experimentales y de búsqueda, sino como de relación, interpretación y significación

Para esta investigación se asume la cosmovisión fenomenológica, por estar en consonancia con la forma en cómo se concibe la realidad y se interpretan las ciencias; donde los sujetos son constructores de los fenómenos y no se preocupan por establecer las causas últimas.

Para maestros en formación, es vital tener conocimiento de que lo que determina el “que” y el “cómo” enseñar es precisamente la imagen de ciencia (Aguilar, 2002)

A propósito de esto Rodríguez y Romero (1999) 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...*

#### **2.4. Enfoque sistémico de Guidoni**

El enfoque sistémico, es una forma de interpretación, una herramienta, no es un nuevo paradigma científico aunque se reconoce la importancia de este nuevo punto de vista. (Simon, 1969). Este enfoque es una herramienta conceptual que permite manejar

realidades complejas y que además es un reflejo de esas realidades, otra cosa es que se dispone de métodos genéricamente válidos para tratar con los sistemas. Para terminar este apartado podemos citar a Simon (1969), que resume muy bien el papel que juega el enfoque sistémico: "su popularidad es más la respuesta a una acuciante necesidad de sintetizar y analizar la complejidad que el desarrollo de un cuerpo de conocimientos y técnicas para tratar la complejidad."

#### ***2.4.1. Estrategias Generales***

De acuerdo con Guidoni (1990a) las estrategias para la reconstrucción racional de la realidad son la *distribución* y la *organización* según elementos, relaciones y estructuras, las cuales son complementarias y están entrelazadas una con la otra y son vistas como procedimientos organizadores del pensamiento. *Distribuir* y *organizar* son *las estrategias cognitivas generales*, pues estas pueden hallarse en numerosos esquemas cognitivos entrelazados, también muy flexibles, que se derivan de ellas y forman parte de diversos modos de observar y que se pueden identificar sus raíces en la cultura, explicitándose en las experiencias, lenguajes y competencias, tan alejadas entre sí que se hace imposible o al menos muy difícil, reconocerlos y reducirlos a una raíz común.

La estrategia de "separar" o "distribuir" los datos que constituyen la experiencia global en elementos específicos esquematizados, para luego "recomponerlos" o "organizarlos" según relaciones esquematizadas definidas entre elementos mismos, dando a origen a estructura de relaciones, a las cuales están asociados la mayor parte de los significados, constituye un proceso que está orientado, en todos sus niveles, por una continua y recíproca adaptación entre elementos, relaciones y estructuras esquematizadas que se organizan según un plano formal, y elementos, relaciones y estructuras esquematizadas que se evidencian en el plano real.

Poder distinguir y particularizar las relaciones dentro de un fenómeno hasta definir una estructura, es una característica de un modo de pensar que encuentra sus raíces más profundas en los procesos cognitivos (hablar, escribir, pensar) puestos en funcionamiento

en la vida diaria (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990a). Según Guidoni, sería imposible, en efecto para cada uno de nosotros sobrevivir en esta sociedad sin reconocer en las palabras sus significados más comunes: Los «*nombres*» son de hecho, símbolos para sistemas identificables; los «*atributos*» se refieren sustancialmente a variables de estado, usadas para definir, mediante su señalización y a través de sus reciprocas relaciones, los estados de un sistema; los «*verbos*» y «*adverbios*» son esencialmente símbolos de transformación y variables de transformación.

La *distribución* y la *organización*, para Guidoni, son estrategias básicas para conocer que buscan definir *elementos, relaciones y estructuras* y que es imposible que exista un elemento sin una relación ligada a él, es decir estas estrategias tienen como finalidad principal organizar el conocimiento.

Guidoni (1987) propone dos estrategias cognitivas para la enseñanza de la física, dos modos de mirar y de formalizar particularmente importantes: un modo de ver por espacios abstractos de sistemas y un modo de ver por espacios abstractos de variables (Guidoni, 1987). Son dos modos estrechamente correlacionados y que tiene sus raíces en *las estrategias cognitivas generales*; 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, integrales y diferenciales); pero son también dos modos bien distintos que obedecen a lógicas diferentes. Es importante entonces, lograr advertir y utilizar la compleja dinámica que implica ver por estos dos modos, según Guidoni, cuando se estudia por sistemas y por variables, lo que se busca es interpretar el cambio del sistema, mediante el análisis de las relaciones entre variables, para esto él propone cuatro grupos de estrategias para leer e interpretar estos cambios:

1. Estrategias de análisis diferenciales e integrales.
2. Estrategias de análisis por estado y transformación.
3. Estrategias de análisis por cambio global y cambio de variable.
4. Estrategias de análisis de causalidad y de relación.

Estas estrategias son propuestas, porque la falta de comprensión y comunicación entre los estudiantes en los procesos de enseñanza, nacen de mirar un mismo hecho, pero a

través de actitudes cognoscitivas que no encuentran recíproca correspondencia (Guidoni, 1987). Por ejemplo, poner atención a la transformación de un cuerpo sometido a altas temperaturas, o la confrontación entre el estado inicial y final, conduce a ver cosas muy diversas.

Además, para Guidoni (1987) cada estudiante, ante un fenómeno, tiende a privilegiar una estrategia particular para interpretarlo, o al menos para comenzar a interpretarlo: a menudo la rápida radicalización de una sola modalidad de acercamiento a los hechos, cierra la posibilidad de ver otros aspectos que probablemente llegarían a ser evidentes, pasando a estrategias diversas o complementarias.

#### ***2.4.2. Estrategias de Análisis***

Las estrategias de análisis propuestas por Guidoni (1987) en su teoría, tienen un papel protagonista dentro de esta investigación, debido a que estas permiten la clasificación e interpretación de los métodos utilizados para recoger la información de los informantes; sin confundir que estas fueron elaboradas exclusivamente por Guidoni para este fin particular. Estas categorías están incluidas en la literatura expuesta por Guidoni, (1987) y lo que se hará a continuación es una breve explicación de cada una de ellas, procurando ilustrarlas por medio de un ejemplo en relación con el concepto de esfuerzo abordado en la Física de los Medios Continuos.

Se debe tener presente que usualmente estas estrategias de análisis son usadas por pares y el uso de alguna no excluye el uso de ninguna otra, afrontar un fenómeno desde diferentes posturas y miradas trae consigo mayor comprensión de acuerdo con Elkana. Las estrategias pueden denominarse cognoscitivas, diversas y complementarias (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990a).

*Solamente reconocidas y usadas en su conjunto ellas permiten comprender y representar los procesos de cambios; como permiten de poner en evidencia*

*el ligamiento profundo que une las estructuras base del conocimiento común y aquellas del conocimiento formalizado o científico (Guidoni, 1987).*

A continuación se realiza una descripción de las diferentes estrategias de análisis propuestas por Guidoni.

***Estrategias de análisis diferenciales e integrales:*** Esta estrategia mira cambios diacrónicos, esto es, en un intervalo de tiempo y confrontarlos y enlazarlos con situaciones sincrónicas, esto es, que ocurren simultáneamente en el tiempo.

Para ilustrar esta estrategia se puede pensar en una viga de metal que esta empotrada en la pared de modo que queda en voladizo, a esta viga, se somete a un peso en su extremo no empotrado. Es claro que en la viga hay estado de estrés que podemos denominar esfuerzo, para pensar esta situación por medio de la estrategia de análisis diferencial e integral podemos usar una pareja de actitudes cognoscitivas complementarias, la primera consiste en mirar en todo el intervalo de tiempo los cambios que se presentan en la viga, y complementario a esto, hacer énfasis en el momento inicial y final en un determinado lapso de tiempo.

Es cognoscitivamente necesario por tanto poner ligámenes explícitos entre estos dos modos de mirar y describir el cambio; y de esta exigencia, que va más allá de toda posible evidencia perceptiva, se hacen cargo, a diversos niveles, los procesos de formalización (Guidoni, 1987).

***Estrategias de análisis por estado y transformación:*** Otra pareja de estrategias esta enfocándose en mirar y analizar alternativamente formas de permanencia y formas de cambio, destacando como se relacionan variables o invariables y caracterizando estados; en estas relaciones de variables, los análisis que se hacen no son de carácter causal.

Los estados son invariantes en el intervalo de tiempo, mientras que las transformaciones implican en su naturaleza un cambio en la delimitación temporal a estudiar.

Estas estrategias de análisis tienen algunas limitaciones, en una situación en determinado intervalo de tiempo, pueden presentarse estados, que luego sufrirán

transformaciones, por tanto el objetivo de lo que se quiere mirar debe ser claro y acorde con la estrategia. Las relaciones entre estados y el tiempo carecen de sentido.

Siguiendo con el ejemplo anterior se podrían identificar variables de estado como el modulo de Young de la barra de acero, el cual no cambia durante la situación, mientras que hay transformaciones en variables como en la curvatura de la barra, y en las dimensiones de esta misma, dependiendo de lo que uno quiera mirar en detalle, establece estas observaciones.

***Estrategias de análisis para cambio global y cambio variable:*** Una transformación puede ser analizada en términos de cambios en el tiempo de las variables que la caracterizan, como un estado puede ser analizado en términos de relaciones constantes entre las variables que lo caracterizan (Guidoni, 1987).

Mirar al cambio global o al cambio de las variables particulares, constituye el argumento de otra importante pareja de estrategias cognoscitivas. En efecto se puede reconocer, en fenómenos y procesos, un entrecruce de diversas variables que cambian o pueden cambiar en el tiempo; y sabemos también que ellas no varían siempre todas o todas al mismo tiempo, o todas del mismo modo. Pero luego, podemos mirar cada variable, aislada de las otras: sea en su cambiar global de un inicio a un fin, o sea en su cambiar momento por momento. Se puede pensar para ilustrar estas estrategias en una barra de metal que se somete a una llama y experimenta esfuerzo térmico, la barra al estar en contacto térmico con la llama, incrementa su energía globalmente, pero hay otras propiedades particulares que se modifican en el tiempo, como el color de la barra.

***Estrategias de causalidad y de relación:*** Este par de estrategias enfatizan en como el cambio en una variable se produce cuando otra cambia, mostrando la dependencia entre variables.

Para ilustrarlo, continúese pensando en el ejemplo presentado anteriormente, acotaciones de corte causal son, a mayor tiempo de exposición de la viga con la llama, mayor energía conseguirá esta, a mayor temperatura de la llama, mas roja se pondrá la viga. Es importante mencionar que los racionamientos de tipo causal, deben realizarse con sumo cuidado, ya que el uso reiterativo de estos conduce a razonamientos erróneos (Pozo, 2000).

### 2.4.3. *Cultura Común y las Culturas Especializadas*

La interpretación y la descripción de la realidad de los individuos y las sociedades, se encuentra guiada a través de su recorrido histórico por las experiencias, los lenguajes y los conocimientos (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990a). Las experiencias son el primer componente para que un individuo elabore sus objetos de estudio, los lenguajes permiten codificar estos objetos para diferenciarlos en elementos, relaciones y estructuras y con esto, constituir las estructuras conceptuales o los conocimientos. Se identifica entonces, que existe una red de conexión con una dinámica continua de enriquecimiento entre las experiencias, los lenguajes, los conocimientos y que ésta posibilita organizar la realidad en elementos, relaciones y estructuras.

La red de conexión existente entre cada uno de los elementos del conjunto en mención, es lo que Guidoni denomina «*cultura común*». Ésta es propia de cada sociedad y cada individuo está incluido en ella y la utiliza como marco referencial esencial para conocer su realidad, pues el individuo desde el momento de su nacimiento, se encuentra totalmente inmerso en una «*cultura común*» a la cual él debe adaptarse para sobrevivir. Así, la «*cultura común*» se constituye en un marco especial de referencia permanente, una base común de origen, un enlace de coherencia interna, un contexto de validación y orientación hacia un fin general. Lo que implica que resulte imposible construir y por tanto utilizar, cualquier «*cultura especializada*» sin tener presente la «*cultura común*». Dado que el cuerpo central de la cultura se refleja sobre las experiencias, lenguajes y conocimientos de cada individuo, estos se encuentran en constante cambio. Si un cambio se origina en algunas de estas dimensiones, este se refleja en la cultura. Así, podemos sintetizar que la producción de significados como función de la «*cultura común*» sólo se da, a través de la correspondencia recíproca y la interacción entre las dimensiones de la experiencia, el lenguaje y el conocimiento (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990a).

La relación entre las dimensiones de la experiencia y conocimiento (ELC) se da por medio del lenguaje, pues este proporciona el sistema de representaciones formales para las experiencias. Este proceso circular de estructuración y sectorización tiene sus orígenes más profundos en la actividad sistemática de producción de modelos que se desarrolla a través

de la continua comparación entre dos planos: «*Las cosas como son*» y «*Las cosas como las conocemos*». Entre estos dos planos, justamente, se desarrolla la mediación de los diferentes lenguajes formales de los que se dispone para codificar y representar los fenómenos. Ésta habilidad fundamental distingue los datos que continuamente nos llegan de la experiencia en bloques significativos que se encuentran en la «*cultura común*».

Sin embargo, la «*cultura común*» se desarrolla a partir de su núcleo más profundo, según un proceso de creciente sectorización, eligiendo progresivamente un conjunto coherente de hechos o contextos y representando tales contextos sobre estructuras formales; es decir, se desarrolla según un proceso de discretización o sectorización en el que se define un contexto y un fenómeno contenido en la «*cultura común*» y representando tal fenómeno mediante de estructuras formales mediante *las estrategias cognitivas generales*. La construcción de modelos, es una implicación de estas estrategias y esta construcción es lo que se denomina *reconstrucción racional de la realidad*. En síntesis, la «*cultura común*» constituye un sistema fundamental de referencia en y este se constituye para la enseñanza de la física, como un modelo estructurante de referencia que permite la constitución de culturas especializadas a través de la transformación de significados mediante una intervención educativa.

## **2.5. Matemización, Formalización y Recontextualización en la Enseñanza de la Física**

Los procesos de matemización, formalización y recontextualización, no están bien definidos y delimitados en la enseñanza de las ciencias, es así como Ayala (2008) advierte que en muchos casos se confunde a los procesos de formalización con la aplicación satisfactoria de formulas y algoritmos matemáticos para la resolución de problemas propuestos en los libros de texto; por tanto se hace necesario establecer criterios definidos en la utilización de estos procedimientos, su relación con las estrategias de análisis propuestas por Guidoni para estudiar la noción de esfuerzo en la Física de los Medios Continuos.

Gran parte de los problemas para identificar los procedimientos mencionados, radica en la interpretación y concepción que se tiene de los referentes matemáticos y físicos (Ayala M. M., 2008); este autor también señala que durante la historia se ha sostenido un debate acerca del soporte que puede dar la matemática a la física o la física a la matemática, fundamentada en una concepción de la matemática como el estudio de las formas abstractas y la física como la ciencia de lo concreto por excelencia ¿Cómo pueden estas disciplinas tan opuestas trabajar exitosamente en conjunto? El objetivo ahora no se centra en ahondar en esta problemática, en esta monografía se asume que la física y la matemática pueden compartir formas similares en cuanto se pueden considerar que son elaboraciones formales de lo externo, premisa que permite reducir las fronteras entre matematización, formalización y recontextualización de saberes; además no existe una única manera de concebir la materialización de la relación entre matemática y física, pues esta no es universal ni ahistórica, depende tanto de las estructuras de los sistemas matemáticos como de los conceptos y magnitudes físicas (Paty, 1991).

Los procesos de matematización suelen confundirse; matematizar un fenómeno físico no consiste en sobreponer un formalismo matemático al fenómeno físico, se requiere ante todo construir la posibilidad misma de matematizarlo, es decir, de construir las magnitudes, relaciones y procedimientos apropiados para representarlo y cuantificarlo (Romero, 2002). Desde esta postura, la matematización, no se limita al hecho de establecer cantidades y observables físicos y trasciende a la construcción de relaciones de plausibilidad matemática de un fenómeno.

Por otro lado la formalización de los fenómenos físicos es catalogada como uno de los procesos que más dificultades causan a los estudiantes de física, tanto en el ámbito de la educación media como en el de la educación superior (Ayala M. M., 2008), estos procesos de formalización están determinados por las maneras particulares de considerar la naturaleza del conocimiento matemático y del conocimiento físico y sus dinámicas, asunto que se abordó en los párrafos iniciales, donde es importante agregar que los análisis histórico epistemológicos de la física han contribuido a superar la relación de confrontación entre estas dos disciplinas.

Si asumimos la ciencia como una actividad humana históricamente construida desde una cosmovisión fenomenológica donde el sujeto es “creador” de sus realidades, se puede afirmar que nadie es poseedor ni tiene acceso al conocimiento “real”, el conocimiento aquí es metafórico; consecuente con esto Ayala (2008) afirma que formalizar es un proceso cognoscitivo a través del cual se da forma a los propios modos internos de reconocer y elaborar el mundo y a los aspectos externos según los cuales el acaecer del mundo puede ser reconocido. De modo similar Paolo Guidoni (1987) define la formalización como:

*“Formalizar quiere decir dar una forma definida y esquematizada a alguna cosa: significa ver alguna cosa, operar sobre alguna cosa, según las propiedades y las reglas de un entrecruce de formas que ya se conocen en cuanto tales, que se precisan y se organizan ulteriormente en el acto mismo de formalizar”*

Es importante recordar que la dinámica del conocimiento según Guidoni se da como un proceso dialéctico entre experiencia, lenguaje y conocimiento, de este modo la formalización puede ser considerada como un proceso natural del pensamiento o de todo proceso cognitivo en la medida en que el lenguaje común es en sí mismo un proceso de formalización donde cada sujeto construye sus modelos y representaciones de la realidad (Ayala M. M., 2008).

María Mercedes Ayala clasifica los procesos de formalización de la siguiente forma:

*Formalización de Carácter Pragmático:* Esta se da de manera inconsciente y se establece el lenguaje como herramienta organizadora, se genera en las prácticas cotidianas de comunicación, están relacionadas con mirar por clases y variables o por sistemas.

*Aplicación de las Matemáticas en el Análisis de los Fenómenos Físicos:* Aquí matematizar un fenómeno físico no consiste en sobreponer un formalismo matemático al fenómeno físico, se requiere ante todo construir la posibilidad misma de matematizarlo, es decir, de construir las magnitudes, relaciones y procedimientos apropiados para representarlo y cuantificarlo (Romero, 2002).

*Axiomatización de las Teorías Física y Unificación de Campos Fenoménicos:* Estos procesos de formalización se identifican por la unificación, jerarquización y redefinición de campos fenoménicos.

*Matematización de un Campo Fenoménico:* En estos procesos se da una “sustitución” de aspectos físicos por un reemplazante matemático.

Como conclusión preliminar formalizar es pues una parte esencial del proceso de construcción de conocimiento, caracterizado ante todo por la elaboración y uso de estrategias según las cuales los “diversos modos de mirar” son adaptados continuamente a aspectos de una realidad que a su vez organizada de acuerdo a estos modos de conocer (Ayala M. M., 2008; Guidoni, 1987). En cuanto a la recontextualización en una definición general de Berstein (1975) se establece como una actividad de producción de significados cuya intención es situar un conocimiento de manera significativa en un contexto diferente al que dicho conocimiento se originó, para estos procedimientos se pueden hacer uso de la matematización y formalización ya mencionada, donde cada uno de estos pueden ser catalogados en sí mismos como procedimientos de recontextualización de saberes.

La importancia de recontextualizar los saberes radica en que el conocimiento para existir socialmente, debe circular, debe ser apropiado en contextos culturales diversos (Granés J. , 1997), idea que va en consonancia con los presupuestos epistemológicos de Elkana al asumir la ciencia como un sistema cultural.

Los principios que presiden la recontextualización orientan la selección, la secuenciación de los contenidos y el ritmo de enseñanza (Berstein B. , 1984) en este sentido es menester precisar el cuidado al recontextualizar a partir de los libros tradicionales de texto, los cuales ya son producto de una recontextualización previa generalmente a partir de cosmovisiones realistas y concepciones de historia lineales; según Kunh es más conveniente hacer estos procedimientos de los textos originales o conocidos como de primera mano, por tal motivo se trabajan en esta monografía los textos de Feynman, Cauchy y Maxwell, con la intención de mostrar la génesis y procesos de la noción de esfuerzo desde diferentes autores.

### 3. CONCEPTO DE ESFUERZO

#### 3.1. El Concepto de Esfuerzo desde Cauchy, Maxwell y Feynman

De acuerdo con Ayala y otros (2001) para el esfuerzo se pueden distinguir dos clases de significados. Uno, en el que el esfuerzo es entendido como la causa de la actividad. El otro, referido al modo de estar que adquiere un cuerpo en su interior o un medio cuando actúan fuerzas externas. Por ejemplo para Feynman (1963) en *Lectures on Physics*, el esfuerzo es la fuerza interna entre partes contiguas del material. Y la cual se modifica si se aplica fuerzas externas sobre el material. Para ilustrar esto, Feynman considera un trozo de material elástico al que se le hace un corte. Si hacemos un corte – dice el autor- un corte en un medio elástico, el material a cada lado del corte, se desplazará debido a las fuerzas internas. Antes del corte –prosigue- debieron haber fuerzas entre las dos partes del bloque que las mantenía en su lugar; podemos medir los esfuerzos en términos de esas fuerzas.

En esta presentación acerca del esfuerzo, Feynman permite hacer una diferencia entre esfuerzo y fuerza, pues se ve el esfuerzo, como la expresión de las fuerzas internas entre las partes que había antes del corte.

Sin embargo Ayala, dice que el enfoque Feynman promueve una imagen de un medio que es activo, las partes se ejercen fuerzas entre sí, cuando se encuentra en un estado de equilibrio. Ayala propone modificar la definición de esfuerzo dada por Feynman, pues según ella no es posible probar que el estado en que se encuentra el cuerpo y que el efecto observado al cortar el material, sea debido realmente a fuerzas internas entre las partes del material.

Para Cauchy (1844) en *Physique Mathématique*, el esfuerzo es la interacción entre las partículas del medio, tales fuerzas son la resultante de un gran número de acciones atómicas o moleculares de muy corto alcance, que obran a escala microscópica cuando un cuerpo es sometido a las acciones externas, él afirma que estas fuerzas actúan por contacto

directo entre dos partes cualesquiera del cuerpo y que se pueden definir como fuerzas por unidad de área, además, si las partes en contacto se separan, las fuerzas, ejercidas cuando las partes que estaban unidas, desaparecen, es decir, no operan a distancia finita.

Por su parte Maxwell (1925), en *Matter and Motion* considera que el esfuerzo es la acción mutua entre dos partes de un cuerpo, para esto él dice;

*La acción mutua entre dos porciones de la materia recibe distintos nombres, según el aspecto en virtud del cual se estudia, y este aspecto depende de la extensión del material que constituye el sistema objeto de nuestra atención.*

*Si tenemos en cuenta todo el fenómeno de la acción entre las dos partes de la materia, lo llamamos esfuerzo. Este esfuerzo, según el modo en que actúa, puede describirse como atracción, repulsión, tensión, presión, tensión de cizalladura, torsión, etc.*

Además Maxwell en el artículo 55, establece que la tercera ley de Newton la acción reacción es equivalente al esfuerzo, pues él dice;

*Tan pronto como se ha formado para nosotros la idea de esfuerzo, como la tensión de una cuerda o la presión entre dos cuerpos y hayamos reconocido su aspecto dual, ya que afecta a las dos partes de la materia entre las que actúa, la tercera ley de movimiento se considera equivalente a la declaración de que la naturaleza de toda fuerza es el esfuerzo, y sólo existe entre dos partes de la materia, y sus efectos en estas partes de la materia (medidos por el momento generado en un tiempo) son iguales y opuestas.*

*El esfuerzo se mide numéricamente por la fuerza ejercida sobre cualquiera de las dos porciones de la materia. Se distingue como una tensión cuando la fuerza que actúa en cualquier parte es hacia la otra, y como una presión, cuando la fuerza que actúa en cualquier parte se dirige alejándose de la otra.*

En la cita anterior Maxwell destaca el carácter dual del esfuerzo, pues este concepto hace posible hablar de la igualdad y oposición de la acción y reacción y se considera al esfuerzo como la causa de toda fuerza.

En los trabajos presentados por Feynman, Cauchy y Maxwell acerca del concepto de esfuerzo, este es significado como una variable que caracteriza la condición instantánea local o *estado mecánico* de la masa de un cuerpo. La fuerza, al contrario, es asumida como una magnitud derivada, que *surge* en las interacciones precisamente debido a una diferencia de esfuerzos entre dos puntos contiguos de una masa.

Desde esta perspectiva el *esfuerzo* puede ser significado, entonces, como una *variable de estado* desde el enfoque sistémico de Guidoni, cuya variación se da, mediante la interacción mecánica de la masa con otros graves en consideración.

### 3.2. El esfuerzo desde la Perspectiva de Estados

Si se analiza el *esfuerzo* desde una perspectiva de *estados*, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones que se encuentran en la base de dicha perspectiva:

1. El estado debe ser definido con relación a una propiedad o cualidad, puesto que se refiere a la posibilidad de estar de modos diferentes respecto a estas, de las cuales no es posible privilegiar ninguno. En la próxima sección, se caracteriza, el esfuerzo como una variable que permite diferenciar estados o modos de *stress* de la materia sin privilegiar ninguno.
2. La idea de *estado* está ligada a la idea de permanencia, indiferencia y pasividad: para permanecer en un estado no se requiere acción alguna, ni estar en el puede ser causa de algún cambio; sólo el cambio de estado requiere una causa y produce efectos (Ayala M. M., 2003).

Cuando el *esfuerzo* es pensado como la diferencia en los modos de estar de los cuerpos, se define con relación a una característica o cualidad que se le puede asignar a estos, en el mismo sentido que se puede afirmar que un cuerpo está caliente o está de un

cierto color, cuando hablamos de estado térmico hablamos también de grados de calor (de estar más caliente o menos caliente), cuando hablamos de estar de un color gris pensamos simultáneamente que hay una gama de grises y dentro de esa gama ubicamos cuál es el gris que tiene el cuerpo en ese momento. De la misma manera es posible identificar con el esfuerzo “grados de stress” y pensar entonces en una diversidad de estados de stress en los que se puede encontrar un cuerpo. Significa, entonces, pensar en la operación que involucra dichos cambios y ubicar tal operación con relación al tiempo; por último, pensar en la continuidad del *stress* y en la posibilidad de su permanencia.

### **3.3. El Concepto de Esfuerzo como Variable de Estado.**

El presente análisis parte de dos términos que hacen referencia a aspectos diferentes aunque íntimamente relacionados: el stress y el esfuerzo. El término stress hace referencia a la cualidad o a la propiedad en cuestión o al tipo de fenómeno considerado, con él se califica el tipo de estado analizado y por lo tanto tiene sentido hablar de estado de stress. El término esfuerzo hace referencia a la variable que identifica los diferentes estados de stress, organizándolos uno detrás del otro, de acuerdo a la estructura de los números reales (Ayala M. M., 2003).

Desde la perspectiva de sistemas y variables, como dice Guidoni (1990), lo que se busca es identificar el cambio del sistema mediante el análisis de las relaciones entre variables. Dichos cambios se presentan, sólo cuando el sistema se encuentra en interacción con otro que se encuentra en un estado diferente, así, los subsistemas que componen el sistema principal entra en desequilibrio y se transforman al interior de éste.

Ahora bien, como se señaló en el párrafo anterior, es claro que cuando dos sistemas, están en un estado común no hay acción alguna; luego entre dos partes contiguas de un cuerpo que se encuentra en el mismo estado de stress, no habrá ninguna acción entre ellas; pero, si las partes se encuentran en estados diferentes de stress, habrá desequilibrio entre ellas que se evidenciará en cambios de estas partes, así, los esfuerzos se distribuirán como una función continuamente variable dentro del continuo del material del cuerpo o el medio.

Es decir, al existir un desequilibrio, cada parte sufrirá un cambio en su estado de stress en un cierto tiempo y por lo tanto la magnitud de las fuerzas mutuas entre las partes son los indicios de esta diferencia de estados.

Según Cauchy (1844), tales fuerzas son la resultante de un gran número de acciones atómicas o moleculares de muy corto alcance, que obran a escala microscópica cuando un cuerpo es sometido a las acciones externas. Por lo tanto, se puede afirmar que estas fuerzas actúan por contacto directo entre dos partes cualesquiera del cuerpo y que se pueden definir como fuerzas por unidad de área. Si las partes en contacto se separan, las fuerzas, ejercidas cuando las partes estaban unidas, desaparecen, es decir, no operan a distancia finita.

Es decir, estas fuerzas se aplican y distribuyen sobre la superficie que separa las partes; la densidad superficial de las mismas habla de la diferencia de estados de stress a cada lado y en cada punto de dicha superficie, por lo tanto se puede establecer una relación de proporcionalidad entre la diferencia de estados y la densidad de fuerza, lo que permite decir que la magnitud del esfuerzo sobre la superficie en cuestión es proporcional a la densidad superficial de fuerzas (Ayala M. M., 2003).

De la consideración anterior, queda claro que el esfuerzo depende de la dirección de la fuerza y de la orientación de la superficie que limita y define las partes, también es importante señalar que en ambos lados de la superficie se ejercen fuerzas iguales y opuestas, distribuidas en toda la superficie.

Dado que las fuerzas que actúan sobre la superficie pueden ejercerse en direcciones diferentes, para la definición del esfuerzo, no basta sólo con su magnitud, es importante determinar además sus direcciones, así, las fuerzas superficiales pueden ser normales al elemento de área en cuyo caso se denomina al esfuerzo, presión o tensión; pueden ser tangenciales y se le llaman entonces esfuerzo cortante o puede actuar formando un ángulo diferente de 0 o 90 grados.

Para definir estas fuerzas, Cauchy, Maxwell y Feynman introducen la noción de corte dentro del medio continuo, con ello se entiende una pequeña área orientada,  $\Delta\vec{S} = \Delta S \vec{n}$ , que pasa por un punto  $P$  cualquiera del cuerpo, indicado por el vector  $\vec{x}$ , y con un normal  $\vec{n}$  que tiene una norma  $|\vec{n}| = 1$ . Esto permite distinguir una cara positiva, como el

lado que mira en la dirección de  $\vec{n}$  y una cara negativa, como el lado que yace en dirección opuesta de  $\vec{n}$ . Es de aclarar que la definición de estas caras es solo una convención.

Un corte es un elemento geométrico ideal, que se puede imaginar a voluntad, ubicado en cualquier parte del medio continuo, con una orientación completamente arbitraria, además por un punto  $P$  pasan infinitos cortes, no sólo porque sus áreas pueden ser más o menos extendidas, sino porque hay igualdad de superficies  $\Delta S$ , con una infinidad de orientaciones de  $\vec{n}$ .

Lo anterior permite referirse a la fuerza de contacto que actúa a través de un corte, es decir, la fuerza debido a la diferencia de estados de stress entre capas inmediatamente adyacentes a la superficie de corte. Es claro que la materia alejada del corte no “siente” la acción de esas fuerzas, así, el material que está del lado positivo del corte ejerce una fuerza  $\overrightarrow{\Delta f_{(n)}}$  sobre la materia que está del lado negativo. El lector puede notar que esta fuerza depende del tamaño del área, la posición dentro del medio continuo, el tiempo y la orientación del corte.

$$\overrightarrow{\Delta f_{(n)}} = \Delta \vec{f}(\vec{x}, t, \vec{n}).$$

Hay que destacar que la fuerza  $\overrightarrow{\Delta f_{(n)}}$  la ejerce la materia que se apoya sobre la cara positiva, la que recibe la acción es la que toca la cara negativa del corte. Ahora bien, si se considera un segundo corte orientado exactamente a 180 grados del primero, es decir, cuya normal es  $\vec{n}_0 = -\vec{n}$  entonces  $\overrightarrow{\Delta f_{(n_0)}} = \overrightarrow{\Delta f_{(-n)}}$  es la fuerza que ejerce la materia que está al lado negativo sobre la materia ubicada en el lado positivo del primer corte.

Maxwell (1925) señala que, el esfuerzo o la diferencia de estados de stress, afecta a las dos partes de la materia, entre las que actúa y sólo existe cuando estas están en contacto, y sus efectos en estas partes de la materia son iguales y opuestos. Por lo tanto, dado que la interacción de la primera configuración ha intercambiado sus papeles en el segundo corte y como en la mecánica, las fuerzas, de cualquier índole, satisfacen el principio de acción y reacción, se debe cumplir que:

$$\overrightarrow{\Delta f_{(-n)}} = -\overrightarrow{\Delta f_{(n)}}.$$

Es decir, la fuerza que actúa sobre la materia en contacto con el lado negativo debe ser igual y contraria a la fuerza que recibe la materia ubicada en el lado positivo de la superficie.

A continuación, se presenta la manera como Cauchy (1844) generalizó la noción sobre de la naturaleza de la fuerza  $\Delta \vec{f}_{(n)}$  para un material cualquiera, sólido deformable o fluido. El procedimiento que siguió Cauchy, fue definir un corte arbitrario  $\Delta \vec{S} = \Delta S \vec{n}$ . Para él, las partículas atómicas  $\alpha$  adyacentes a la superficie de separación del lado positivo del corte, ejercen fuerzas de tipo binario  $\vec{F}_{(n)}^{(\alpha\beta)}$  sobre las partículas atómicas  $\beta$  que están sobre el lado negativo del corte. La fuerza  $\vec{F}_{(n)}^{(\alpha\beta)}$  representa la interacción entre dos partículas  $\alpha$  y  $\beta$  y  $\alpha \neq \beta$  por estar en lados diferentes del corte. Así, la fuerza asociada al corte,  $\Delta \vec{f}_{(n)}$ , es la resultante de todas estas interacciones

$$\Delta \vec{f}_{(n)} = \sum_{\alpha} \sum_{\beta} \vec{F}_{(n)}^{(\alpha\beta)}.$$

Teniendo presente que la densidad de fuerza por unidad de área  $\vec{\sigma}_{(n)}(\vec{x}, t)$ , que actúa sobre la materia del lado negativo del corte es  $\Delta \vec{f}_{(n)}/\Delta S$  y teniendo en cuenta la hipótesis que introduce Cauchy acerca de que en todo punto  $P$  del medio continuo, en todo tiempo y para cualquier orientación  $\vec{n}$ , existe y es finito el límite.

$$\vec{\sigma}_{(n)}(\vec{x}, t) = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{f}_{(n)}}{\Delta S} = \frac{d\vec{f}_n}{dS}.$$

Este límite se realiza mediante una sucesión de cortes que pasan por  $P$ , con áreas cada vez más pequeñas y manteniendo fija la orientación  $\vec{n}$ . Esta densidad local  $d\vec{f}_n/dS$  habla de las diferencias entre estados de stress a cada lado y en cada punto de dicha superficie y da cuenta de la relación de proporción entre esfuerzo y la densidad superficial de fuerzas, es decir, que la fuerza por unidad de área  $\vec{\sigma}_{(n)}(\vec{x}, t)$  es denominada esfuerzo. Así, la fuerza asociada con un diferencial de área  $dS$  es

$$d\vec{f}_n = \vec{\sigma}_{(n)} dS,$$

y depende de la orientación del corte;  $d\vec{f}_n$ , actúa sobre el material ubicado en el lado opuesto a la normal. Teniendo en cuenta las siguientes observaciones:

1. El esfuerzo  $\overrightarrow{\sigma}_{(n)}$  se caracteriza como un vector, pero no como un campo vectorial, por que en cada punto  $\vec{x}$  se asigna una infinidad de vectores, uno por cada dirección  $\vec{n}$  del espacio.
2. Es válido aquí, escribir  $\overrightarrow{\sigma}_{(n)} = -\overrightarrow{\sigma}_{(-n)}$  en virtud del principio de acción y reacción que deben cumplir cada una de las interacción binarias  $\vec{F}_{(n)}^{(\alpha\beta)} = -\vec{F}_{(-n)}^{(\alpha\beta)}$  mencionadas.
3. Si calculamos el producto escalar  $\overrightarrow{\sigma}_{(n)} \cdot \vec{n}$  se obtiene

$$\overrightarrow{\sigma}_{(n)} \cdot \vec{n} = \sigma_{nn} = \sigma_{\perp} = \sum_i \sigma_{(n)i} n_i$$

La magnitud del esfuerzo  $\overrightarrow{\sigma}_{(n)}$  en la dirección de la normal  $\vec{n}$ . Cuando  $\sigma_{\perp} > 0$  se dice que hay un esfuerzo de tracción o tensión y cuando  $\sigma_{\perp} < 0$  se dice que hay un esfuerzo de presión.

4. Por otro lado la diferencia  $\overrightarrow{\sigma}_{\parallel} = \overrightarrow{\sigma}_{(n)} - \sigma_{\perp} \vec{n}$ , es la parte del esfuerzo perpendicular a la normal y por lo tanto es un vector que yace en el plano de corte. Este se denomina, esfuerzo de corte o de cizalladura. Resumiendo, en general el esfuerzo se puede escribir como

$$\overrightarrow{\sigma}_{(n)} = \overrightarrow{\sigma}_{\parallel} + \sigma_{\perp} \vec{n}.$$

Para continuar con la caracterización de la diferencia de estados de stress, necesitamos un método para cuantificar el esfuerzo  $\overrightarrow{\sigma}_{(n)}$ , pues, como hemos visto hasta el momento, en el análisis realizado, no se ha hecho uso de ningún sistema de referencia, lo cual caracteriza el esfuerzo como un tensor, por ser independiente de los sistemas de referencia. Además, esto caracteriza a los estados de stress, como un estado independiente a los sistemas de referencia, sin embargo, hay que hacer uso de ellos para cuantificar el esfuerzo.

Para ello, si consideremos un sistema de coordenadas cartesianas,  $(x, y, z)$ , en el espacio euclidiano ordinario de tres dimensiones, con una base ortonormal,  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  y un punto  $P$ . El lector podrá notar que en la infinidad de cortes que pasan por el punto  $P$ , se

pueden escoger tres cortes, en los cuales la normal  $\vec{n}$  es paralela a  $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$  respectivamente y así, cada vector normal  $\vec{n}$  puede ser asociado a algunos de los vectores  $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ . Por lo tanto, para cada punto  $P$  del medio continuo queda definida una terna de esfuerzos  $(\vec{\sigma}_{(x)}, \vec{\sigma}_{(y)}, \vec{\sigma}_{(z)})$  que se denominan esfuerzos principales y que están asociados al sistema de ejes adoptado.

Es importante aclarar que cada esfuerzo  $\vec{\sigma}_{(x)}, \vec{\sigma}_{(y)}, \vec{\sigma}_{(z)}$  no es necesariamente paralelo a algún vector  $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$  y por lo tanto cada esfuerzo principal tiene tres componentes cartesianas; así:

$$\vec{\sigma}_{(x)} = \sigma_{xx} \vec{x} + \sigma_{xy} \vec{y} + \sigma_{xz} \vec{z} = (\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}),$$

$$\vec{\sigma}_{(y)} = \sigma_{yx} \vec{x} + \sigma_{yy} \vec{y} + \sigma_{yz} \vec{z} = (\sigma_{yx}, \sigma_{yy}, \sigma_{yz}),$$

$$\vec{\sigma}_{(z)} = \sigma_{zx} \vec{x} + \sigma_{zy} \vec{y} + \sigma_{zz} \vec{z} = (\sigma_{zx}, \sigma_{zy}, \sigma_{zz}).$$

Por lo tanto, la terna de esfuerzos principales  $(\vec{\sigma}_{(x)}, \vec{\sigma}_{(y)}, \vec{\sigma}_{(z)})$  define una matriz de esfuerzos;  $\sigma$ , con nueve componentes,

$$\sigma = (\vec{\sigma}_{(x)}, \vec{\sigma}_{(y)}, \vec{\sigma}_{(z)}) = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

En la notación  $\sigma_{ik}$ , el primer índice representa el esfuerzo principal, el segundo índice corresponde a la componente de ese esfuerzo. Así, el primer índice está asociado a la orientación del corte y el segundo al carácter vectorial del esfuerzo. Las componentes diagonales  $\sigma_{ii}$  corresponden a presiones o tracciones según el signo en cada caso, mientras que todas las componentes no diagonales  $\sigma_{ik}$  con  $i \neq k$  representan esfuerzos de corte o cizalladura. La matriz  $\sigma$  es denominada tensor de esfuerzos y es quien permite caracterizar la diferencia de estados.

Finalmente, esto nos ofrece un procedimiento para calcular el esfuerzo o diferencia de estados de stress de dos partes de materia separadas por una superficie plana, pues si consideremos una superficie plana finita  $S$  en el espacio definido por  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  y un vector normal  $\vec{n}$  y  $\vec{f}$  la fuerza debido a la interacción entre las dos partes y teniendo en cuenta las

componentes rectangulares de  $\vec{f}$  y  $\vec{n}$  con referencia al sistema coordenado  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  se encuentra las siguientes relaciones

$$f_x = \sigma_{xx} n_x S + \sigma_{xy} n_y S + \sigma_{xz} n_z S = \overline{\sigma_{(x)}} \cdot \vec{n} S,$$

$$f_y = \sigma_{yx} n_x S + \sigma_{yy} n_y S + \sigma_{yz} n_z S = \overline{\sigma_{(y)}} \cdot \vec{n} S,$$

$$f_z = \sigma_{zx} n_x S + \sigma_{zy} n_y S + \sigma_{zz} n_z S = \overline{\sigma_{(z)}} \cdot \vec{n} S.$$

Y por tanto se puede establecer la siguiente relación,

$$\vec{f} = \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_x S \\ n_y S \\ n_z S \end{pmatrix}$$

que también se puede escribir de una forma reducida como

$$\vec{f} = \sigma \cdot \vec{n} S = \sigma \cdot \vec{S},$$

forma usual como se presenta en los libros de texto, aunque desconociendo la naturaleza tensorial de  $\sigma$  y conduciendo a la idea de que el esfuerzo es un escalar.

Finalmente, tras analizar el concepto de *esfuerzo* desde la perspectiva de sistemas y variables, este lo podemos caracterizar como una variable de estado, dado que el esfuerzo permite establecer la diferencia de estados entre dos partes contiguas de materia, es claro además que mientras no se presente una acción externa al sistema en el cual se está analizando el esfuerzo, este permanecerá invariable y tales rasgos característicos tienen dos importantes implicaciones para el concepto de estado de stress: una, un cuerpo o sistema no puede cambiar su estado de stress por sí mismo, y dos, no es posible que un cuerpo cambie su estado de stress sin que al menos haya otro que lo haga.

## **4. MARCO METODOLÓGICO**

### **4.1. Caracterización de la Investigación**

La metodología de la presente investigación, se fundamenta en la investigación cualitativa con estudio de caso intrínseco.

De acuerdo con Stake (1998) la investigación cualitativa, permite analizar la experiencia humana, estudiando las actividades, relaciones, asuntos, medios, materiales o instrumentos en un determinado contexto. Se sabe que los problemas en donde se incluyen personas, pocas veces tienen una causa sencilla y no basta con la simple explicación, sino que se hace necesaria la comprensión y esta trasciende a la explicación en la medida en que le ofrece al lector la posibilidad de sentir lo que la experiencia misma transmite. Por lo tanto, este tipo de investigación exige de la constante observación, análisis e interpretación de los hechos.

Stake (1990) dice que, un niño, un profesor, la escuela, un grupo de niños, los profesores de determinado colegio o las escuelas de una determinada zona son casos. Además, un caso puede ser intrínseco, es decir, cuando no se necesita conocer el caso, para aprender sobre un problema en general, sino porque se aprende sobre el caso en sí mismo. En este tipo de casos, el objeto de estudio, es el caso mismo. El caso también puede ser instrumental, cuando el estudio del caso nos permite comprender otra cosa más general, es decir, el objetivo no es comprender el caso en sí.

Esta investigación es clasificada como un estudio de caso intrínseco, pues esta tiene la posibilidad tener en cuenta el contexto, no permite las generalizaciones sino que su objetivo es conocer a fondo el problema para poder mirar en que contextos y bajo qué circunstancias el estudio es transferible. Es decir, el caso interesa en si mismo tanto por lo que tiene de único, como por lo que tiene de diferente, más que un proceso es un objeto que cuenta con toda la especificidad y complejidad necesarias como para ser interesante (Stake, 1998).

Por lo tanto esta investigación es cualitativa con estudio de caso intrínseco ya que el estudio que se adelantó con un grupo de estudiantes en cuanto a la forma como utilizan diferentes estrategias de análisis para comprender el concepto de esfuerzo.

#### ***4.1.1. Características Definitorias del Estudio Cualitativo***

Según Stake (1990) una investigación cualitativa presenta las siguientes características:

1. Es holístico: La contextualidad está definida, está orientado al caso, se evita el reduccionismo y el elementalismo, es relativamente no comparativo y busca comprender su objeto más que comprender en qué se diferencia de otros.
2. Es empírico: Está orientado al campo de observación; la atención se centra en lo que se observa, incluidas las observaciones hechas por los informadores; es todo lo posible por ser naturalista, no intervencionista; y no hay una relativa preferencia lingüística en las descripciones, con cierto desdén por las grandes expresiones.
3. Es interpretativo: Los investigadores confían más en la intuición, con muchos criterios importantes sin especificar; los observados de campo tratan de mantener despierta la atención para reconocer los acontecimientos relevantes para el problema y sintoniza con la idea de que la investigación es una interacción de investigador y el sujeto.
4. Es empático: Atiende a la intencionalidad del autor; busca los esquemas de referencia del actor, sus valores; aunque planificando, el diseño atiende a nuevas realidades, responde a nuevas situaciones y los informes sirven de experiencia indirecta.

#### ***4.1.2. Proceso de Investigación***

Aunque el proceso investigativo no difiere de muchos otros tipos de investigación, hay algunas particularidades que debemos considerar: (Fraenkel y Wallen, 1996)

*Identificación del problema a investigar:* El proceso no está estricto a unas variables específicas, el mismo problema o asunto se reformula a medida que se lleva la investigación en sus inicios.

*Identificación de los participantes:* generalmente es una selección de participantes, no aleatoria, ya que el investigador procura por participantes que concierne más a los propósitos específicos de la investigación.

*La formulación de hipótesis:* contrario a los estudios cuantitativos, las hipótesis no se formulan al inicio de la investigación, sino más bien que surgen a medida que se lleva a cabo la investigación. Las mismas pueden ser modificadas, o surgen nuevas o descartadas en el proceso.

*La colección de los datos:* no se someten a análisis estadísticos o que los mismos se manipulen como en los estudios experimentales. Los datos no se recogen al final al administrar instrumentos, sino que se van recogiendo durante el proceso que es continuo durante toda la investigación.

*El análisis de los datos:* es uno, mayormente de síntesis e integración de la información que se obtiene de diverso instrumentos y medios de observación. Prepondera más un análisis descriptivo coherente que pretende lograr una interpretación minuciosa y detallada del asunto o problema de investigación.

*Conclusiones:* se derivan o se infieren continuamente durante el proceso. Contrario a los estudios de índole cuantitativas que resultan al final de la investigación, en el estudio cualitativo se reformulan a medida que se vaya interpretando los datos.

## 4.2. Fases de la Investigación

### 4.2.1. Fase 1

La primera etapa de la investigación se realizó de manera no participativa, en el espacio de conceptualización: Física de los Medios Continuos, en esta se realizaron observaciones y algunas entrevistas, estas se analizaron y registraron en el diario pedagógico.

Las observaciones permitieron identificar razonamientos causales, en las argumentaciones de los estudiantes (maestros en formación para este caso particular), ya que estos, en sus intervenciones usualmente establecen relaciones, buscando causas que generen cambios en un fenómeno particular, cambios que podrían llamarse efectos. Como caso particular, en el análisis del concepto de esfuerzo, son constantes las intervenciones en las cuales se hace mención de algunos aspectos como: si aumenta la fuerza, aumenta el esfuerzo; si disminuye el área, entonces se incrementa el esfuerzo. Estos juicios de valor motivaron en inicio, la génesis del problema de investigación, ya que, aunque estas afirmaciones son validas en ciertas condiciones, el uso secuencial de estos razonamientos puede conducir a conclusiones erróneas.

Se realizó una búsqueda en bases de datos, como Dialnet, Arxive, libros, revistas, artículos y demás referentes; teniendo en cuenta aspectos disciplinares, epistemológicos, históricos, didácticos y metodológicos; estos permitieron delimitar el problema.

#### 4.2.1.1. *Descripción del Contexto*

La presente investigación se efectuó en la Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, en el programa académico de Licenciatura en Matemáticas y Física, esta se encuentra ubicada en la ciudad de Medellín. Se realizó con un grupo de estudiantes del espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos.

La Universidad de Antioquia es una Institución estatal del orden departamental, que desarrolla el servicio público de la Educación Superior, creada por la Ley LXXI del 4 de diciembre de 1878 del Estado Soberano de Antioquia, organizada como un ente Universitario Autónomo con régimen especial, vinculada al Ministerio de Educación Nacional en lo atinente a las políticas y a la planeación del sector educativo y al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.<sup>3</sup>

Goza de personería jurídica, autonomía académica, administrativa, financiera y presupuestal, y gobierno, rentas y patrimonio propios e independientes; se rige por la Constitución Política, la Ley 30 de 1992, las demás disposiciones que le sean aplicables de acuerdo con su régimen especial, y las normas internas dictadas en ejercicio de su autonomía.

En razón de su carácter transformador la Universidad de Antioquia influye en todos los sectores sociales mediante actividades de investigación, de docencia y de extensión. La investigación y la docencia constituyen los ejes de la vida académica de la Universidad y ambas se

#### Investigación:

La investigación, fuente del saber, generadora y soporte del ejercicio docente, es parte del currículo. Tiene como finalidad la generación y comprobación de conocimientos, orientados al desarrollo de la ciencia, de los saberes y de la técnica, y la producción y adaptación de tecnología, para la búsqueda de soluciones a los problemas de la región y del país.

#### Docencia:

La docencia, fundamentada en la investigación, permite formar a los estudiantes en los campos disciplinarios y profesionales de su elección, mediante el desarrollo de programas curriculares y el uso de métodos pedagógicos que faciliten el logro de los fines éticos y académicos de la Universidad. Por su carácter difusivo y formativo la docencia

---

<sup>3</sup> Información tomada de [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co) el día 10 de Agosto de 2009

tiene una función social que determina para el profesor responsabilidades científicas y morales frente a sus estudiantes, a la Institución y a la sociedad.

La Facultad de Educación, es una dependencia básica y fundamental de la estructura académica y administrativa de la Universidad de Antioquia, y en tal sentido tiene como *misión* la misma que ha sido definida por su organismo rector, tiene como quehacer fundamental la investigación, producción y aplicación de conocimiento pedagógico para el desarrollo de la educación, la enseñanza, el aprendizaje y la formación en la sociedad contemporánea.

Proyectarse hacia el futuro como una organización académica, investigativa, productiva, flexible y pertinente al medio regional y nacional, concentrando todos sus recursos, esfuerzos e inteligencia en el desarrollo de:

Nuevos conocimientos pedagógicos y didácticos en grupos de investigación pedagógica, teórica y experimental, a los que debe pertenecer cada profesor de la Facultad, según su especialidad.

Nuevos modelos de enseñanza y de formación de maestros para los distintos niveles de la educación, incorporando las nuevas tecnologías como la informática y la telemática. La Facultad debe ser un centro de "demostración" de los nuevos modelos de enseñanza y de formación de maestros.

Nuevos materiales didácticos en el formato convencional de libro, en formato electrónico y multimedia, con tal calidad que podamos competir a nivel internacional, orientándonos hacia la formación de nuevos maestros.

La producción académica será colectiva, en equipos de trabajo interdisciplinarios y aprovechando las fortalezas de los académicos de otras facultades y universidades (interdisciplinaria e interinstitucional).

La Facultad tiene como propósito adelantar la consolidación de una comunidad académica que oriente sus acciones de investigación, reflexión, producción y aplicación hacia el desarrollo del campo teórico y la práctica de la pedagogía, entendida ésta como

espacio de saber propio y autónomo, en proceso de construcción y reconstrucción continua e incesante.

Fundar su reflexión sobre la enseñanza, en las interrelaciones ciencias-epistemología-pedagogía y su concreción en didácticas específicas, con el propósito de consolidar la cualificación de las prácticas pedagógicas.

En síntesis, para la Facultad de Educación el propósito es formar un excelente maestro, equivalente a lograr un hombre culto, íntegro, pluralista, flexible, sensible, crítico, responsable, transformador del medio, tolerante y con pasión por el saber y la enseñanza.

#### **4.2.1.2. *Diario Pedagógico***

La construcción del diario pedagógico, se realizó con los parámetros establecidos por (Porlan, 2004). Se registraron observaciones de las clases en el espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos, resaltando aspectos como el ambiente de clase, la disposición de los estudiantes, factores propios de la disciplina y comentarios de las intervenciones realizadas por los informantes durante los conversatorios de los talleres conceptuales introductorios. Se establecieron preguntas en cuanto a la física y el contexto de aprendizaje que fueran potencializadoras de la investigación.

Por ejemplo algunas observaciones que dan cuenta del ambiente de clase y desarrollo de la mismas son:

*Se “pierden” unos 15 minutos o más pues el docente escribe las preguntas en el tablero, podría ser más práctico entregar una copia por grupo. A pesar del murmullo y cambio de orden en las sillas, se ve claramente un ambiente de trabajo por parte de los estudiantes; se proponen 30 minutos para la discusión del taller.*

El investigador, en el diario pedagógico, también se interroga permanentemente y realiza acotaciones que él considera pertinentes para el desarrollo de la investigación:

(...) *¿Cómo se analizarían estos interrogantes (Ver Anexo 3. Talleres Introdutorios) a partir de la teoría de sistemas, qué elementos conforman el sistema, que relaciones se establecen entre ellos, cuales serian las ecuaciones y variables de estado? En cuanto a estos interrogantes presento algunas acotaciones:*

*El esfuerzo seria la variable de estado para analizar esta temática, mirada por sistemas, es menester mencionar que el esfuerzo se genera a través de interacciones o fuerzas ejercidas.*

En esta observación, el investigador ya tenía conocimiento de la teoría de sistemas, debido que de forma paralela se estaba realizando un estado del arte con respecto las problemáticas identificadas en las clases y que facilitó el surgimiento del problema de investigación, para ir reformulando esa pregunta con base en lo establecido en la metodología investigativa.

Es claro, según el ejemplo anterior, que en el diario se consignan aspectos que dan cuenta de factores descriptivos tanto del comportamiento de los informantes, como de aspectos físicos, donde el investigador se cuestiona constantemente y plantea posibles soluciones. En este caso se analiza el fenómeno de la deformación como introducción hacia la noción de esfuerzo, si bien, las relaciones de proporcionalidad son pertinentes, se realizan desde una postura realista mecanicista. Observación importante para la identificación de problemas y génesis de la pregunta de investigación, para lo cual se procedió a la búsqueda de antecedentes de investigaciones realizadas en cuanto a la teoría de sistemas.

Para tener información más detallada del manejo del diario pedagógico y los talleres conceptuales introductorios mírense los anexos 1 y 3.

### **4.2.1.3. Génesis de la Pregunta**

Durante las indagaciones en el espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos se observó que los maestros en formación explican los fenómenos físicos con argumentaciones usualmente causales, como ya se describió en la sección 4.2.1.3. Lo que llevó a buscar otras vías de análisis para el estudio de los fenómenos. Luego de esta identificación se buscó documentación en revistas científicas para indagar que investigaciones se habían realizado en cuanto a las dificultades identificadas en el registro realizado en el diario pedagógico y se concluyó que en efecto, este indicativo es una problemática en la enseñanza de las ciencias como lo afirma Pozo y Guidoni.

Con la identificación de este problema, se buscó una estrategia que permitiera mejorar las condiciones del contexto educativo y ampliara las posibilidades de análisis de un fenómeno físico. Es de esta forma, como la teoría de sistemas surge como tentativa para brindar una diversidad de enfoques; de manera particular, la recontextualización que hace Guidoni de la teoría de sistemas en contextos educativos, aun desde la didáctica, emerge como una posibilidad al establecer diferentes estrategias de análisis de un fenómeno físico. A continuación se estableció la metodología de investigación cualitativa, con estudio de caso intrínseco.

Fue así, como se llegó a la pregunta: ¿Qué incidencia tiene la aplicación del enfoque sistémico de Guidoni en los maestros en formación, en el reconocimiento y diferenciación de las perspectivas con las que se describen y explican los fenómenos, al conceptualizar la noción de esfuerzo, a través de las estrategias de análisis?

### **4.2.2. Fase 2**

Para esta etapa, los investigadores se desempeñaron como profesores del espacio de conceptualización, con el apoyo de un maestro acompañante, quien se encargaba de revisar

el diseño y la implementación de este en el aula; en esta fase se continua la construcción del marco teórico.

Se consideró, que la intervención didáctica desde la teoría de sistemas en el espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos, permite orientar a los estudiantes de manera consciente<sup>4</sup>, sobre diversas estrategias cognoscitivas, enfocando en cada una de las sesiones de clase, la atención en aspectos de los conceptos más relevantes de éste espacio de conceptualización, buscando entender las potencialidades y los límites de cada estrategia de interpretación, resaltando, en primer lugar, mediante el lenguaje, las diversas fases y las diversas dinámicas de los eventos. En efecto, es inicialmente a través de hablar y describir en conexión con lo que sucede, que se pone en evidencia, las variadas y complejas situaciones de la realidad de los fenómenos, los aspectos de sucesión en el tiempo, de consecuencialidad causal, de contemporaneidad, de correlación entre variables y entre cambios (Guidoni, Arca, & Mazzoli, 1990b)

Es decir, la primera intervención educativa en el espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos, se orientó buscando un proceso continuo, promoviendo en los estudiantes explicaciones sistemáticas que parten de una valoración de sus experiencias, los lenguajes y los conocimientos ya existentes y de la comparación con las estructuras de base de la «*cultura común*» y las experiencias, los lenguajes y conocimientos de la «*cultura especializada*» de la física, tratando de orientar a quien aprende, al reconocimiento y diferenciación de las transformaciones, de los desarrollos de los criterios de explicación y también de sus invariabilidades a lo largo del proceso de formalización de los conceptos físicos.

En esta, se elaboraron algunos métodos, los cuales se presentan más adelante, describiendo la finalidad con la cual se diseñaron. Aunque la elaboración de estos métodos, fue un proceso importante dentro de la investigación, los esfuerzos se centraron en las descripciones, clasificaciones e interpretaciones bajo el grupo de las cuatro estrategias de análisis de Guidoni (1990).

---

<sup>4</sup> Aquí, la palabra “consciente” hace referencia a la posición intencionada del docente, en este caso, del diseño de clases desde la teoría de sistemas de Guidoni.

#### **4.2.2.1. Descripción de los Informantes**

Durante esta fase, seleccionaron cuatro informantes que participaron en la presente investigación cualitativa de estudio de caso, matriculados en el espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos en el semestre académico 2008 - 2, son estudiantes entre los 19 y 21 años que pertenecen a un contexto socio - económico medio y medio - bajo; éstos informantes se seleccionaron por su interés frente al área y por su disposición (tanto de aptitud como de actitud) para colaborar con la presente investigación; estos se presentaron voluntariamente, dejando claro su deseo por aprender de la disciplina.

#### **4.2.2.2. Diseño de actividades conceptuales**

Los métodos construidos se pueden dividir en: Actividad de indagación para determinar la estrategia de análisis que los estudiantes privilegian. Dos actividades de conceptualización y los diseños de clases.

- Actividad de indagación.

Esta actividad de indagación se aplicó a los cuatro informantes, con el objetivo de indagar e interpretar su noción del concepto de esfuerzo y cuáles son sus estrategias de análisis, fijando la atención en la coherencia de sus respuestas.

- Actividades de conceptualización

Las actividades de conceptualización se centraron en el diseño de actividades experimentales, con el objetivo de potencializar la implementación de diversas estrategias de análisis, buscando que los estudiantes diseñaran métodos para resolver las diferentes situaciones planteadas. En cada una de las actividades se presentó el concepto de esfuerzo en relación con diferentes fenómenos, teniendo presente que estas actividades no son para verificar teorías, si no para posibilitar las reflexiones entre lo práctico y lo teórico.

- Diseño de clases

Cada clase se diseñó desde el enfoque sistémico de Guidoni, definiendo sistemas y variables e identificando *elementos, relaciones y estructuras* mediante diversas estrategias de análisis y perspectivas teóricas como Maxwell, Cauchy y Feynman. El diseño de las clases se presentaba previamente al maestro cooperador del espacio de conceptualización, quien corregía, sugería y finalmente permitía su implementación. Para cada sesión se tenían objetivos generales y específicos, diseño de talleres introductorios conceptuales, desarrollo breve de las temáticas, ilustraciones y ejemplos y la resolución de algunos problemas. En estas clases se estableció un equilibrio entre el manejo conceptual y el desarrollo de habilidades propias de las técnicas para afrontar problemas.

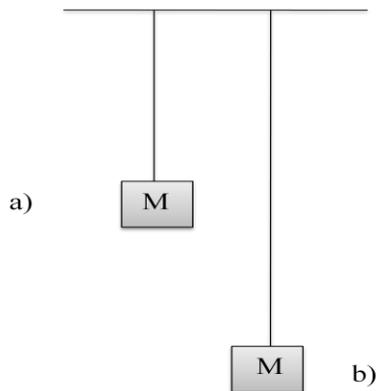
Para ilustrar los diseños, se muestra a continuación algunos apartes de las clases.

*Para el estudio de fenómeno de la flotación, identificamos las variables características que posibilitan el fenómeno. Cuando tenemos un objeto sumergido en un fluido como el agua, los cuerpos que flotan no se dejan hundir y aquellos que son muy pesados fuera del fluido se hacen más livianos en él. Por ejemplo levantar una piedra del fondo de un río es relativamente fácil, mientras la piedra esté bajo la superficie. Sin embargo, cuando sube de la superficie, la fuerza requerida para levantarla aumenta en forma considerable. ¿Cómo se puede explicar esto? ¿Por qué es mucho más fácil levantar la piedra en el agua que fuera de ella? ¿Existe acaso alguna fuerza adicional que permite esto? ¿De ser así, cual es su causa y en qué dirección es ejercida? (Ver anexo 2)*

En esta clase sobre el principio de Arquímedes, el investigador inicia la clase con el fenómeno de flotación y orienta la clase a definir variables y sistemas que están involucrados en este fenómeno. Se comparaban situaciones con condiciones diferentes y con preguntas donde los sistemas son más delimitados como por ejemplo en esta clase sobre el concepto de esfuerzo:

*Pregunta 1. Se tiene dos cuerpos de igual masa, sostenidos por dos cuerdas de igual sección transversal y longitudes diferentes (situación). ¿En cuál de*

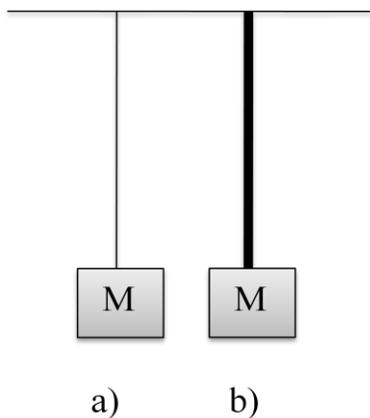
las dos situaciones, la cuerda se puede romper más fácil y cuál se deforma más? Justifique su respuesta.



**Ilustración 1: Tensión en una cuerda (Situación 1).**

*Pregunta 2. Se tiene dos cuerpos de igual masa, sostenidos por cuerdas de diferente área transversal y longitudes iguales (situación 2). ¿En cuál de las dos situaciones, la cuerda se puede romper más fácil y cuál se deforma más? Justifica tu respuesta.*

*Pregunta 3. ¿Qué relación se puede establecer entre la fuerza, la deformación, la longitud de la cuerda y la sección transversal de la cuerda?*



**Ilustración 2: Tensión en una cuerda (Situación 2).**

En cuanto a las diferentes perspectivas teóricas, en el siguiente apartado el investigador presenta el concepto de esfuerzo desde Maxwell, Cauchy y Feynman después de haber planteado una situación que involucraba la noción de esfuerzo (Ver anexo 2)

*Esfuerzo según Maxwell, existe únicamente entre dos porciones de materia, se puede interpretar equivalentemente a la tercera ley de Newton, el esfuerzo es la causa de toda fuerza. Se distingue como tensión cuando la fuerza que actúa sobre cualquier porción se dirige hacia la otra, y como presión cuando la fuerza que actúe sobre cualquier porción se dirige alejándose de la otra. Para Feynman, los esfuerzos son fuerzas internas entre partes vecinas del material, las cuales se pueden modificar si se aplican fuerzas externas sobre el material, la fuerza y esfuerzo son lo mismo. Según Lagrange las presiones son las fuerzas de ligadura que se deben aplicar a una parte de los cuerpos para restablecer el equilibrio cuando sin suprimir ninguna de las fuerzas dadas que actúan sobre esta parte, se suprimieran los obstáculos que las partes vecinas de los cuerpos oponen a su movimiento y finalmente para Cauchy el esfuerzo es una densidad de fuerzas donde la dirección de esta se calcula por medio del cálculo tensorial.*

En diseño también se tuvo presente las diferentes estrategias de análisis, por ejemplo:

*Para interpretar el esfuerzo, lo podemos hacer desde la deformación. Hay que considerar que no se privilegia una forma natural del cuerpo. El cuerpo se deforma si una acción externa actúa sobre él y regresa a su forma natural si esta acción deja de actuar, similar al modo de pensar aristotélico. Desde la perspectiva de estados, no hay una forma natural del sistema, la forma depende del medio en el cual está el cuerpo. (De ahí la idea de medio). Para que el cuerpo recupere su forma usualmente llamada natural se necesita de una acción externa.*

Es claro que para el diseño de clase, se proponen diferentes autores y estrategias para el análisis del concepto a estudiar, premisa que era fundamental para la investigación realizada. Para ver algunos de los diseños de clase remítase al anexo 2.

### **4.2.3. Fase 3**

En esta, se culminó con la construcción del marco teórico y metodológico, se analizaron, describieron y clasificaron los resultados de los métodos implementados; concluyendo con la redacción, presentación y publicación de esta monografía.

Se agregaron aspectos al marco teórico en cuanto a los procesos de matematización, formalización y recontextualización de los fenómenos físicos y se dio paso a la construcción de estos procesos, para establecer la noción de esfuerzo como una variable intensiva que da cuenta de la condición de un sistema.

Se establecieron criterios de clasificación para los métodos diseñados y se realizó su descripción conforme a la metodología de estudio de caso intrínseco.

#### **4.2.3.1. Criterios de Análisis**

Según Guidoni (1990a) las estrategias para la reconstrucción racional de la realidad son la *distribución* y la *organización* según elementos, relaciones y estructuras, las cuales son complementarias y están entrelazadas una con la otra y son vistas como procedimientos organizadores del pensamiento. Para Guidoni, distribuir y organizar son las estrategias cognitivas generales, pues estas pueden hallarse en numerosos esquemas cognitivos entrelazados, también muy flexibles, que se derivan de ellas y forman parte de diversos modos de observar y que se pueden identificar sus raíces en la cultura común, explicitándose en las experiencias, lenguajes y competencias, tan alejadas entre sí que se hace imposible, o al menos muy difícil, reconocerlos y reducirlos a una raíz común.

Es importante darse cuenta que estos modos de observar la realidad, tienen raíces profundas en el modo común de pensar, hablar y hacer. Según Guidoni, sería imposible, en efecto para cada uno de nosotros sobrevivir en esta sociedad sin reconocer en las palabras sus significados más comunes: Los «*nombres*» son de hecho, símbolos para sistemas identificables; los «*atributos*» se refieren sustancialmente a variables de estado, usadas para definir, mediante su señalización y a través de sus recíprocas relaciones, los estados de un sistema; los «*verbos*» son esencialmente símbolos de transformación, mientras los «*adverbios*» representan otras, correspondientes variables de transformación. Así, el lenguaje puede dar evidencia de las diversas estrategias cognitivas de análisis definidas por Guidoni (1987).

Así, teniendo presente las anteriores consideraciones y la definición de cada una de las estrategias cognitivas de análisis. Se definen las cuatro estrategias cognitivas de análisis como categorías de clasificación de cada una de las repuestas obtenidas de los maestros en formación durante la investigación y para ello se definen los siguientes criterios para realizar dicha clasificación:

**Categoría A:** Estrategias de análisis diferenciables e integrales, una respuesta se clasifica en esta categoría sí:

1. Se describe momento a momento las ocurrencias del fenómeno.
2. Compara la situación inicial con la final.

**Categoría B:** Estrategias de análisis por estado y transformación sí:

1. Identifica cambios y los caracteriza como transformaciones.
2. Identifica permanencias y las caracteriza como estados.

**Categoría C:** Estrategias de análisis para cambio global y cambio variable sí:

1. Identifica un conjunto de variables para describir fenómenos y procesos.
2. Analiza una variable con respecto al cambio de las otras.

**Categoría D:** Estrategias de causalidad y de relación sí:

1. Identifica causas y efectos.

## 2. Identifica cambios simultáneos: dependientes o independientes.

A continuación se presentan los resultados del análisis de la información obtenida en por medio de las actividades de conceptualización:

### **4.2.3.2. *Análisis y resultado de la información***

#### **4.2.3.2.1. *Actividad Diagnostico***

Esta actividad se llevo a cabo en la Universidad de Antioquia con cuatro estudiantes universitarios en el espacio de conceptualización de Física de los Medios Continuos de la Licenciatura en Matemáticas y Física en el Facultad de Educación, con esta actividad de indagación se describe y se clasifican las estrategias de análisis a partir de los criterios establecidos por el enfoque sistémico de Paolo Guidoni.

Esta actividad de conceptualización (ver anexo 4) se conforma por cuatro preguntas acerca de una situación en la que se la pide que describa el fenómeno de flexión de una pértiga. Esta permitió determinar si los estudiantes dan cuenta de su conciencia, diferenciación y explicitación de sus posturas de análisis frente al estudio de un fenómeno.

La pregunta número uno pretende que los estudiantes definan unos elementos en un sistema que ellos seleccionen para construir su descripción y explicación del fenómenos y justifiquen la necesidad de utilizarlas y en la pregunta dos y tres buscan que los estudiantes construyan relaciones entre elementos sugeridos.

La pregunta uno, dice que durante un salto, la garrocha pasa por un proceso de deformación. ¿Qué variables físicas, consideras necesarias para describir este proceso de la pértiga? Justifica por qué la necesidad de cada una de estas variables. El lector puede notar que esta es una pregunta abierta, en la cual para su respuesta se pueden definir sistemas y variables y aplicar cada una de las estrategias de análisis para dar respuesta.

Los estudiantes analizaron, definieron y justificaron las siguientes variables.

El *Estudiante A* dio la siguiente respuesta:

*Peso de la persona, porque éste hace doblar la pértiga. Material de la pértiga, porque hay unos materiales más rígidos que otros. Longitud de la pértiga, porque disminuye el grado de curvatura, es decir,  $L \propto$  Radio de curvatura. Dimensión de la pértiga, porque a menos radio mayor curvatura y mayor salto.*

El lector puede notar que esta estudiante se centra principalmente en identificar cuáles son las variables que tienen relación con la flexión de la pértiga pues ella considera que si alcanza una máxima flexión se obtendrá mejores resultados en el salto; por esto para ella es importante el peso de la persona que va saltar, el material, la longitud y el diámetro de la sección transversal de la pértiga, evidentemente estas son variables decisivas para describir el “grado” de flexión de la pértiga. Sin embargo se puede notar que en ningún momento hace mención a una situación inicial y final del salto, tampoco define las variables para describir de manera global todo el proceso de flexión que sufre la pértiga durante el salto. Es evidente que la estrategia principal de pasamiento se centra en identificar cambios simultáneos y en determinar causas y efectos. Lo que se evidencia es que la principal causa de un buen salto es la flexión de la pértiga y el peso adecuado de la persona. Podemos afirmar que la estrategia principal que utilizó esta estudiante para dar respuesta a la primera pregunta, corresponde a la Categoría D.

Veamos que sucede con la respuesta que dio el *Estudiante B*:

*Para describir aquel proceso de la pértiga asociada a la deformación del objeto flexible tendría en cuenta variables como: Longitud de la pértiga, el tipo de material, el peso del personaje que utiliza el objeto, y el impulso necesario para lograr el objetivo del deporte.*

*Considero la necesidad de estas variables porque es importante conocer, mediante el uso de las ecuaciones de la deformación y el esfuerzo, el límite de elasticidad de la pértiga, así, se evitará que la pértiga se fracture debido al peso del deportista y por consiguiente a éste le suceda lo mismo.*

Este estudiante a diferencia del estudiante A, define las variables sin determinar qué relación existe entre ellas; este estudiante se centra de manera global en definir cuáles son las variables necesarias para describir el proceso de deformación de la pértiga durante el salto. En el segundo párrafo argumenta que las variables que define son necesarias para el uso de las ecuaciones de deformación, el esfuerzo y el límite de elasticidad. Él reconoce que es necesaria una combinación óptima entre el peso del deportista y el diseño de la pértiga. El lector puede notar que este estudiante reconoce que el salto depende de la flexión de la pértiga, del peso y la velocidad del deportista. Es importante señalar que este estudiante define variables de manera global sin entrar a definir relaciones de causa efecto como lo hace el estudiante A, sin embargo igual que el estudiante A no define variables para describir lo que sucede durante el salto, ni tampoco identifica permanencias dentro de su análisis, lo que nos permite afirmar que este estudiante le dio preferencia a las estrategias de la categoría C.

El estudiante C nos dio la siguiente respuesta:

*“Fuerza por que se requiere para que un objeto se cualquier tipo posea un impulso; la velocidad para que pueda ayudar a que la fuerza sea mayor y el impulso que se necesite sea suficiente para que el deportista pase por encima de la barra trasversal, centros de masa y momentum para que la barra, dependiendo del material no tenga ruptura, el concepto de elongación, para que la barra pueda estirarse o la ley de Hooke, el peso, que es una fuerza que va de los objetos hacia abajo, también se puede considerar conceptos como: Tiro parabólico, caída libre, esfuerzo, trabajo, conservación de la energía y el área en el piso”*

Este estudiante muestra un análisis igual que el estudiante A, por que define variables y justifica su validez de en función de otras, es decir, identifica cambios simultáneos. El lector puede notar que este análisis se centra principalmente en determinar las causas que hacen que una variable cambie, lo que es la característica esencial de las estrategias de causalidad y de relación, es decir el estudiante C privilegia las estrategias de la categoría D.

Del análisis de las respuestas obtenidas para la pregunta uno, se obtuvo la siguiente clasificación;

ESTUDIANTE	CATEGORIA
Estudiante A	D
Estudiante B	C
Estudiante C	D
Estudiante D	D

**Tabla 1: Clasificación de las respuestas de la actividad diagnóstico (Parte 1).**

La tabla 1, muestra cómo se clasifico las respuestas de los estudiantes a la pregunta uno. Se puede ver en esta tabla que tres de los estudiantes privilegiaron las estrategias de la categoría D, es decir ellos definieron variables en la media que estas varían en función de otras.

La pregunta dos de esta actividad, dice que si un atleta desea realizar un salto de mayor altura, y solo dispone de pértigas con diferentes grosores y materiales como la fibra carbono o el bambú, ¿cómo influyen estos materiales para llevar a cabo el salto? Aunque se fijan algunas variables, esto no restringe el uso de las estrategias de análisis. El estudiante A:

*Los materiales influyen a medida que su coeficiente de deformación son diferentes, entonces si el coeficiente es mayor, es decir, se deforma más, su radio de curvatura es menor, pero la pértiga se curva más. Por lo tanto la pértiga se doblo más, significa que su salto fue mayor y que su material y que su salto fue menor*

Nuevamente el estudiante A, se clasifica en la categoría D, pues ella se centra nuevamente en el “grado” en el que se doble se obtiene el mayor salto. Olvidando que el peso de la persona que ejecuta el salto también influye notablemente. De igual manera los estudiantes B y D se clasifica en la categoría A, pues ellos se centra en la decir que la variación de los materiales afecta solo afecta el “grado” de deformación, olvidándose de otras cosas que afectaría, como es la velocidad del jugador. Es importante destacar que estos estudiantes se han centrado en analizar solo el sistema pértiga y se han olvidado de

analizar su relación con el sistema jugador. Las respuestas obtenidas por los estudiantes B Y C son:

Estudiante B

*Son de influencia decisiva, puesto que la deformación de la pértiga y los materiales de su composición depende no sólo de la fuerza aplicada, sino de su área transversal y su longitud inicial por lo tanto la influencia de aquellos materiales son sumamente decisivos a la hora de dar el salto.*

Estudiante C

*El material con que se elabore el salto debe tener una elasticidad, resistencia, y fuerza suficientes para aguantar las diferentes variables influyen en el salto como son la gravedad, el centro de masa, el trabajo, la ley de Hooke, (por que la barra tiene una deformación y de volver al sitio de donde se da la curva) y por lo tanto el material como el bambú se fracturaría fácilmente porque su deformación tiene un límite, mientras la fibra de carbono es deformable y posee una mayor resistencia a la fractura.*

Se puede también identificar en estas respuestas que estos estudiantes no hace referencia a situación inicial y situación final del salto, lo que significa que ellos no consideran las diversos estados por los que puede pasar la pértiga. Por otro lado, ellos se concentran en definir nuevas variables en función de otras, lo que los clasifica definitivamente en la categoría D.

Veamos la respuesta del estudiante D,

*Considerando el peso del garrochero se necesita de un material más o menos deformable, ya que puede pasar que se quiebre, debe entonces elegir la más delgada posible de acuerdo a su peso, para lograr un mayor impulso.*

A diferencia de los estudiantes A, B y C este estudiante reconoce una relación entre el sistema garrocha y el sistema persona, sin embargo también su respuesta se clasifica en la categoría D, pues él también centra en la relación entre peso y deformación, olvidándose

de variables como la sección transversal, el peso de la pértiga, la velocidad del garrochero, etc. Por lo tanto para la pregunta dos se obtuvo la siguiente tabla;

ESTUDIANTE	CATEGORIA
Estudiante A	D
Estudiante B	D
Estudiante C	D
Estudiante D	D

**Tabla 2: Clasificación de las respuestas de la actividad diagnóstico (Parte 2).**

De la información registra en la tabla 2, se concluye nuevamente que las estrategias que privilegian los estudiantes son las de causalidad y de relación.

Analicemos las respuestas obtenidas para la última pregunta la cual dice que durante una competencia, el atleta se lesiona en uno de sus saltos, el equipo cuenta con otros dos atletas, uno de ellos es más liviano y el otro es más pesado que el inicial. ¿Cómo deben ser sus velocidades para alcanzar un salto de igual altura que el atleta inicial? ¿Además de variar la velocidad de los atletas que pasa si se cambia el largo de la pértiga? Esta pregunta tiene el mismo objetivo que la anterior y tienen las mismas características.

Así, para esta pregunta se obtuvieron las siguientes respuestas y se realizó el siguiente análisis,

Estudiante A

*La persona de menos peso que el inicial debe correr más, pues, necesita deformar la pértiga más, aunque como es tan liviano se levantaría más fácil, mientras que la persona de mayor peso que la inicial debe correr menos, pues, deforma la pértiga más fácil, pero está debe ejercer una fuerza más grande en él para poder levantarlo una altura determinada. Cabe aclarar que estoy diciendo que la persona liviana tiene menor fuerza que la persona más pesada, por lo cual debe hacer más esfuerzo para deformar la pértiga a diferencia del gordo.*

Este estudiante, se enfoca en analizar como la variación en el peso de la persona, deforma la pértiga, pero nuevamente desconoce otros aspectos del fenómeno. Es claro que ella establece una relación de proporción entre al peso y la deformación de la pértiga, es decir el identifica cambios simultáneos, por lo cual clasificamos esta respuesta en la categoría D.

El estudiante D dio la siguiente respuesta:

*Si el nuevo competidor es más liviano que el lesionado se requiere mayor velocidad para lograr el mismo salto del inicial.*

*Si el nuevo competidor es más pesado que el lesionado requiere de menor velocidad para que lograr la misma altura que el atleta inicial.*

*Si se cambia el largo de la pértiga deberá variar el impulso con el que inicien el salto ya que a mayor altura de la pértiga menor impulso requerirá*

El estudiante B, de manera semejante al estudiante A establece relaciones de proporcionalidad entre la velocidad y la deformación de la pértiga, por lo tanto volvemos a identificar los criterios de la categoría D y estos también se identifican en las respuestas del estudiante C. Veamos su respuesta;

Estudiante C

*Para el atleta liviano, su velocidad debe ser menor, porque su peso facilita la elongación o deformación de la barra y posee más impulso para pasar la transversal; el atleta más pesado requiere una mayor velocidad para esta velocidad ayude a que el impulso sea mayor y la elongación o deformación de la barra sean necesarias para que el esfuerzo sea menor por parte de la pértiga y no se fracturé, para que el más pesado pase por la barra transversal.*

*Cuando se cambia el largo de la pértiga, las velocidades también varían, es decir, si la pértiga es más pequeña, el salto en la altura es más pequeña y la velocidad aumenta, lo mismo ocurre con la pértiga más larga, para poder*

*saltar, debe tener más velocidad para que pueda pasar la barra transversal con la pértiga.*

Para las respuestas a la pregunta tres, se obtuvo la siguiente tabla;

<b>ESTUDIANTE</b>	<b>CATEGORIA</b>
Estudiante A	D
Estudiante B	D
Estudiante C	D
Estudiante D	D

**Tabla 3: Clasificación de las respuestas de la actividad diagnóstico (Parte 3).**

En la tabla 4 se reúnen los resultados obtenidos en las tablas 1,2 y 3. En esta tabla se puede comprobar de acuerdo a la clasificación hecha, que los estudiantes privilegian las estrategias de la categoría D.

<b>CATEGORIAS</b>	<b>ESTUDIANTE A</b>	<b>ESTUDIANTE B</b>	<b>ESTUDIANTE C</b>	<b>ESTUDIANTE D</b>
A	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
B	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
C	0 Respuestas	1 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
D	3 Respuestas	2 Respuestas	3 Respuestas	3 Respuestas

**Tabla 4: Clasificación de las respuestas obtenidas en la prueba diagnóstico.**

En este análisis se muestra para nuestro caso que ellos privilegian una estrategia de análisis que principalmente obedece a los razonamientos de causa –efecto.

En las respuestas dadas por cada uno de los estudiantes, el esfuerzo aparece como la causa de la fuerza, pues gracias a él, la persona que ejecuta el salto con pértiga se puede elevar para alcanzar el objetivo del deporte. Lo cual es una noción muy coherente con la postura de Feynman.

#### 4.2.3.2.2. *Actividad de Conceptualización 1*

A continuación se presentan los análisis y resultados de la información obtenida en el informe de laboratorio sobre viscosidad. Este laboratorio consta de seis preguntas enfocadas en análisis de variables que cambian según varía el tiempo.

La pregunta uno dice: ¿Qué variables, en cuanto a la forma de la esfera, el tipo de fluido, consideras que cambian la fuerza viscosa? El objetivo de esta pregunta es identificar un conjunto de variables para describir el fenómeno y procesos involucrados para analizar el cambio de la fuerza viscosa respecto a la forma de la esfera. Aunque se centra en el análisis del cambio de una variable, esto no excluye el uso de ninguna de las estrategias de análisis de Guidoni.

La respuesta obtenida por el grupo A fue la siguiente;

*Ya que la fuerza viscosa se determina con la ecuación  $F = 6\pi\eta r v$ , se puede ver que el cambio en el radio de la esfera modificará de una forma proporcionalmente directa, la fuerza viscosa. Luego, si el radio es una variable que está relacionada con la variación de la fuerza viscosa, el volumen y el área superficial, que también dependen del radio, serán determinantes en la variación de la misma*

En esta respuesta, se encuentra que los estudiantes, se centraron en la fórmula  $F = 6\pi\eta r v$ , la cual establece una relación de entre el radio y la fuerza viscosa. Ellos afirman que lo único que afecta la fuerza viscosa es el radio. Es decir, se concentraron en el sistema esfera y la fuerza que actúa sobre ella, despreciando la interacción con el medio, olvidando que las características que este presenta también afectan de forma significativa la magnitud y dirección de la fuerza viscosa. Por lo tanto se nota una ausencia de un análisis global de la situación, por otro lado solo se establece una relación de proporcionalidad entre la fuerza viscosa y el radio de la esfera. Lo que nos da criterio suficiente para clasificar su estrategia en la categoría D.

Otras de las respuestas obtenidas fue la del grupo B:

*“Las variables en cuanto a la esfera que podrían afectar la fuerza viscosa son: el radio de la esfera, considerando que entre mayor sea este, mayor será la velocidad con la que la esfera atraviese el fluido de la práctica experimental y si ocurre lo contrario de que el radio es muy pequeño, demorará más en realizar el mismo recorrido de la esfera con el radio mayor, o sea, su velocidad límite disminuirá. Así mismo, el volumen de la esfera, dado que está relacionado con el radio y por ende ocurre lo explicado al principio del párrafo. Además el material que contenga la esfera también debe afectar la fuerza de viscosidad, dado que existen materiales que presentan mayor permisividad a algunos medios, como es el caso de la madera y el hierro, es decir, la madera flota en el agua mientras que el plomo tiende a pasar la tensión superficial que tiene el agua. Con el área ocurre lo mismo que con el volumen, ya que esta también depende del radio. Además sobre decir que el peso de la esfera tiende a modificar la fuerza de viscosidad, teniendo en cuenta que entre menos pese, alcanzará mayor velocidad cuando esté dentro del líquido.”*

Este grupo de estudiantes, estable relaciones de entre el la magnitud de la fuerza viscosa y el radio, también menciona que esta magnitud también esta relación con la densidad del material. Ellos también se centra en decir que objetos tardan más tiempo en realizar el recorrido a través del fluido, pero no son claras las relaciones que establece entre la fuerza viscosa, el peso, la densidad, el volumen y el radio. En estos estudiantes se nota un intento notable por describir el fenómeno de manera global, pero se olvidan que las características del medio, que n son variables fundamentales para describir la magnitud de la fuerza viscosa, lo cual se interpreta que ellos no eran conscientes de todas la variables involucradas a nivel global, por otro lado, en su respuesta se habla del tiempo pero su respuesta no describe ni explica momento a momento que variables hacen que cambie la fuerza viscosa, también hay un ausencia en considerar unas situación inicial y final de la situación, lo que lleva a concluir que los estudiantes se encuentra en la categoría D.

Las respuestas obtenidas de los otros dos equipos fueron similares, por lo que no las consideramos y cuyos resultados los resumimos en la siguiente tabla:

ESTUDIANTE	CATEGORIA
Grupo A	D
Grupo B	D
Grupo C	D
Grupo D	D

**Tabla 5: Respuestas obtenidas de la actividad de conceptualización 1 (Parte 1)**

La siguiente pregunta esta central en la utilización de las estrategias diferencias e integrales, es decir, el objetivo es que el estudiante describa momento a momento las ocurrencias del fenómeno. La pregunta dice: Qué sucede momento a momento, qué variables cambian, realice gráficas y describa e intérprete cada una de ellas.

Es importante señalar que no incluimos las gráficas realizadas por los estudiantes porque no se obtuvo información relevante para el objetivo de esta investigación.

Está es una de las preguntas obtenidas por los estudiantes del grupo A

*Algunas de las variables que cambian en función del tiempo son: la aceleración y la velocidad*

Ellos establece una relación dependencia entre el tiempo y la aceleración y la velocidad, lo que es característico de las estrategias de tipo causal y relación, sin embargo ellos agregan con respecto a los datos obtenidos de en un applet que:

*Según los datos obtenidos podemos analizar que la velocidad aumenta, la aceleración disminuye; también podemos observar que a medida que el tiempo se va incrementando, la velocidad llega a volverse constante, en este momento es cuando decimos que ha llegado a la velocidad límite, que es el lugar en el que se encuentra una asíntota horizontal como lo muestra la gráfica.*

Estos estudiante aunque su respuesta inicialmente inicia con establecer relaciones entre variables, ellos se concentra luego en analizar que sucede con la velocidad momento a momento por lo cual esta respuesta es clasificada en la categoría A, el estudiante puede pensar y por qué no en la categoría D, sucede que desde la teoría de Guidoni un sujeto

puede integrar las estrategias, pero siempre hay una que se privilegia según la intenciones del investigador, es importante recordar que el problema esta cuando no se reconoce y no diferencia que hay una multiplicidad de estrategias de análisis.

La siguiente es la respuesta del grupo C

*La velocidad empieza acelerada, pero en un momento por la fuerza viscosa se equilibra y queda constante y la fuerza viscosa empieza en cero cuando no hay objeto, luego empieza a crecer hasta igualar al peso y queda constante*

Este grupo, a diferencia del grupo A, intenta realizar un análisis diferencial e integral pero se encuentra un tendencia a lo causal y de relación, pues ello establece que la velocidad se desacelera en un momento por la fuerza viscosa, lo que se interpreta con que la velocidad era constantemente acelerada y que un instante la esa aceleración desaparece y la velocidad es constante, esto permite inferir que no hay una observación continua de lo que está pasando en la caída de la esfera. Sin embargo cuando consideran la fuerza viscosa, se intenta describir momento a momento pero solo se limitan a decir que la fuerza viscosa aumenta hasta igualarse al peso de la esfera, esta respuesta resulta de difícil de clasificar por que hay dos estrategias que domina el análisis, sin embargo se clasifica en la categoría D, pues es más explícito el razonamiento causal.

Las respuestas obtenidas por todo los grupos, se resume los resultados en la siguiente tabla:

<b>ESTUDIANTE</b>	<b>CATEGORIA</b>
Grupo A – Estudiante A	A
Grupo B – Estudiante B	D
Grupo C – Estudiante C	A
Grupo D – Estudiante D	No dieron respuesta

**Tabla 6: Respuestas obtenidas de la actividad de conceptualización 1 (Parte 2)**

Los estudiantes de cada uno de los grupos para esta actividad nuevamente le dan preferencia a los razonamientos causales, como se ilustra en la siguiente tabla:

CATEGORIAS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
A	1 Respuestas	0 Respuestas	1 Respuestas	0 Respuestas
B	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
C	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
D	1 Respuestas	2 Respuestas	1 Respuestas	1 Respuestas

**Tabla 7: Repuestas obtenidas de la actividad de conceptualización 1**

#### **4.2.3.2.3. Actividad de conceptualización 2.**

En esta actividad, se pide que se enuncien, definan las variables y establezcan las relaciones entre las mismas, que permitan describir el fenómeno de ascensión de un fluido a través de un capilar. El lector puede notar que esta es una pregunta abierta, en la cual para su respuesta se pueden definir sistemas y variables y aplicar cada una de las estrategias de análisis para dar respuesta.

A continuación presentamos los análisis del estudiante A, en su repuesta se puede percibir que describe momento a momento las ocurrencias del fenómeno, al puntualizar la formación de un menisco y la ascensión del fluido a través del capilar. Además, comparan la situación inicial con la final al decir cuáles eran las condiciones de diferencia de presión iniciales que ocasionaban el ascenso a través del capilar y la condición de equilibrio al final del mismo. Por lo cual su estrategia se clasifico en la categoría A.

*En el fenómeno de capilaridad intervienen factores como la densidad del fluido, las fuerzas de adhesión y cohesión, la tensión superficial y la presión atmosférica. Cuando se coloca un capilar en la superficie de un fluido, una parte de este se eleva por el capilar debido a la fuerza de adhesión que ejercen las moléculas del capilar sobre el fluido. Dicha ascensión se dará hasta que el peso de cierto volumen del fluido iguale la fuerza de adhesión.*

*Pero la presión atmosférica también interviene en este fenómeno, pues si esta supera la presión del fluido inmediatamente por debajo de la superficie, el sistema no está en equilibrio, lo que ocasiona, además de la formación de un menisco, una ascensión del fluido hasta que la presión en los puntos en*

*los cuales estaba la superficie antes de la ascensión sea igual a la presión atmosférica*

En la respuesta que se presenta a continuación del estudiante B. La estrategia cognitiva implementada por el estudiante es de causalidad y de relación, ya que el estudiante solo explicita la relación matemática que relaciona las variables con el fin de saber cómo determinar el peso, o la fuerza ascendente, en función de variables como la densidad, el volumen del fluido, la longitud, el coeficiente de tensión etc. Así, el estudiante muestra la manera como el peso y la fuerza ascendente, dependen de otras variables.

*La longitud de tubo o capilar: me ayuda a ver hasta donde asciende el líquido o fluido*

*Radio del tubo o capilar para hallar la ecuación y la altura que sube, dependiendo del perímetro del tubo pues es un cilindro.*

*Ángulo de contacto: pues algunos fluidos se comportan diferentes a otros.*

*Densidad del fluido pues depende de esta tensión superficial que muestra.*

*Volumen del líquido: para saber la cantidad que tengo.*

*Las relaciones entre las variables definidas:*

*$w = \rho V = \rho \pi r^2 h$ : Esto es el peso de la columna de fluido es igual a la densidad por el volumen del fluido*

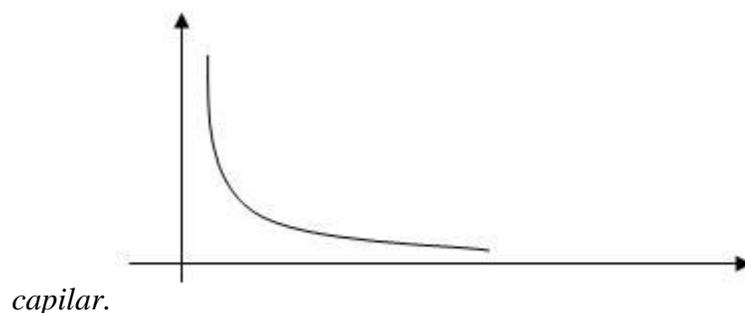
*$F_{as} = 2\pi r \gamma \cos \theta$ : Fuerza de ascensión es igual a longitud por coeficiente de tensión superficial por el ángulo de contacto."*

$$w = F_{as}$$

*Aquí se relacionan las variables mencionadas en el punto anterior.*

Además agrega una gráfica, donde caracteriza la relación entre el radio del capilar y la altura alcanzada por el fluido cuando termina su ascensión a través del capilar. De esta manera, para el estudiante, es clara la relación de dependencia de la altura, con respecto al radio del capilar, por lo tanto su análisis se clasifica en la categoría D.

*Este es un gráfico de la altura de ascensión del líquido Vs. El radio del*



**Ilustración 3: Gráfico realizado por un informante<sup>5</sup>.**

*Esta gráfica nos muestra que la altura y el radio son variables inversamente proporcionales, es decir, que a mayor radio del capilar menor altura de ascenso del fluido y viceversa. Además, es una gráfica que tiene características hiperbólicas, que no pasa por el origen y que son asíntotas los ejes, pues no se puede decir que por más altura que haya, el radio es cero, o si el radio es muy grande, la altura sea cero.*

El estudiante D se caracterizó por dar una respuesta muy extensa, por lo cual a continuación solo presentamos los apartados que permitieron clasificar su estrategia de análisis.

Él empieza por definir cuáles son las variables suficientes para describir el fenómeno en su totalidad.

*El fenómeno de capilaridad queda bien descrito por las siguientes variables: ángulo de contacto formado entre el fluido y el tubo capilar  $\theta$ , coeficiente de tensión superficial del fluido  $\gamma$ , radio del capilar  $r$ , densidad del fluido  $\rho$  y la altura de ascenso  $h$ . Para entender el fenómeno también es importante*

<sup>5</sup> El gráfico es presentado tal cual como lo realizó el informante

*conocer algunos conceptos que constituyen significativamente en la comprensión de este fenómeno, como son el menisco, volumen de un cilindro circular recto y la gravedad que, aunque es constante, juega un papel importante dentro del fenómeno capilar.*

Además, el informante considera cada una de estas variables y las analiza con respecto al cambio de las otras variables, obteniendo la siguiente respuesta:

**Ángulo de contacto:** *se refiere a aquel ángulo que forma la superficie de un fluido al entrar en contacto con un sólido (formado por la tangente a la superficie del menisco en el punto de contacto con la pared del capilar). El valor de dicho ángulo depende principalmente de la relación que existe entre las fuerzas adhesivas entre el fluido y el sólido y las fuerzas cohesivas del fluido cuando las fuerzas adhesivas con la superficie del fluido son muy grandes en relación a las fuerzas cohesivas, el ángulo de contacto es menor de 90 grados.*

Finalmente realiza un análisis local de la situación;

*Una molécula de un fluido en las cercanías de la pared de un recipiente experimenta una fuerza de atracción gravitacional dada por su peso  $p$ , una fuerza cohesiva ejercida por el resto de las moléculas del resto del fluido  $F_0$ , una fuerza de adherencia que ejercen las moléculas de la pared del recipiente sobre la molécula del fluido  $F_a$  y una fuerza ejercida por las moléculas de vapor que hay por encima de la superficie del fluido.*

Por lo tanto la estrategia de análisis de este estudiante, fue clasificada en *análisis para cambio global y cambio variable*: ya que identifica un conjunto de variables relacionadas para describir fenómenos y procesos y analiza una variable con respecto al cambio de las otras.

La información de la anterior actividad se resume en la siguiente tabla:

CATEGORIAS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
A	1 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
B	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
C	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	1 Respuestas
D	0 Respuestas	1 Respuestas	1 Respuestas	0 Respuestas

**Tabla 8: Repuestas obtenidas de la actividad de conceptualización 2**

Tras la información reunida en los tres métodos anteriores, la actividad diagnóstico y las actividades de conceptualización 1 y 2, se encontró preferencia por los razonamientos causales. Como podrá ver el lector en la siguiente tabla se presenta de forma general la clasificación obtenida de la información:

CATEGORIAS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C	GRUPO D
A	2 Respuestas	1 Respuestas	1 Respuestas	0 Respuestas
B	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas
C	0 Respuestas	0 Respuestas	0 Respuestas	1 Respuestas
D	4 Respuestas	5 Respuestas	5 Respuestas	4 Respuestas

**Tabla 9: Resumen General.**

Finalmente del análisis de estas tres actividades concluimos:

1. Los estudiantes A, B, D y C privilegian las estrategias de tipo causa – efecto.
2. Las preguntas pueden delimitar el tipo de estrategia a utilizar.
3. Los esfuerzos del maestro tiene que centrarse en el desarrollo de alternativas que posibiliten el desarrollo de diferentes estrategias de análisis.

A continuación se presenta las conclusiones generales de la investigación.

## 5. CONCLUSIONES

Una vez aplicado los métodos y las actividades de conceptualización para la obtener la información por parte de los informantes y conjuntamente con los respectivos análisis, se obtuvieron unos resultados que permiten a los investigadores presentar el siguiente conjunto de conclusiones:

En lo referido a la indagación en las argumentaciones de maestros en formación, el reconocimiento y la diferenciación de modos de ver con los cuales describen y explican los fenómenos físicos alrededor del concepto de esfuerzo, objeto de estudio de la presente investigación, se ha podido identificar que los cuatro estudiantes tiene una preferencia por los razonamiento de tipo causal y relacional, aunque algunos estudiantes utilizan otras estrategias pero no hacen explicito, el por qué de su utilización y su diferenciación de otras. Resultado que les permite a los investigadores concluir que los estudiantes no conocen y por lo tanto no diferencian las estrategias de tipo causal y relacional de otras.

En cuanto a las descripciones realizadas por los investigadores durante el proceso de la investigación en cuanto a la argumentaciones de los maestros en formación por medio de la categoría delimitadas en la clasificación de las estrategias de análisis de Guidoni, se encontró en los informes de la última actividad de conceptualización, presentados por los cuatro estudiantes, que ellos reconocen que hay diferentes procedimientos y diferentes modos de ver, como por ejemplo menciona el estudiante A:

*La observación de los diferentes instrumentos y experiencias de laboratorio hace que cada persona observe de distinta forma el experimento y por lo datos y las mediciones sean relativas de ahí la necesidad de crear consenso y acuerdos decisivos para poder crear un procedimiento claro de la experiencia en general.*

Tras el describir y analizar las argumentaciones dadas por los maestros en formación en las tres actividades de conceptualización se concluyo que:

1. Los estudiantes A, B, D y C privilegian las estrategias de tipo causa – efecto.

2. Las preguntas realizadas por los investigadores pueden delimitar el tipo de estrategia a utilizar.
3. Los esfuerzos del maestro tiene que centrarse en el desarrollo de alternativas que posibiliten el desarrollo de diferentes estrategias de análisis.

Por otro lado se estableció correspondencias entre las estrategias de análisis de Guidoni y los modelos explicativos en formación y se encontró que el 78% de las respuestas obtenidas se clasificaron en los estrategias de causa y relación, un 17% en estrategias integrables y diferenciables y un 5% en estrategias de cambio local y global. Resultados que corroboran las conclusiones mencionadas en los párrafos anteriores. Hay que señalar que en el inicio de la investigación (ver tabla 4) el 91% de las respuesta se clasificaron en las estrategias de causa y relación y al termino de la investigación (ver tabla 8) solo el 55%. Por lo tanto se concluye que de cada clase que se diseño desde el enfoque sistémico de Guidoni, definiendo sistemas y variables e identificando *elementos*, *relaciones* y *estructuras* mediante diversas estrategias de análisis y perspectivas teóricas como Maxwell, Cauchy y Feynman, permitieron a los estudiantes conocer otras estrategias y diferenciarlas de otras y pues como vimos en las conclusión dada por el estudiante A reconocer que hay diferentes modos de analizar un fenómeno.

Tras esta investigación, se encontró también, que las principales estrategias que permitieron realizar reflexiones epistemológicas alrededor del concepto de esfuerzo desde la perspectiva de sistemas y variables, fueron las estrategias de estado y transformaciones, las cuales permitieron caracterizarlo como una variable de estado; dado que el esfuerzo permite establecer la diferencia de estados de stress entre dos partes contiguas de materia, pues mientras no se presente una acción externa al sistema en el cual se está analizando el esfuerzo, este permanecerá invariable y tales rasgos característicos tienen dos importantes implicaciones para el concepto de estado de stress: una, un cuerpo o sistema no puede cambiar su estado de stress por sí mismo, y dos, no es posible que un cuerpo cambie su estado de stress sin que al menos haya otro que lo haga.

Finalmente, tras analizar, en los maestros en formación, la incidencia de la aplicación del enfoque de Guidoni, en el reconocimiento y diferenciación de las perspectivas, con las que se describen y explican los fenómenos al conceptualizar la noción

de esfuerzo. Se encontró que dentro de estos procesos, las estrategias de análisis de Guidoni son plausibles como potencializadoras y enriquecedoras en cuanto a la comprensión de conceptos y fenómenos físicos para los maestros en formación y como herramienta clasificatoria y categorizadora para el docente donde las culturas especializadas están inmersas en la cultura común en un entramado de lenguaje, cultura y conocimiento (Guidoni, 1990a); sin confundir que estas (las estrategias de análisis) fueron diseñadas exclusivamente para este fin particular.

Ahora, desde la disciplina (física), analizar el concepto de esfuerzo desde diferentes autores reconocidos (de primera mano) como Feynman, Cauchy y Maxwell para identificar y reconocer sus procesos de formalización, matematización y validación del conocimiento dentro del contexto histórico, es importante para la realización de recontextualizaciones y optimizaciones en procesos de enseñanza (Ayala, 2008). En particular para el grupo de informantes investigados, fue pertinente establecer la noción de esfuerzo como una variable intensiva que da cuenta de la condición o estado de un sistema, por medios de procesos de matematización formalización y recontextualización, donde el análisis explícito y consciente de los fenómenos relacionados con el esfuerzo, se hacen notorios por medio de las estrategias de análisis, argumentando desde diferentes posturas que trascienden los análisis netamente causales, brindando así mayor posibilidad de conceptualización acerca del concepto de esfuerzo, siendo este un concepto transversal en el estudio de los medios continuos y construcciones electromagnéticas.

Si bien, resulta razonable considerar que los problemas educativos tiene una gran multiplicidad de variables a considerar y que no hay una solución que se considere definitiva y abanderada, la historia y la epistemología de la ciencias (HEC), son una tentativa para el mejoramiento de contextos de enseñanza, entendiendo la HEC en el trascender de una herramienta didáctica, para convertirse en la filosofía de enseñanza del docente; a propósito de esto Mattheus (1994) menciona que la epistemología motiva y despierta el interés por las ciencias; proporciona una mejor comprensión de los conceptos científicos mostrando su desarrollo y dinámica de construcción; propicia la comprensión de cómo se generan y validan los diferentes productos de la actividad científica; permite

establecer relaciones entre los contenidos científicos y los intereses éticos, culturales y políticos de los contextos donde se produjeron.

Teniendo presente que no se debe confundir la enseñanza, con su actividad (enseñar), interpretándola, como un campo pedagógico que piensa, no sólo al estudiante, sino también al maestro y se traslada a espacios fuera del aula de clase (Boom, 1999)

Estos procesos de enseñanza están afectadas por las concepciones de ciencias que tiene el docente (Aguilar, 2002) por lo cual se puede afirmar que es pertinente tener claridad en la cosmovisión de ciencias. En particular la fenomenología se preocupa por establecimiento de relaciones donde cada sujeto es constructor de su realidad y nadie tiene acceso total a una realidad objetiva (Ayala, 2008). Carece de sentido, desde lo fenomenológico, buscar las causas últimas en la explicación de un fenómeno (Aguilar, 2002).

En este orden de ideas, se puede interpretar la historia como un dialogo constante entre el pasado y el presente; donde hay hechos relevantes en la construcción, formación y validación de conocimiento (Carr, 1991) (Boom, 1999), no con análisis causa – efecto donde la historia se considera una colección de datos históricos o curiosidades secuenciales en la línea de tiempo (Aguilar. 2002).

Entiendo la ciencia, no como un conjunto de resultados ya acabados; sino como un sistema cultural dinámico, cambiante y modificable (Elkana, 1893 Ayala, 2008), se puede afirmar la pertinencia de la realización de procesos de matematización, formalización y recontextualización en la enseñanza de las ciencias, para un adecuamiento de contextos educativos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, Y. (2002). A proposito de las cosmovisiones: la realista y la fenomenológica.

Aguilar, Y. (2006). *El concepto de presión desde la perspectiva Euleriana*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Aguilar, Y. (2002). *El movimiento desde la perspectiva de sistemas, estados y transformaciones*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Ayala, M. M. (2008). *Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos*.

Ayala, M. M. (2003). El tensor de esfuerzos. Un análisis epistemológico desde una perspectiva pedagógica. *Pre - impresos. Cuadernos de Mecánica*, 5 .

Ayala, M. M. (2000). Historia de las Ciencias y la Formación de Profesores de Física. Relatorio Final de la VII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física., (pp. 75 - 78). Portoalegre (Canela) - Brasil.

Ayala, M. M. (2006). *Los análisis históricos críticos y la recontextualización de saberes. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*. Campinas: Pro-psicoes.

Ayala, M. M., Malagón, F., Garzón, I., Castillo, J. C., & Garzón, M. (2001). El tensor de esfuerzos. Un análisis epistemológico desde una perspectiva pedagógica. In M. M. Ayala, F. Malagón, I. Garzón, J. C. Castillo, & M. Garzón, *La relación mecánica - electromagnetismo y la mecánica de medios elásticos* (pp. 33-48). Bogota: Universidad de Pedagógica Nacional.

Berstein, B. (1984). Hacia una Teoría del Discurso Pedagógico. *Collected Original Resources in Education* .

Berstein, B. (1975). Selección de textos. *Revista Colombiana de Educación* , 15.

Boom, A. (1999). La Enseñanza como posibilidad del Pensamiento. In *La Enseñanza como posibilidad del Pensamiento*.

Carr, E. (1991). El historiador y los hechos. In E. Carr, *¿Qué es Historia?* (pp. 49-76). Barcelona: Ariel S.A.

Cauchy, A. (1844). *Phisique Mathématique*. Paris: Bachelier- Impremiur Libraire.

Covaleda, R., Moreira, M. A., & Caballero, M. C. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* , 4 (1).

Einstein, A. (1949). *The World as I See It*. Filiquarian Publishing LLC., 2007.

Elkana, Y. (1983). La ciencia como un sistema cultural: una aproximación epistemológica. *Boletín Sociedad Colombiana de Epistemología* , 3 (10-11), 65-80.

Feynman, R. (1963). *Lectures on Physics*. United States of America: California Institute of Technology.

Granés, J. (1997). Del contexto de la producción de conocimiento al contexto de la enseñanza. Análisis de una experiencia pedagógica. *Revista Colombiana de Educación* , 34.

Granés, J., & Caicedo, L. M. (2009). *Del contexto de la producción de conocimientos al contexto de la enseñanza. Analisis de una experiencia pedagógica*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Guidoni, P. (1987). *Guardare por sistema, guadare por variable*. Torino: Emme Edizioni.

Guidoni, P., Arca, M., & Mazzoli, P. (1990a). De la cultura común a la construcción de conocimientos especializados. In P. Guidoni, M. Arca, & P. Mazzoli, *Cómo enseñar ciencia, cómo empezar: reflexiones para la educación científica de base* (pp. 169-187). Rosa Sensat: Paidós Educador.

Guidoni, P., Arca, M., & Mazzoli, P. (1990b). Realidad y estructuras disciplinarias: iniciar a los niños en los criterios del conocer. In P. Guidoni, M. Arca, & P. Mazzoli, *Cómo*

*enseñar ciencia, cómo empezar: reflexiones para la educación científica de base* (pp. 139-165). Rosa Sensat: Paidós Educador.

Kelly, R. E. (1976). *A Systems Approach to Teaching. Association for Educational Communications and Technology Annual Conference*. California.

Kuhn, T. S. (1982). *La función de la medición en la física moderna, en la tensión esencial*. México: FCE/CONACYT.

Machado, J. M., Martínez, A. D., & Salvador, H. O. (1992). *Energía y sistemas: Conceptos relevantes en un programas para aprender física dirigido de ciencias de la salud. Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14 (1), 9-15.

Martínez, J. R. (2003). *Enfoque sistémico como estrategia para la enseñanza de la física*. México: Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Matthews, M. R. (1994). *Historia, filosofía de las ciencias: La aproximación actual. Enseñanza de las ciencias* (12(2)), 255-277.

Maxwell, C. (1925). *Matter and Motion*. Great Britain: The Sheldon Press.

Monroy, G. S. (1985, Marzo). *Enseñanza - Aprendizaje de conceptos de sistemas y la actividad profesional del ingeniero. Memoria 12a. Conferencia Nacional de la Asociación Nacional de Escuelas y Facultades de Ingeniería*.

Orozco, C., & J. C. (1996). *La dimensión histórico - filosófica y la enseñanza de las ciencias. Física y Cultura* (2).

Paty, M. (1991). *Le caractere historique del' adéquiation des mathematiques a la physique. Contribution a la recontre franco - espagnole sur l'histoire des mathematiques*.

Porlan, R. (2004). *El diario del profesor. Un recurso para la investigación en el aula*. In R. Porlan. Sevilla: Díada editora.

Rodríguez, & Romero. (1999).

Rojas, S. (2009, Febrero 6). *On the teaching and learning of physics: A Criticism and a Systemic Approach*. Retrieved Febrero 7, 2009, from arXiv: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009arXiv0902.1151R>

Romero, A. (2002). *La matematización de los fenómenos físicos: el caso de los fenómenos mecánicos y termicos. Análisis conceptuales y elementos para propuestas didácticas. Informe de investigación*. Medellín: Universidad de Antioquia, facultad de educación CIEP, Escuela Normal Superior María Auxiliadora.

Rosnay, J. (1975). *The macroscope: A new world scientific system*. (F. S. Vacas, Trans.) Madrid: Editorial AC.

Segura, D. (2008). La comprensión y la explicación. *La comprensión y la explicación*. Medellín: IV congreso sobre la enseñanza de la física.

Severino, A. J. (2000). *Metodología del Trabajo Científico*. Bogota: Cooperativa Editorial Magisterio.

Stake, R. E. (1998). *The Art of Case Study Reserch*. (R. Filella, Trans.) 1998: EDICIONES MORATA.

Zahn, E. O. (2003). *Vom systemischen Denken zur Methode System Dynamics*. Florian Kapmeier: Betriebswirtschaftliches Institut der Universität Stuttgart.

## 7. ANEXOS

### 7.1. Anexo 1: Algunos apuntes del diario pedagógico

#### 7.1.1. Clase 1

*Fecha: Abril 8 de 2008*

*Lugar: Universidad de Antioquia, bloque 9.225*

*Espacio de Conceptualización: Física de los Medios Continuos*

*Hora: 16-18.*

La clase comienza a las 4:10 pm. El profesor saca su computador portátil y llama a lista. Durante esta sesión se propone reflexionar acerca del taller conceptual introductoria de las temáticas de esfuerzo, deformación y modulo de elasticidad; las preguntas de este taller no serán consignadas en este diario, se anexaran al portafolio como anexo y se mencionaran algunas reflexiones y observaciones a partir de él

. Se “pierden” unos 15 minutos o más pues al docente escribe las preguntas en el tablero, podría ser mas practico entregar una copia por grupo. A pesar del murmullo y cambio de orden en las sillas, se ve claramente un ambiente de trabajo por parte de los estudiantes; se proponen 30 minutos para la discusión del taller.

Me planteo la pregunta: ¿Cómo se analizarían estos interrogantes a partir de la teoría de sistemas, que elementos conforman el sistemas, que relaciones se establecen entre ellos, cuales serian las ecuaciones y variables de estado?

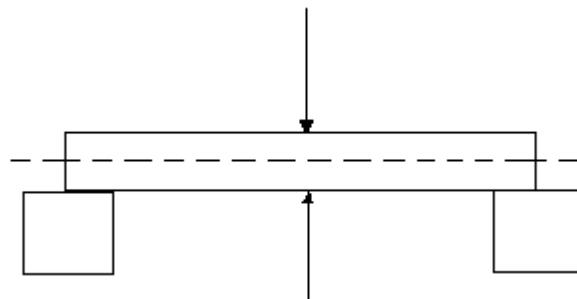
En cuanto a estos presento algunas acotaciones: el esfuerzo seria la variable de estado para analizar esta temática mirada por sistemas, es menester mencionar que el esfuerzo se genera a través de interacciones o fuerzas ejercidas; en cuanto a proporciones se establece que:

$$F \propto \frac{1}{A}$$

$$F \propto E$$

$$E \propto \frac{1}{A}$$

Donde  $F$  es la magnitud de fuerza,  $E$  es el esfuerzo y  $A$  es el área. Todos los cuerpos son deformables a pesar de que esto no sea evidente en todos. Para mí la deformación de los cuerpos depende de su límite elástico, se plantea en a socialización que esta puede depender de la fuerza deformadora, pero llego a la conclusión de que no es factor determinante, pues para analizar esta variable comparativa se debe interpretar esta fuerza como constante. Aquí me surge un nuevo interrogante: ¿en un material lo que se distribuye es el esfuerzo o la fuerza? Con el siguiente esquema se explica el fenómeno de la capa neutra



**Ilustración 4: Capa Neutra**

Aquí se explica que en una barra hay una capa neutra que no experimenta esfuerzos ni de tensión ni compresión; fenómeno que aun me es difícil comprender. ¿Un material puede ser más resistente a la compresión que a la tensión? Si, el concreto es un caso particular que presenta estas características, esto es algo no esperado pues el límite elástico no varía.

### 7.1.2. Clase 2

Fecha: Mayo 12 de 2008

Lugar: Universidad de Antioquia, bloque 9.225

Espacio de Conceptualización: Física de los Medios Continuos

Hora: 16-18.

En esta sesión se dan dos exposiciones de artículos de revista de las cuales anexo un plegable, fotografías y videos



## 7.2. Anexo 2: Diseño de clases

### 7.2.1. Diseño de Clase 1: Elasticidad y Plasticidad, esfuerzo de tensión y compresión

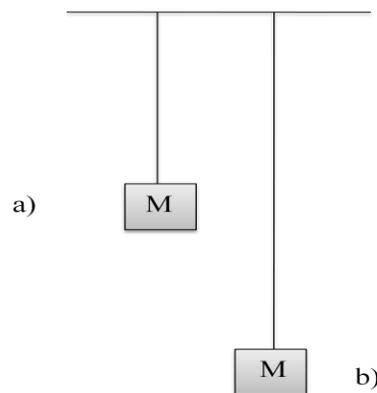
**Objetivo:** Definir el concepto de esfuerzo desde una postura diferenciada.

**Desarrollo del tema.**

**Situación problema:**

La clase iniciará con la una presentación de las siguientes preguntas para la elaboración del concepto de esfuerzo

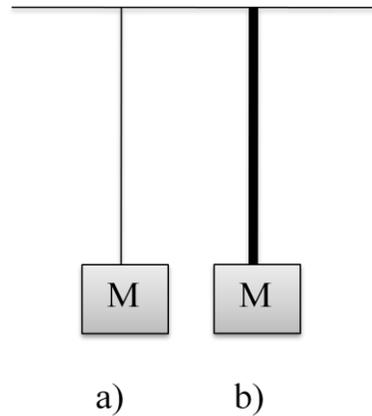
Pregunta 1. Se tiene dos cuerpos de igual masa, sostenidos por dos cuerdas de igual sección transversal y longitudes diferentes (situación). ¿En cuál de las dos situaciones, la cuerda se puede romper más fácil y cuál se deforma más? Justifique su respuesta.



**Ilustración 5: Tensión de una cuerda (Situación 1)**

Pregunta 2. Se tiene dos cuerpos de igual masa, sostenidos por cuerdas de diferente área transversal y longitudes iguales (situación 2). ¿En cuál de las dos situaciones, la cuerda se puede romper más fácil y cuál se deforma más? Justifica tu respuesta.

Pregunta 3. ¿Qué relación se puede establecer entre la fuerza, la deformación, la longitud de la cuerda y la sección transversal de la cuerda?



**Ilustración 6: Tensión en una cuerda (Situación 2)**

### **Presentación de la teoría.**

### **Clasificación en materiales elásticos, plásticos, fluidos.**

Si bien tanto los cuerpos elástico como los plásticos se oponen a ser deformados, los primeros buscan restaurar su condición de no deformación tan pronto cesan las acciones que lo han generado, mientras que los segundos no. Los cuerpos fluidos no oponen resistencia a la deformación, ni tienden a adoptar una forma particular, sin embargo, a igual que los cuerpos elásticos, se resisten a que su volumen sea alterado. (Ayala 2001).

### **Definición de deformación en cuanto a la forma y volumen.**

Las deformaciones dependiendo del material si es elástico, plástico o fluido, puede darse en cuanto a la forma en materiales elásticos y plásticos y fluidos y en cuanto al volumen en materiales plásticos.

### **Posturas para interpretar el esfuerzo:**

Desde la deformación, Se privilegia una forma natural del cuerpo. El cuerpo se deforma si una acción externa actúa sobre él y regresa a su forma natural y esta acción deja de actuar, similar al modo de pensar aristotélico. Desde los estados: No hay una forma natural del sistema, la forma depende del medio en el cual está el cuerpo. (De ahí la idea de medio). Para que el cuerpo recupere su forma usualmente llamada natural se necesita de una acción externa.

Esfuerzo según Maxwell, el esfuerzo existe únicamente entre dos porciones de materia, se puede interpretar equivalentemente a la tercera ley de Newton, como la causa de toda fuerza. Se distingue como tensión cuando la fuerza que actúa sobre cualquier porción se dirige hacia la otra, y como presión cuando la fuerza que actúa sobre cualquier porción se dirige alejándose de la otra.

Según Feynman, los esfuerzos son fuerzas internas entre partes vecinas del material, las cuales se pueden modificar si se aplican fuerzas externas sobre el material. Fuerza y esfuerzo son lo mismo.

Ley de Hooke, si la fuerza es suficientemente pequeña, el desplazamiento relativo de los diversos puntos en el material es proporcional a la fuerza.

$$F \propto \Delta L$$

$$F \propto \Delta L/L$$

$$F = YA \Delta L/L$$

Esfuerzo = (modulo de Young) (deformación específica)

Razón de Poisson

Cuando se estira un bloque de material en una dirección se contrae perpendicularmente al estiramiento.

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{\Delta h}{h} = -\sigma \frac{\Delta L}{L}$$

Esfuerzo según Cauchy y Lagrange.

Para Lagrange las presiones son las fuerzas de ligadura que se deben aplicar a una parte de los cuerpos para restablecer el equilibrio cuando sin suprimir ninguna de las fuerzas dadas que actúan sobre esta parte, se suprimieran los obstáculos que las partes vecinas de los cuerpos oponen a su movimiento.

Para Cauchy el esfuerzo en una densidad de fuerzas donde la dirección de esta se calcula por medio del cálculo tensorial.

Esfuerzo desde Sears y Serway.

Presentación de la ley de Hooke equivalente a la presentada por Feynman

$$\frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformacion}} = \text{Modulo de elasticidad}$$

Esfuerzo y Deformación por tensión y compresión

**Esfuerzo por tensión.**

$$\text{Esfuerzo de tension} = \frac{F_{\text{perpendicular}}}{A}$$

Unidades del esfuerzo están dadas en pascales y psi.

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa} = 1\text{N/m}^2$$

$$1 \text{ psi} = 6891 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1.451 \times 10^{-4} \text{ psi}$$

$$\text{Deformacion por tension} = \frac{l - l_i}{l_i} = \frac{\Delta l}{l_i}$$

Experimentalmente se observa que si el esfuerzo de tensión es pequeño, el esfuerzo y la deformación son proporcionales. El modulo de elasticidad correspondiente se denomina Modulo de YOUNG

$$Y = \frac{\text{Esfuerzo de tension}}{\text{Deformacion por tension}}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta l/l_i}$$

Se da en las mismas unidades de esfuerzo.

### Esfuerzo por compresión.

Hablar de los materiales compuestos, de la capa neutra, y de la geometría de las secciones transversales en términos de ingeniería. El modulo de corte mide la resistencia al movimiento de los planos de un sólido a deslizar uno sobre otro

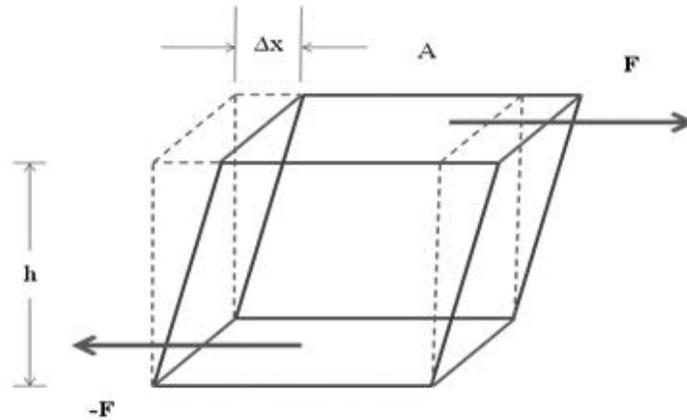


Ilustración 7: Esfuerzo por Cizalladura

$$S = \frac{\text{Esfuerzo de corte}}{\text{Deformacion de corte}}$$

$$S = \frac{F_{\text{tangencial}}/A}{\Delta x/h}$$

Módulo volumétrico

Mide la resistencia que sólidos o líquidos presentan a los cambios de volumen.

**Se resuelven ejercicios**

#### 7.2.2. Diseño de Clase 2: Deformación de volumen y cortante

**Objetivo.** Describir y explicar la deformación de un cuerpo.

**Desarrollo del Tema.**

**Deformación de volumen.**

Estudiaremos la deformación de bloque rectangular sometido a una presión hidrostática uniforme. Si suponemos que el bloque esta dentro del agua en un tanque de presión. Entonces habrá una fuerza actuando hacia el interior sobre cada cara del bloque, proporcional al área. Como la presión hidrostática es uniforme, el esfuerzo en cada cara del bloque es el mismo. Trataremos primero la variación de longitud. La variación de longitud del bloque se puede considerar como la suma de las variaciones de longitud que ocurren en los tres problemas independientes planteados a continuación.

Problema 1. Si presionamos sobre los extremos del bloque con una presión  $p$ , la deformación específica compresional es  $\frac{p}{Y}$  y es negativa:

$$\frac{\Delta l_1}{l} = -\frac{p}{Y}$$

Problema 2. Si presionamos sobre los costados del bloque con la presión  $p$ , la deformación compresional es otra vez  $p/Y$ , pero ahora queremos la deformación longitudinal. Podemos obtenerla de la deformación específica lateral multiplicada por  $\alpha$  la deformación lateral es

$$\frac{\Delta w}{w} = -\frac{p}{Y}$$

Así que

$$\frac{\Delta l_2}{l} = \alpha \frac{p}{Y}$$

Problema 3. Si presionamos verticalmente sobre el bloque, la deformación compresional es una vez más  $p/Y$  y la deformación correspondiente en la dirección lateral es otra vez  $-\alpha \frac{p}{Y}$ . Obtenemos

$$\frac{\Delta l_3}{l} = \alpha \frac{p}{Y}$$

Combinando los resultados de los tres problemas esto es tomando  $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3$

Por supuesto, el problema es simétrico en las tres direcciones, de lo cual se deduce

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{\Delta h}{h} = -\frac{p(1 - 2\alpha)}{Y}$$

La variación de volumen bajo una presión hidrostática también es de algún interés. Como  $V = lwh$ , podemos escribir, para desplazamientos pequeños,

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta w}{w} + \frac{\Delta h}{h}$$

$$p = -K \frac{\Delta V}{V}$$

Finalmente el esfuerzo es proporcional a la deformación de volumen, la ley de Hooke una vez más. El coeficiente  $K$  se llama módulo de elasticidad de volumen, esta relacionado con las otras constantes por

$$K = \frac{Y}{3(1 - 2\alpha)}$$

### **Deformación por corte**

Sometemos ahora el bloque rectangular a un esfuerzo de corte o de cizallamiento; Las fuerzas de igual magnitud pero dirección opuesta actúan de forma tangente a las superficies de extremos opuestos del objeto. Definimos el esfuerzo de corte como la fuerza  $F \parallel$  que actúa tangente a la superficie, dividida entre el área  $A$  sobre la que actúa:

$$\text{Esfuerzo de corte} = \frac{F \parallel}{A}$$

El esfuerzo de corte es igual que los otros dos tipos de esfuerzo, es una fuerza por unidad de área.

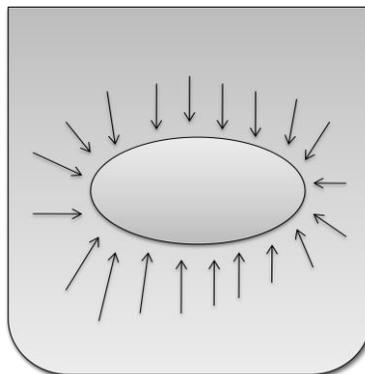
### Solución de ejercicios en clase

#### 7.2.3. *Diseño de Clase 3: Principio de Arquímedes*

**Objetivo.** Construir el principio de Arquímedes mediante la explicación del fenómeno de flotación.

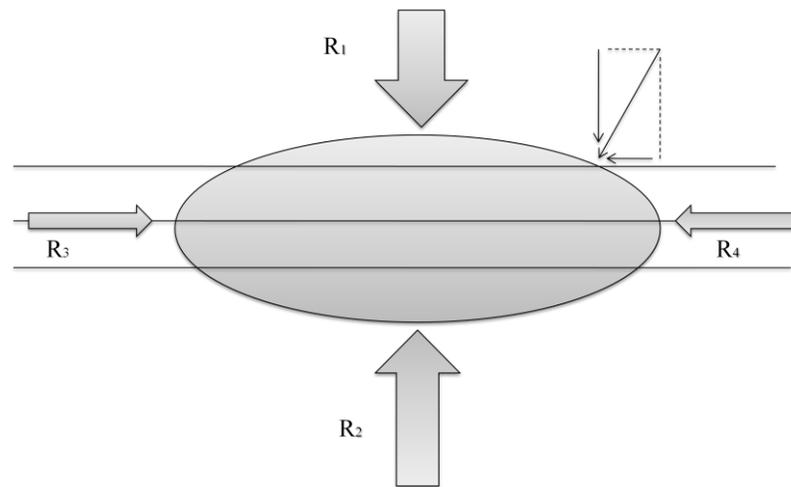
#### Desarrollo del tema

Para el estudio de fenómeno de la flotación, identificamos las variables características que posibilitan el fenómeno. Cuando tenemos un objeto sumergido en un fluido como el agua, los cuerpos que flotan no se dejan hundir y aquellos que son muy pesados fuera del fluido se hacen más livianos en él. Por ejemplo levantar una piedra del fondo de un río es relativamente fácil, mientras la piedra esté bajo la superficie. Sin embargo, cuando sube de la superficie, la fuerza requerida para levantarla aumenta en forma considerable. ¿Cómo se puede explicar esto? ¿Por qué es mucho más fácil levantar la piedra en el agua que fuera del agua? ¿Existe acaso alguna fuerza adicional que permite esto? ¿De ser así, cual es su causa y en qué dirección es ejercida?

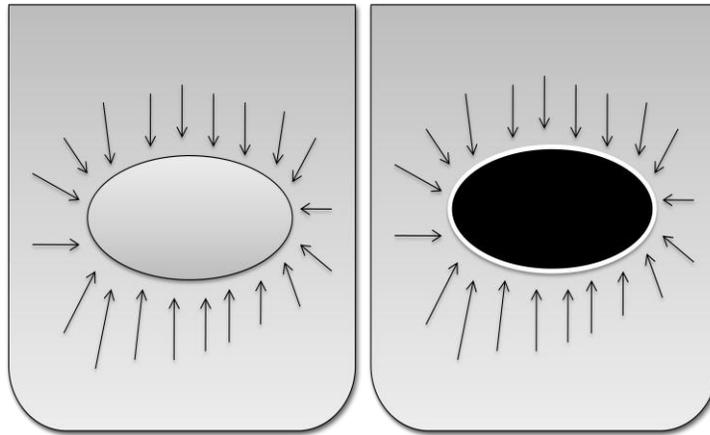


Esto se debe a que cuando la piedra está sumergida, el agua ejerce sobre ella una fuerza hacia arriba, que es exactamente igual a la dirección opuesta de la atracción de la gravedad. A esta fuerza se le llama fuerza de flotación y es consecuencia del aumento de la presión con la profundidad. Veamos por qué aparece esta fuerza y por qué su dirección es opuesta de la atracción de la gravedad.

Cuando tenemos un cuerpo sumergido en el agua, o en un fluido cualquiera, sobre el actúan fuerzas debidas a las presiones que el agua ejerce en todos los puntos contra el objeto, en una dirección perpendicular a la superficie del objeto.

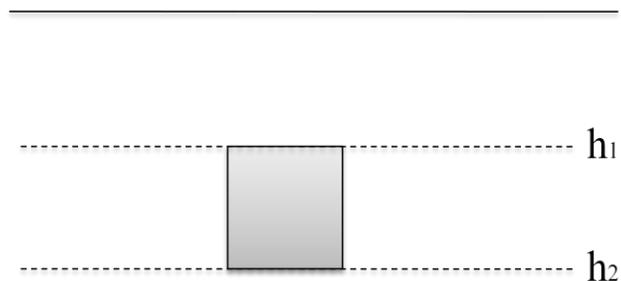


Los vectores de fuerza, contra los lados, a profundidades iguales, se anulan entre sí. Sin embargo, los vectores fuerza en dirección vertical no se anulan, pues, la presión es mayor en el fondo de la piedra, porque en el fondo esta a mayor profundidad. Así, las fuerzas hacia arriba, en la parte inferior, son mayores que las fuerzas hacia abajo en la parte superior, y se produce una fuerza neta hacia arriba, que es la fuerza de flotación o fuerza de empuje.



Nótese que esa fuerza no depende de la densidad del cuerpo sumergido, con cálculo sencillo se muestra que la fuerza de empuje es igual al peso del fluido desalojado, es decir depende de la densidad del fluido.

Cuando se arroja una piedra en un lago profundo, a medida que va hacia el fondo, ¿aumenta, la fuerza de flotación sobre él? ¿Disminuye? Dado que los fluidos como el agua son poco comprensibles la fuerza de flotación permanece constante, debido a que la diferencia de presiones permanece constante.



Así fácilmente se puede ver que:

$$F_E = \rho g(h_2 - h_1)A = gV_d$$

Donde  $F_E$  es la fuerza de empuje y  $V_d$  es el volumen desalojado.

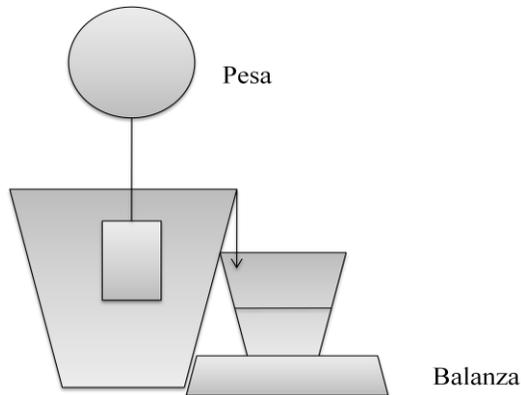
### Preguntas conceptuales

Se sumerge dos bloques de tamaño idéntico en agua. Uno de plomo y el otro es de aluminio. ¿Sobre cuál de ellos la fuerza de flotación es mayor?

Si un pez se hace más denso, se hundirá. Si se hace menos denso, subirá. En función de la fuerza de empuje, ¿Por qué es así?

El hierro es mucho más denso que el agua. Un trozo de hierro se hunde, como es natural, pero un barco de hierro flota. ¿Por qué?

### Experimento de Verificación



Se utilizan dos pesas, un cuerpo que se sumerge en un recipiente con agua, se mide el peso del objeto en el agua y se compara con el peso del fluido desplazado.

### Se resuelven ejercicios

#### 7.3. Anexo 3: Taller Introductorio. Concepto de presión

1. Todos los objetos punzantes como alfileres, puntillas, clavos, entre otros, se caracterizan por tener punta. ¿Qué fin se persigue con esto?
2. Un pasajero en un bus es pisado por una señora de 80kg, quien usa zapatos bajitos, mientras que otro es pisado con tacón de punta de una señora delgada de solo 45kg que usa zapatos altos. ¿Cuál de los dos sentirá más dolor?, ¿Por qué?
3. Si se desea atravesar un río congelado, ¿Cuál sería la mejor forma para evitar la ruptura del hielo?, ¿Por qué?
4. ¿Es mayor la presión en el fondo de una bañera llena de agua hasta una profundidad de 30cm o en el fondo de una jarra de agua de 35cm de profundidad?
5. Explica la diferencia entre fuerza y presión.

6. ¿Cuál es la relación entre la presión en un líquido y su profundidad? ¿y entre la presión en un líquido y su densidad?
7. ¿En qué proporción cambia la presión que el agua genera en un submarino cuando este se sumerge al doble de la profundidad anterior?
8. Si el submarino navegase en agua dulce, ¿experimentaría una presión mayor o menor que cuando lo hace en agua salada a la misma profundidad? ¿Por qué?
9. Si la presión aumenta con la profundidad, en donde hay más presión... ¿a nivel del mar o en un nevado?

#### 7.4. Anexo 4: Actividad de conceptualización



## SALTO CON PÉRTIGA

---

NOMBRE:

CARNÉ: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

*"La exigencia de enfrentarse con problemas reales en el intento de encontrar sus soluciones, representa pues, el elemento básico del integración entre los hechos y los lenguajes usados y desarrollados para representarlos de modo cada vez más eficaz...(Guidoni, 1990)"*

Objetivo: Construir una argumentación y descripción coherentes del fenómeno de salto con garrocha haciendo uso de unas variables



Figura 1

El **salto con pértiga** o **salto con garrocha** es una prueba del actual atletismo que tiene por objetivo superar una barra transversal situada a gran altura con la ayuda de una pértiga flexible. Esta pértiga tiene normalmente de 4 a 5 m de longitud y suele ser de fibra de vidrio y carbono, materiales que reemplazaron al bambú y al metal en la década de 1960.

El saltador toma la garrocha unos centímetros antes del final de la misma, efectúa una carrera progresiva hacia el foso, clava la punta de la pértiga en un cajetín metálico situado en el suelo, con una profundidad de 20 cm., y salta hacia adelante y arriba doblando la pértiga; se coloca en una buena posición para

recibir el impulso de la misma y extiende el cuerpo hacia arriba ayudándose del impulso de los brazos. Cruza el listón verticalmente con los pies por delante y luego cae en la colchoneta.

- Durante un salto, la garrocha pasa por un proceso de deformación. ¿Qué variables físicas, consideras necesarias para describir este proceso de la pértiga? justifica por qué la necesidad de cada una de estas variables.
- Si el atleta desea realizar un salto de mayor altura, y solo dispone de pértigas con diferentes grosores y materiales como la fibra carbono o el bambú, ¿cómo influyen estos materiales para llevar a cabo el salto?
- Durante la competencia, el atleta se lesiona en uno de sus saltos, el equipo cuenta con otros dos atletas, uno de ellos es más liviano y el otro es más pesado que el inicial. ¿Cómo deben ser sus velocidades para alcanzar un salto de igual altura que el atleta inicial? ¿Además de variar la velocidad de los atletas que pasa si se cambia el largo de la pértiga?