



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Apuntes sobre la teoría del cambio conceptual**

**Jaime Arturo Vélez Pardo**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias  
Medellín, Colombia  
2013



# **Apuntes sobre la teoría del cambio conceptual**

**Jaime Arturo Vélez Pardo**

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en enseñanza de las ciencias exactas y naturales**

Director:

M. Sc. Diego Luis Aristizábal Ramírez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ciencias

Medellín, Colombia

Año 2013



*La ciencia toda no es más que un refinamiento del pensamiento cotidiano. Ésta es la razón por la cual el pensamiento crítico de un físico no puede de ninguna manera restringirse al examen de los conceptos de su propio campo específico. No se puede avanzar apropiadamente sin considerar críticamente un problema mucho más difícil, el problema de analizar la naturaleza del pensamiento cotidiano.*

*Albert Einstein, Física y Realidad*



## **Agradecimientos**

Debo agradecer a la Universidad Nacional y a la Universidad de Antioquía por las facilidades que me brindaron para realizar este estudio de posgrado. También a mi director de trabajo, Prof. Diego Luis Aristizábal Ramírez por la gentileza y paciencia que ha tenido para conmigo como su estudiante.





## Resumen

Se presentan las ideas y teorías que dieron lugar a la teoría del cambio conceptual y las analogías realizadas para conformarla. Se presenta y comenta la teoría clásica del cambio conceptual desarrollada por Posner, Strike, Hewson y Gertzog, que dio origen a una rica y variada línea de investigación en enseñanza de las ciencias.

**Palabras clave:** Cambio Conceptual; Educación; Aprendizaje; Malas Concepciones; formación de los conceptos; aprendizaje de los conceptos.

## Abstract

The ideas and theories used to originate conceptual change theory are presented as well as the analogies made in order to conform it. The classical theory of conceptual change developed by Posner, Strike, Hewson and Gertzog that gave birth to a rich and diverse research line in science education is presented and commented.

**Keywords:** Conceptual change; Education; Learning; Misconceptions; Concept building; Concept learning.



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Los orígenes</b> .....	<b>5</b>
1.1 Las concepciones erradas .....	5
1.1.1 Los estudiantes tienen malas concepciones .....	6
1.1.2 Las malas concepciones tienen su origen en el conocimiento previo ....	8
1.1.3 Las malas concepciones pueden ser estables y tener amplia difusión entre los estudiantes. Las malas concepciones pueden ser robustas y resistentes al cambio.....	8
1.1.4 Las malas concepciones interfieren con el aprendizaje.....	10
1.1.5 Las malas concepciones deben reemplazarse .....	10
1.1.6 El proceso de instrucción debe confrontar las malas concepciones ....	10
1.1.7 La investigación debería identificar las malas concepciones .....	11
1.2 Jean Piaget.....	12
1.2.1 La psicología del desarrollo infantil.....	12
1.2.2 El aprendizaje constructivista .....	13
1.2.3 La entrevista clínica y la hipótesis del paralelismo .....	15
1.3 Las teorías del desarrollo científico.....	17
1.3.1 El empirismo clásico.....	17
1.3.2 El positivismo lógico .....	19
1.3.3 Thomas Kuhn.....	21
1.4 Resumen .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2. La teoría clásica del cambio conceptual</b> .....	<b>25</b>
2.1 La base epistemológica .....	26
2.2 Condiciones para la acomodación .....	28
2.3 Características de una ecología conceptual.....	30
2.4 El experimento.....	32
2.4.1 Inteligibilidad .....	32
2.4.2 Plausibilidad.....	35
2.4.3 Insatisfacción .....	37
2.4.4 Fecundidad .....	38
2.5 Características de la acomodación .....	38
2.6 Implicaciones educativas .....	39
2.6.1 Objetivos curriculares.....	39

---

2.6.2	Los contenidos.....	40
2.6.3	Estrategias de aula .....	41
2.6.4	El papel del profesor .....	41
<b>3.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>43</b>
3.1	Conclusiones.....	43
3.2	Recomendaciones.....	43
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>45</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1: Contexto para comprender el párrafo de los globos. ....</b>	<b>34</b>



## Introducción

Descifrar la manera en que pensamos, cuál es la estructura de nuestros razonamientos y cómo aprendemos son temas que han sido abordados desde la psicología, la filosofía y la educación a lo largo de la historia. Las tres son preguntas complejas para las que sólo existen respuestas parciales. Recientemente ha sido posible comprender mecanismos puntuales usando métodos reduccionistas provenientes de las ciencias naturales. Así por ejemplo se ha esclarecido el mecanismo neurofisiológico mediante el cual formamos nuestros recuerdos (Kandel, 2006), el descubrimiento de las neuronas espejo (Rizzolatti & Craighero, 2004), da luces sobre el aprendizaje vicario y la activación de las zonas motoras del cerebro cuando sólo imaginamos hacer un movimiento evidencia la influencia de nuestro cuerpo en nuestra forma de razonar.

Sería deseable tener modelos reduccionistas y completos del funcionamiento cerebral que nos permitieran contestar cómo pensamos y cómo aprendemos desde la fisiología, sin embargo este es un camino que apenas empieza a ser explorado, y las respuestas, por lo menos transitoriamente, han sido buscadas usando métodos indirectos como las entrevistas semiestructuradas, los cuestionarios, el análisis del discurso y el comportamiento y otros usados en la investigación en ciencias sociales.

El propósito de este escrito es describir el inicio de una línea de investigación iniciada en los años 80 que intenta explicar el proceso de aprendizaje de las ciencias naturales y en particular cómo se conforman y transforman los conceptos vulgares en científicos. Ese

intento como todos los intentos de explicación emprendidos por el hombre tiene las limitaciones aportadas por nosotros mismos, fruto de la evolución y de nuestra historia personal: Nuestra forma de percibir el mundo, nuestras intuiciones, las limitaciones y particularidades de nuestra forma de razonar, la importancia de nuestras creencias, las dificultades del proceso de comunicación, nuestro uso del lenguaje, lo que para nosotros significa aprender, nuestra idea de que son y para qué sirven las matemáticas, qué entendemos por ciencia, son aspectos determinantes en nuestra comprensión del mundo. De ellos dependen las preguntas que nos haremos y también las respuestas que seremos capaces de dar a estas preguntas.

Parto del supuesto de que nuestras operaciones mentales son realizadas por el cerebro, es decir que mente y cerebro son una sola cosa. Además nuestro cerebro está encarnado en nuestro cuerpo de tal forma que nuestras experiencias están mediadas y moduladas por éste. Nuestro cuerpo influye en las ideas que tenemos y los modelos que hacemos de la realidad, de manera similar a como influye en el tipo de herramientas que fabricamos; por ejemplo una cuchara nos habla el tamaño de la boca de sus fabricantes, y la aritmética decimal nos habla del número de dedos en nuestras manos y de la forma en que logramos superar nuestra limitación innata para contar más allá de cuatro. (Lakoff & Núñez, 2000). Nuestra experiencia sensoriomotora es una fuente de nuestro aprendizaje y responsable de nuestros modelos del mundo.

Parte muy importante de nuestro entorno son nuestros semejantes, somos seres sociales y hemos inventado medios para comunicarnos con los otros individuos de nuestra especie: el lenguaje hablado, nuestros gestos, los dibujos y diagramas, la escritura, las matemáticas. La comunicación con el prójimo nos permite compartir ideas, métodos, y creencias: estas son construcciones colectivas entre las que se cuentan reglas de convivencia, valores, ideologías y supuestos que conforman nuestra cultura. De manera similar a como lo hace nuestro cuerpo este entorno social determina las características del tipo de modelo que nos hacemos para el funcionamiento del mundo, del cerebro o de la sociedad.

Una vez establecidos estos supuestos básicos sobre mi forma de ver el mundo y el proceso de conocerlo podemos proceder a los puntos concretos del trabajo: ¿Cómo se



## Introducción

---

da ese refinamiento del pensamiento cotidiano, del que habla Einstein, para transmutarlo en conocimiento científico? ¿Cuál es la materia prima a refinar? ¿Cuál es la estructura del conocimiento cotidiano? ¿Cómo favorecer el aprendizaje de las ciencias?

Estas son las preguntas básicas que se han tratado de responder mediante las teorías del “cambio conceptual” que se han desarrollado durante los últimos 30 años. Estas teorías, tienen su origen en el hallazgo, para algunos sorprendente, de que los estudiantes de ciencias a lo largo de su vida han construido explicaciones intuitivas de los fenómenos cotidianos, y que estas intuiciones son persistentes y resistentes a la instrucción., (McCloskey, 1983), (Hestenes & Halloun, 1985).

La formación de estas ideas o pre conceptos no ha sido tradicionalmente tomada en cuenta en los procesos canónicos de instrucción, que se limitan a exponer con precisión las teorías científicas, asumiendo la mente del estudiante como una tabula rasa en la que el instructor transcribe una teoría correcta y se asume que comprenderla y recordarla es la misma cosa<sup>1</sup>. La existencia de estas ideas persistentes que se ha dado en denominar pre concepciones o eventualmente malas concepciones haciendo énfasis en las que dificultan el proceso de aprendizaje, se explica por la construcción autónoma del conocimiento por parte de los individuos a partir de su experiencia cotidiana o de procesos de instrucción. Además la existencia de estas ideas hace que la construcción del conocimiento mediante un proceso de instrucción se asemeje más a la construcción de una casa, no sobre un lote baldío, sino sobre un terreno ya edificado, de tal forma que el resultado final se ve afectado por lo ya existente y habrá partes de la construcción que se pueden reusar y parte que tiene que ser demolida para dar lugar a la nueva casa. (Reif, 2010)

Las explicaciones buscadas para dar cuenta de estos conocimientos previos de los estudiantes van desde conceptos asociados por teorías razonadas pero implícitas que de forma inconsciente son construidas por los individuos para afrontar el día a día, hasta

---

<sup>1</sup> Una descripción satírica esta situación es que el conocimiento pasa de la boca del profesor directamente al cuaderno del estudiante sin jamás pasar por el cerebro de ninguno de los dos. (Mazur E. , 2009)

explicaciones basadas en ideas elementales, muy ligeramente abstractas y altamente dependientes del contexto, que pueden ser articuladas por el individuo de diversas maneras al ser activadas por una pregunta o situación.

Este escrito se limita a realizar una exposición, espero que clara y detallada, de los elementos que permitieron la elaboración de la teoría y del artículo seminal de Posner et alia (1982), que originó la línea de investigación. Busca brindar los conocimientos básicos que permitan comprender los desarrollos posteriores. Son entonces objetivos de este estudio presentar los antecedentes que dan lugar a estas teorías: la existencia de las pre concepciones, los desarrollos de Piaget sobre el desarrollo infantil y analogías del aprendizaje con el desarrollo del conocimiento científico. Una vez claros los antecedentes se presentará la teoría clásica del cambio conceptual desarrollada por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982). Se espera que este escrito brinde bases suficientes para enfrentar la discusión de otras teorías del cambio conceptual desarrolladas posteriormente y las polémicas que se han dado entre ellas.

# 1. Los orígenes

En este primer capítulo espero tratar los orígenes de las teorías del cambio conceptual, esto es la razón de su aparición y las herramientas teóricas y las analogías de las que se valieron sus creadores en la conformación de éstas.

## 1.1 Las concepciones erradas

La teoría de que los procesos de instrucción son efectivos para lograr cambiar las ideas de la gente se vio seriamente comprometida por investigaciones desarrolladas a finales de los años 70 y de forma más intensa en los 80 en las que se realizaban preguntas elementales sobre las ideas más básicas de las ciencias a estudiantes que ya habían completado su proceso de instrucción y aprobado los exámenes respectivos y se encontró que la mayoría de los entrevistados carecían de las nociones más básicas y fundamentales requeridas en estas disciplinas y que muy frecuentemente sus ideas resultaban contradictorias con las establecidas científicamente, a las que habían estado expuestos en sus procesos de enseñanza aprendizaje, cuyas evaluaciones habían superado con éxito<sup>2</sup>. (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992), desarrollaron un cuestionario para detectar concepciones erradas en el concepto de fuerza y lo aplicaron a sus estudiantes de Arizona State University detectando que los estudiantes que ya habían tomado los cursos de física exhibían grandes deficiencias conceptuales en temas tan básicos como éste. La experiencia fue replicada por Eric Mazur en la Universidad de Harvard, quien con sorpresa encontró los mismos resultados en sus estudiantes,

---

<sup>2</sup> La resistencia a la instrucción de estas pre concepciones alcanzó notoriedad por el vídeo "a private universe" producido por la sección de educación del observatorio Harvard Smithsonian en 1987 en el que los graduandos de esta universidad respondían preguntas respecto al origen de las estaciones afirmando que éstas se dan por variaciones de la distancia tierra sol. Haciendo evidente que la calidad de la instrucción brindada no bastaba para erradicar este tipo de concepciones.

(Beichner, 2009), hecho que lo llevó a cambiar de forma radical su forma enseñanza (Lasry, Finkelstein, N., & Mazur, 2009) (Mazur E. , 2009) (Mazur E. , 1997).

Se encontró además que estas ideas erradas eran compartidas por diversos grupos de estudiantes en diversos lugares del mundo (Özdemir & Clark, 2007), y que están relacionadas con el conocimiento intuitivo, producto de abstracciones realizadas a partir de las experiencias cotidianas. Se identificó este tipo de conocimiento con teorías y conceptos desarrollados por los estudiantes de manera previa al proceso de instrucción, dándoles por nombre pre concepciones, concepciones alternativas o malas concepciones, dependiendo del énfasis que quisiera hacer el investigador en su existencia previa, en su carácter no científico, o en su condición de estar erradas al ser comparadas con el correspondiente concepto científico.

La mayoría de las investigaciones se enfocó en la descripción de las ideas de los estudiantes, especialmente de aquellas que sistemáticamente producían conflictos en el aprendizaje de las ideas científicas, antes, durante, y después del proceso de enseñanza aprendizaje, una variación importante fue el diseño de preguntas y exámenes para la detección de estas concepciones alternativas y otra el desarrollo de teorías o marcos teóricos para relacionar estas concepciones alternativas al proceso de aprendizaje.

La investigación sobre las malas concepciones ha sido copiosa (Duit, 2009)), y diferentes investigadores tienen posiciones diversas respecto a los resultados y las teorías construidas a partir de los datos experimentales. Sin embargo resulta importante identificar las afirmaciones generales sobre su existencia, características e impacto sobre el aprendizaje, mencionadas en los artículos dedicados al tema.

Una cuidadosa clasificación de las afirmaciones generales encontradas en la literatura sobre el tema la realizan (Smith, diSessa, & Roschelle, 1993) y procederé a exponerla.

### **1.1.1 Los estudiantes tienen malas concepciones**

Existen conocimientos previos, aportados por los estudiantes al proceso de instrucción. Antes de que se les enseñen los conceptos de las ciencias, los estudiantes tienen ideas

que les permiten explicar algunos de los fenómenos estudiados por las ciencias, pero estas difieren de los conceptos presentados en clase. Estos conceptos previos deben ser tenidos muy en cuenta precisamente por lo que difieren de los contenidos a enseñar y son usados de manera sistemática y cotidiana por los estudiantes en sus razonamientos. Ya desde (1929) Piaget, se había encontrado que los niños construyen ideas para explicar los fenómenos que perciben, lo novedoso en estos estudios en los años setentas y ochentas es encontrar lo difícil que resulta olvidar o reestructurar estos modelos infantiles que se concebían como fáciles de sustituir. Ver por ejemplo (Carey, Oct. 1986) para encontrar comparaciones de las teorías de Piaget con teorías de los años 80 y su similitud con las teorías del cambio conceptual en educación.

Estas ideas de los estudiantes han sido llamadas de diferentes maneras por diferentes investigadores, el término más usado es mala concepción, (misconception que es el término estándar), (Vosniadou S. , 2008), que implica una comparación directa con el concepto científico y enfatiza el hecho de que es una idea equivocada. Otros términos incluyen pre concepción, concepción alternativa, creencias inocentes, creencias alternativas, marcos de referencia alternativos y teorías inocentes, cada uno estos apelativos denota la posición de los investigadores sobre las características del pensamiento de los estudiantes al ser comparado con el de los expertos en el tema.

Es importante hacer notar que inferir las concepciones hipotéticas del estudiante a partir de los errores cometidos por este último es responsabilidad del investigador y producto de su teoría de observación<sup>3</sup>. Es el investigador quien clasifica si lo errado es un concepto, una creencia, un modelo y además si el estudiante ha construido o no una teoría de interpretación de la realidad. En este sentido las ideas previas del investigador se hacen manifiestas al identificar y clasificar las propiedades de la mala concepción.

---

<sup>3</sup> Se denomina teoría de observación la serie supuestos básicos e indudables usados por el investigador para interpretar sus observaciones y experimentos. Así por ejemplo, cuando el cardenal Roberto Bellarmino, después de observar los astros por el telescopio de Galileo en 1611, (Lattis, 1994) pidió a los matemáticos jesuitas del Colegio Romano corroborar las afirmaciones de Galileo, la negativa a aceptar la existencia de montañas en la Luna por parte de Cristoph Clavius, no constituye un acto de terquedad para ignorar la realidad, sino más bien la descalificación de las observaciones hechas con ese aparato y también de los sentidos como fuente de conocimiento certero, dado que ni uno ni los otros hacían parte de los métodos aceptados por la tradición escolástica como herramientas válidas para conocer la verdad.

### **1.1.2 Las malas concepciones tienen su origen en el conocimiento previo**

Hay consenso en que las malas concepciones provienen del aprendizaje previo realizado por el estudiante, bien en su experiencia cotidiana, o mediante procesos de instrucción que ha tenido previamente. Por ejemplo, en el caso de la pre concepción “el movimiento implica una fuerza”, (Clement J. , A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students, 1983) explica “tiene raíces en experiencias cotidianas perceptuales y motoras obtenidas empujando y jalando cuerpos” (p. 337). En otros casos las malas concepciones provienen de aprendizaje formal previo, que se aplica en un contexto en el que no es válido. Un ejemplo típico de esta última clase de malas concepciones esta aplicación de la ecuación  $v = x/t$  a problemas donde  $v$  es variable, situación observada por prácticamente todos los docentes del primer curso de física en la universidad. Este uso fuera de contexto de ecuaciones es una de los principales fuentes de malas concepciones en matemáticas, disciplina en la cual la instrucción juega un papel muy importante, por lo limitado y elemental del conocimiento que se logra autónomamente.

En general podría afirmarse que las malas concepciones consisten en aplicar conceptos, si no válidos, por lo menos perfectamente funcionales y satisfactorios para el individuo en un contexto, a contextos diferentes en los que su aplicación conduce al error.

### **1.1.3 Las malas concepciones pueden ser estables y tener amplia difusión entre los estudiantes. Las malas concepciones pueden ser robustas y resistentes al cambio**

Las malas concepciones son más que ideas tentativas, hipótesis de trabajo, o conjeturas usadas por la gente para explicar un fenómeno, que pueden ser descartadas fácilmente: “Estas malas concepciones aparecen de forma consistente antes y después de los procesos de instrucción en un número sustancial de estudiantes y adultos, en una amplia variedad de temas y son frecuentemente defendidas con vehemencia” (Smith, diSessa, & Roschelle, 1993).

John Clement, (1982) uno de los pioneros en el estudio de las malas concepciones, que él llamó pre concepciones, verificó que la mala concepción mencionada previamente “el movimiento implica una fuerza”, es invocada de manera sistemática en distintos

contextos por ejemplo al lanzar una moneda al aire, el movimiento de los péndulos y el movimiento de naves espaciales. Indicó que las malas concepciones en mecánica newtoniana “están profundamente enraizadas y son resistentes al cambio” (Clement J. , 1987)(). También identificó tempranamente problemas frecuentes de los estudiantes al transcribir en ecuaciones problemas descritos verbalmente, mediante tablas o gráficamente, mostrando que no se trata de simples malos entendidos, (Rosnick & Clement, 1980) y que son persistentes aún después de la exposición a las teorías científicas.

Estela Vosniadou y William Brewer (1992), identificaron dificultades de los estudiantes para identificar la Tierra como un cuerpo celeste, y no un objeto de la vida cotidiana, comprender la acción de la gravedad del cuerpo de forma esférica y conciliarla con su percepción de una Tierra plana, en que los objetos se mueven de arriba abajo de forma “natural”. Mostraron además que el concepto que los niños tenían de la Tierra estaba constreñido por una teoría marco en que la Tierra es un objeto físico es plana y está quieta.

(Smith, Carey, & Wiser, 1985) Identificaron malas concepciones en los conceptos de materia, peso y densidad, encontrando evidencias de un uso indiferenciado de los conceptos peso y densidad con malas concepciones del tipo “el más grande es más pesado”.

Michael Mc Closkey, (1983) afirma que las teorías inocentes sobre el movimiento encontradas en estudiantes de pregrado en la Universidad Johns Hopkins son “consistentes en diferentes individuos”, “muy fuertemente mantenidas” y “no fácilmente cambiadas por la instrucción en clase” y que son similares a las teorías del ímpetus mantenidas Jean Buridan en la Universidad de París en el siglo XIV: “presentamos evidencias de que nuestros sujetos indudablemente tienen una teoría inocente del ímpetus. Más aún mostramos que muchos de los errores observados para nuestros problemas siguen de esta teoría básica y de las elaboraciones específicas de ella desarrolladas por los sujetos”

### **1.1.4 Las malas concepciones interfieren con el aprendizaje**

Debido al hecho de estar erradas y ser muy persistentes, las malas concepciones interfieren con el aprendizaje de los conceptos científicos. Un ejemplo muy notorio es el ya mencionado: “movimiento implica fuerza”, (Clement J. , 1982) que resulta muy difícil de erradicar. La interferencia con el aprendizaje también se hace manifiesta por el desarrollo de modelos sintéticos donde los estudiantes tratan de conciliar sus pre concepciones con las teorías científicas que están tratando de aprender. (Vosniadou & Brewer, *Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood*, 1992), (Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008), muestran cómo los niños se hacen modelos de la Tierra en que concilian su creencia de que qué es plana con la enseñanza de que es redonda imaginándola como un disco o pastel, en que los hombres habitamos en la parte superior, o modelos dobles en que hay una tierra plana en que habitamos y otra que es un planeta esférico que está en el firmamento.

### **1.1.5 Las malas concepciones deben reemplazarse**

La gran cantidad de concepciones erróneas y su ubicuidad, hacen que para aprender ciencias estos conceptos, deban ser reemplazados por otros. Éste es el argumento dominante en la mayor parte de investigaciones sobre malas concepciones y psicología del desarrollo: Se realiza una transición entre ideas de tal forma que la idea previa es desechada en favor de la recién aprendida. Obligatoriamente surgen preguntas respecto a este proceso de reemplazo: ¿el reemplazo es inmediato, o más bien se va dando a lo largo del tiempo? ¿O tal vez la pre concepción sobrevive y sigue siendo útil en el contexto del cual surgió en primer lugar? (Moreira & Greca, 2003)

### **1.1.6 El proceso de instrucción debe confrontar las malas concepciones**

Para aprender ciencias y matemáticas resulta necesario abandonar las malas concepciones en el proceso de aprender los conceptos científicos. Para lograr esta meta resulta importante hacer explícitas las ideas de los estudiantes y algunos autores recomiendan confrontarlas para lograr su “reemplazo” por las ideas científicamente válidas. Esta es la posición clásica predicada por Posner et alia en su artículo seminal sobre cambio conceptual (1982). La idea del reemplazo de una concepción errada por una científica, surge de la idea de que ante la falsación de su teoría, el estudiante de



manera rápida y racional estaría dispuesto a abandonarla, y que también rápida y racionalmente estaría dispuesto a aceptar la verdad científica en su reemplazo.

Esta manera de confrontar las malas concepciones, mostrando al estudiante como su pre concepción conduce a errores, supone un enfoque absolutamente racional del problema: basta con falsar la idea del estudiante para que éste la abandone. Otros enfoques sobre el cambio conceptual tienen en cuenta la dificultad y el tiempo que lleva entender una nueva idea y aprenderla, (fijar un nuevo concepto en nuestra memoria implica desarrollar nuevas sinapsis a nivel de la corteza cerebral, proceso que se logra con el tiempo y la repetición). Además este enfoque ignora aspectos motivacionales que puede resultar claves en el aprendizaje. (Pintrich, Marx, & Boyle, 1993)

La confrontación ha sido usada como estrategia pedagógica estándar en diversos textos, en el caso de la física podemos mencionar el libro de Stepans (Targeting physical science misconceptions using the conceptual change model, 2011) y el texto desarrollado por el grupo de investigación en educación en física de la Universidad de Washington (Tutorials in introductory physics, 2002). Otras estrategias diferentes a la confrontación son posibles al identificar que no todas las pre concepciones son malas concepciones como lo sugiere Clement quien desarrolló un método para usar apropiadamente algunas pre concepciones como ancla para a través de ellas lograr llegar al concepto científico apropiado. (Camp & Clement, 2010).

### **1.1.7 La investigación debería identificar las malas concepciones**

Identificar las malas concepciones en las que frecuentemente incurren nuestros estudiantes es una tarea útil, y de hecho, ha sido la que mayor cantidad de investigaciones ha producido. Un énfasis menor tuvo en los años 70 y 80 del siglo pasado la creación de modelos que describan apropiadamente el aprendizaje de las ciencias, y los mecanismos y estructuras que lo hacen posible, explicando la aparición de las pre concepciones y su evolución. En los últimos 20 años los desarrollos de las neurociencias y la investigación sobre aprendizaje han progresado muchísimo, haciendo que cada vez más aprender y enseñar dejen de considerarse artes y empiecen a desarrollarse como ciencias. (NRC, 2000), (Ambrose, 2010). Sin embargo qué es un

concepto, cómo se forma, cómo evoluciona y muy especialmente su relación con el contexto sigue siendo tema de investigación en que las respuestas son aún escasas y poco satisfactorias. (Lakoff G. , *Women, fire and dangerous things*, 1987)

## 1.2 Jean Piaget

Varias ideas y métodos de Piaget inspiran el estudio de las pre concepciones, la teoría del desarrollo infantil, el constructivismo, la entrevista clínica y la hipótesis del paralelismo entre la psicogénesis y el desarrollo de las ciencias y los conceptos de asimilación y acomodación, juegan papeles importantes en la aparición y desarrollo de las teorías del cambio conceptual.

### 1.2.1 La psicología del desarrollo infantil

Los estudios sobre el desarrollo infantil ya habían mostrado desde fines de los años 20 y principios de los 30 que los niños tienden a desarrollar sus propias ideas sobre la naturaleza del mundo, que se interpretaban como formas primitivas de entendimiento, que, con el transcurso del tiempo, mientras el niño superaba las diversas etapas del desarrollo, y progresaba en su formación escolar se irían transformando en conceptos más maduros y abstractos. Citando a Munari (1994) Desde una de las interpretaciones del constructivismo genético, situada el nivel de la psicología del niño, se ven *“los estadios del desarrollo infantil en el sentido de un escalón, una etapa precisa y necesaria en la construcción del edificio de la cultura, etapa determinada por la naturaleza misma, casi biológica, del proceso de crecimiento y que, según se entiende, representa un logro estable y sólido sin el cual toda construcción posterior sería imposible”*. De esta manera, el cambio conceptual depende de manera fundamental en el transcurso del tiempo y se espera que los niños al madurar abandonen con facilidad estas creencias previas.

Al descubrirse la dificultad, no prevista, para modificar o erradicar las pre concepciones, estas ideas inocentes sobre la naturaleza del mundo empiezan a entenderse ya no simplemente como formas primitivas de entendimiento, sino como explicaciones personales, que son correctas y creíbles desde el punto de vista de su autor.

Los aportes de Piaget e Inhelder ilustran las ideas intuitivas de los niños acerca del mundo físico, así como sus progresos en lógica y matemáticas. A este último aspecto se

le da prioridad en sus investigaciones, haciendo una búsqueda sistemática de los procesos lógico matemáticos que sustentan el razonamiento, que es usado junto con el desarrollo propio de la edad para demarcar los estadios de madurez en el pensamiento infantil.

Esta priorización da como resultado una teoría del desarrollo infantil de carácter general, que no diferencia desarrollos en distintas áreas del conocimiento, (como por ejemplo conocimiento de la naturaleza inerte, de los seres vivos o de otras personas), en la que el desarrollo infantil se centra en la capacidad de abstracción, los niños transitan, de acuerdo a esta teoría de un estado de pensamiento concreto donde sólo existen el aquí y el ahora, a estados en los que se logra progresivamente la abstracción, a medida que la edad de los niños aumenta. Es de notar que esta teoría considera las habilidades lógicas matemáticas desarrolladas por los niños como indicadores de su estado de desarrollo intelectual, de manera independiente a los contextos en los que estas habilidades son desarrolladas.

### **1.2.2 El aprendizaje constructivista**

Piaget es un constructivista :*“Toda la psicología contemporánea nos enseña que la inteligencia procede de la acción”* (Piaget, 1950) y *“Una verdad aprendida no es más que una verdad a medias mientras que la verdad entera debe ser reconquistada, reconstruida o redescubierta por el propio alumno”*(Ibid.), ideas que aunque provienen en su experiencia con los niños tienen aplicación general: *“los métodos activos que recurren a este trabajo a la vez espontáneo y orientado por las preguntas planteadas, trabajo en que el alumno redescubre o reconstruye las verdades en lugar de recibirlas ya hechas, son igualmente necesarios para el adulto que para el niño. ... Cabe recordar, en efecto, que cada vez que el adulto aborda un problema nuevo, el desarrollo de sus reacciones se asemeja a la evolución de las reacciones en el curso del desarrollo mental”* (Piaget, 1965)

Durante la década del 70, prácticamente todas las investigaciones sobre malas concepciones usaron como herramienta básica de trabajo las teorías de Piaget sobre el

aprendizaje y el desarrollo infantil (Erickson, 1980), haciendo el símil entre las pre concepciones y las ideas infantiles y el conocimiento experto y las ideas del adulto.

Piaget, en su teoría sobre el funcionamiento de la inteligencia establece que la mente humana funciona de acuerdo a dos “funciones invariantes”: organización y adaptación. Los procesos psicológicos están organizados en sistemas coherentes y estos sistemas pueden adaptarse a los estímulos cambiantes del entorno. La función de adaptación opera a través de dos procesos complementarios: la “asimilación” y la “acomodación”.

La asimilación y la acomodación nos permiten ir reestructurando nuestro modelo del mundo, y son dos funciones que permanecen invariantes durante el desarrollo. La primera se activa cuando adquirimos nuevos conocimientos que no exigen una reestructuración de nuestro modelo, es decir cuando la nueva información es compatible con nuestras ideas previas. El mecanismo de acomodación implica modificar nuestra organización cognitiva actual, obligando a una reestructuración para lograr integrar la nueva información. Este modelo explica la integración de nuevos conceptos al cuerpo de conocimientos ya adquiridos por el aprendiz

Resulta claro que la existencia de explicaciones auto-confeccionadas, correctas o no, es una confirmación de la construcción autónoma del conocimiento por las personas. Esto implica aceptar que los aprendices afrontan el proceso de adquisición de nuevos conocimientos armados con concepciones previas que son usadas para entender los nuevos conceptos. A este respecto Rosalind Driver (1979) afirma:

*“... Los aprendices, como los científicos, llegan a las clases de ciencias con algunas ideas o creencias ya formuladas. Estas creencias afectan las observaciones que hacen y las inferencias que sacan de ellas. Los aprendices, como los científicos han construido una visión del mundo que les permite abordar la situación. Cambiar esta visión del mundo no es tan sencillo... También conlleva ayudarlos a reconstruir sus teorías o creencias, para llevar a cabo, podría decirse, los cambios de paradigma que han ocurrido en la historia de la ciencia.”*

### 1.2.3 La entrevista clínica y la hipótesis del paralelismo

La entrevista clínica es un método desarrollado por Piaget, para interrogar al niño en que se combinan la psicología clínica, la epistemología, la lógica y la historia de las ciencias (Munari, 1994) Con ella se pretende tener un mejor acceso al sistema conceptual del niño que el provisto por métodos psicométricos o la observación del comportamiento. Es una modificación de la entrevista psicoanalítica de principios del siglo XX en la que en vez de tratar de diagnosticar las neurosis se busca motivar el pensamiento y diagnosticar las formas de razonamiento del niño (Sherin, Krakowski, & Lee, 2012), sobre ella afirma Munari (Munari, 1994):

*“La originalidad del estudio del pensamiento infantil que realiza Piaget se basa en efecto en el principio metodológico según el cual la flexibilidad y la precisión de la entrevista en profundidad, que caracterizan el método clínico, deben modularse mediante la búsqueda sistemática de los procesos lógico-matemáticos que subyacen a los razonamientos expresados; además, para realizar este tipo de entrevista, es preciso remitirse a las distintas etapas de elaboración por las que pasó el concepto que se examina en el curso de su evolución histórica. La metodología de Piaget se presenta, pues, de entrada, como un intento de asociar los tres métodos que la tradición occidental hasta entonces mantenía separados: el método empírico de las ciencias experimentales, el método hipotético-deductivo de las ciencias lógico-matemáticas y el método histórico-crítico de las ciencias históricas”.*

Este tipo entrevista ha sido una de las herramientas básicas usadas por los investigadores para confirmar sus teorías del cambio conceptual. Es importante hacer notar dos cosas al respecto: la primera que el contexto en que sea da entrevista difiere del contexto en que regularmente se realiza el aprendizaje esto es el aula de clase, la segunda, que Piaget realiza *“la búsqueda sistemática de los procesos lógico*

*matemáticos que subyacen los razonamientos expresados*”, y que en este proceso se desechan los contextos en los cuales se dan estos razonamientos lógico matemáticos<sup>4</sup>.

También es de autoría de Piaget la famosa hipótesis de un “paralelismo” entre los procesos de construcción del conocimiento a nivel individual y los procesos del descubrimiento científico, hipótesis usada con cierta frecuencia por los investigadores de las malas concepciones, por ejemplo Mc Closkey atribuye el origen de la mala concepción el movimiento requiere una fuerza al uso de una teoría del ímpetus similar a la propuesta por los académicos de la Universidad de París en el siglo XIV. A este respecto vale la pena citar de nuevo a Munari (1994):

*“En particular, el postulado básico de la psicoepistemología genética según el cual la explicación de todo fenómeno, sea físico, psicológico o social, debe buscarse en su propia génesis y no en otra parte ha contribuido a dar un nuevo papel a la dimensión histórica tanto en la práctica pedagógica como en la reflexión sobre la educación. Toda teoría, todo concepto, todo objeto creado por el hombre fue anteriormente una estrategia, una acción, un gesto. De este postulado básico nace entonces una nueva norma pedagógica: si, para aprender bien, es necesario comprender bien, para comprender bien es preciso reconstruir por sí mismo no tanto el concepto u objeto de que se trate sino el recorrido que ha llevado del gesto inicial a ese concepto o a ese objeto. Además, este principio puede aplicarse tanto al objeto del conocimiento como al sujeto que conoce, de ahí la necesidad de desarrollar paralelamente a todo aprendizaje una meta reflexión sobre el proceso mismo de aprendizaje”.*

Esta idea de asemejar la construcción del conocimiento personal con la construcción del conocimiento colectivo fue explorada más ampliamente por George Kelly (1955), que desarrolló la psicología de constructos personales basado en la analogía “el hombre es un científico”.

---

<sup>4</sup> Quiero hacer énfasis en que Piaget no se interesaba en los contextos en que se dan estos razonamientos lógicos matemáticos, que si fueron el interés de las investigaciones sobre malas concepciones.

Esta analogía “el hombre es un científico”, podría sugerir entonces que en el proceso de aprendizaje se dan situaciones similares, en las que conceptos inocentes o infantiles son abandonados en favor de otros conceptos más elaborados y con mayor poder explicativo. Esta analogía resulta central en las nuevas teorías del desarrollo infantil (Gopnik, 2010) y en la teoría clásica del cambio conceptual, vale la pena revisar tanto la visión clásica del desarrollo científico, como los cambios de perspectiva que se dan por el trabajo en grupo de filósofos en el cual definitivamente sobresale Thomas Kuhn, ese es el tema de la próxima sección.

### **1.3 Las teorías del desarrollo científico**

A principios de los años 60 Thomas Kuhn publica “La estructura de las revoluciones científicas”, libro en el cual se aparta de manera radical de nociones que tradicionalmente se habían supuesto ciertas respecto al desarrollo de la ciencia, poniendo en duda ideas fundamentales, como que la ciencia nueva se basa en las teorías anteriores, o que las teorías más nuevas son mejores aproximaciones a la verdad que las teorías previas. Para él la ciencia no se desarrolla de manera lineal y acumulativa, sino que períodos de este tipo de desarrollos son seguidos de “revoluciones revisionistas”, precipitadas por la incapacidad de la teoría de dar cuenta de fenómenos anómalos, que se van acumulando y generan desconfianza de la comunidad respecto a las capacidades de la teoría. Durante estos períodos extraordinarios se da una competencia entre teorías rivales, que se resuelve por la aceptación de la comunidad científica de alguna de ellas que ofrece más ventajas, a esta comunidad, que las otras opciones. Durante estas revoluciones como es de esperarse las teorías sufren cambios radicales (Kuhn T. S., 2012). Con el ánimo de comprender claramente la teoría Kuhniana del desarrollo científico resulta importante tener claridad sobre las ideas previas:

#### **1.3.1 El empirismo clásico**

La idea de priorizar sistemáticamente la observación sobre la argumentación fue preconizada por Francis Bacon, un contemporáneo de Galileo, que estableció las bases de lo que posteriormente fue conocido como la visión empírica-inductivista de la ciencia también conocida como inductivismo Baconiano.

“Su visión de la ciencia contrasta con la de Descartes que buscaba explicar el universo mediante una teoría matemática basada en su método. El conocimiento de acuerdo con Bacon se logra mediante la experimentación sistemática que produce cantidades masivas de datos de los cuales se puede extraer por inducción el conocimiento científico.” (Zylbersztajn, 1983)

La idea clave del inductivismo Baconiano es el principio de inducción que afirma que “las afirmaciones universales” que constituyen la esencia de las leyes científicas pueden generalizarse a partir de “afirmaciones singulares” basadas en observaciones. El inductivismo entonces se basa en generalizar casos singulares que se observan de forma repetida un gran número de veces. Los “universales” encontrados de esta manera se usan como axiomas de una teoría deductiva que permite hacer predicciones. (Zylbersztajn, 1983)

El inductivismo de Bacon se amalgamó con la visión materialista y mecanicista del mundo luego del éxito de la mecánica newtoniana, generando una interpretación de la ciencia mantenida hasta fines del siglo XIX:

*“De acuerdo al materialismo mecánico la ciencia puede presentar una imagen del mundo firmemente basada en la investigación empírica, y no en la especulación filosófica. En esta imagen la materia es primordial, y no hay dudas de que un mundo real, objetivo existe independientemente de los individuos; la ciencia es el descubrimiento de los mecanismos mediante los cuales la materia animada e inanimada se comporta en este mundo objetivo. El producto de la ciencia serán leyes mecánicas que gobiernan la vida y el mundo – Es decir las, leyes mecánicas que gobiernan la materia en movimiento. El método científico permite el conocimiento inmediato y objetivo de estas leyes, y es capaz de hacerlo mediante la investigación empírica sin ningún recurso a la especulación filosófica. Así no hay lugar para elementos a priori en las ciencias naturales o en el conocimiento empírico. La observación del mundo es inmediata en el sentido de que no hay mediaciones a priori o conceptuales involucradas en la obtención del conocimiento observacional; la realización de observaciones apegadas a los procedimientos de las ciencias naturales es suficiente para proveer el conocimiento de la naturaleza mecánica del mundo”* (Suppe, 1977)



Esta visión de la ciencia, objetiva, efectiva y confiable y siempre en progreso fue la visión aceptada a lo largo del siglo XIX y aún hoy coincide con la visión de la ciencia de las personas del común y coincide con la interpretación de la ciencia que usualmente tienen nuestros estudiantes al ingresar a la universidad.

### 1.3.2 El positivismo lógico

Es la forma más radical del empirismo que afirma que el conocimiento científico debe restringirse a afirmaciones fundamentadas directamente en la evidencia empírica y que las especulaciones metafísicas de todo tipo deben ser eliminadas en la actividad científica. De acuerdo a esta teoría las afirmaciones respecto al mundo son significativas solamente si pueden ser confirmadas experimentalmente, lo que condujo a una “teoría de verificación del significado” que asume que el significado de un término es su método de verificación empírica. (Zylbersztajn, 1983)

La propuesta del positivismo lógico fue el desarrollo de un lenguaje preciso y consistente que superara las desventajas del lenguaje ordinario. Los positivistas lógicos o empiristas lógicos se ocuparon de problemas sobre la naturaleza de los métodos científicos y cómo las matemáticas (y otras ciencias aparentemente no empíricas) se acoplan con las ciencias empíricas (Creath, 2013).

Esta visión de la ciencia enfrentó problemas como la estructura lógica las teorías y las relaciones lógicas entre teoría y observación. Uno de los más importantes es el problema de la inducción<sup>5</sup>: sin importar que tan grande sea la colección de datos obtenidos experimentalmente, la generalización a una “ley universal” estará siempre amenazada por la posibilidad de observar un contra ejemplo. Como lo expresa Popper: “sin importar cuántos ejemplares de cisnes blancos hayamos observado, no podemos inferir que todos los cisnes son blancos”. (Popper, 2007) Otro no menos importante es el pretendido carácter de objetivo que se da a las observaciones: “los hechos observados por un científico objetivo dan acceso directo y objetivo al mundo real y lo revelan tal como es” (Zylbersztajn, 1983). A este respecto se señala la crítica de Hanson (1965), que argüía que el acto de percepción en sí mismo, y no solamente la interpretación de la percepción

---

<sup>5</sup> Una buena exposición al respecto se encuentra en (Vickers, 2013)

está influenciado por las experiencias pasadas y la visión del mundo del observador. Así por ejemplo cita: (1965) *“consideremos un vehículo con ruedas acelerando en un piso a nivel. ¿Cuál es la causa este movimiento? Para el magistrado es el conductor a cargo del vehículo; para el ingeniero es el motor que provee la potencia de propulsión; pero para el matemático aplicado es la fuerza ejercida por el piso sobre las ruedas”* (Temple, 1956).

De esta manera las observaciones “objetivas” siempre presuponen un modelo de interpretación que las acompaña y varía con el observador. Es decir la observación esta siempre soportada por una teoría. En la segunda mitad del siglo XX Popper, Kuhn, Lakatos y Feyerabend desarrollaron concepciones alternativas al positivismo lógico en las que los científicos interpretan los fenómenos observados guiados por teorías y convicciones personales que dictan qué será observado, y cómo se deben realizar e interpretar estas observaciones.

Una alternativa muy interesante al positivismo fue planteada por Popper (2007), que planteó sustituir la lógica de la inducción por una lógica de la falsación, en la que las teorías nunca pueden probarse como verdaderas, pero fácilmente pueden probarse falsas por la observación de fenómenos inconsistentes con predicciones lógicas de la teoría. Popper ve las teorías científicas como conjeturas corroboradas por predicciones exitosas y abiertas a refutación experimental. Una vez se prueba falsa una teoría debe ser abandonada y reemplazada por nuevas conjeturas.

En los años 60 se dieron más críticas fuertes al positivismo lógico por parte de Norwood R. Hanson (1965) Stephen Toulmin (1972), Thomas Kuhn (2012), Paul Feyerabend (2010), en los trabajos de estos autores se deja de pensar en la lógica formal como principal método de análisis de la ciencia, reemplazándolo por análisis históricos, sociológicos, y psicológicos. Además, se interesan particularmente en cómo los científicos analizan las evidencias de acuerdo a teorías y convicciones personales previas al experimento, que influyen en su diseño, indican que se debe observar y cómo hacerlo y qué influyen las conclusiones “leídas” de los datos. Desde esta perspectiva la supuesta objetividad de las observaciones científicas es puesta en duda y las razones por las cuales una hipótesis determinada resulta atractiva y digna de ser puesta a prueba empieza a ser objeto de estudio para la filosofía de la ciencia.

### 1.3.3 Thomas Kuhn

Thomas Kuhn tuvo formación básica y avanzada en física. Su interés por la filosofía de la ciencia surge al participar como instructor, cuando aún era estudiante graduado, en un curso de ciencias para estudiantes de pregrado en humanidades. Este curso se centraba en estudios de casos históricos y le brindó la posibilidad de leer de primera mano los trabajos de Aristóteles. En un principio la física Aristóteles le causó desconcierto: una primera lectura demostraba que Aristóteles no había hecho ningún descubrimiento importante en la mecánica y que, muy por el contrario su exposición del tema estaba plagada de errores. Kuhn estaba lleno de dudas: al fin y al cabo Aristóteles era el padre de la lógica, y en ese sentido comparable con Euclides, además, sus trabajos en biología eran precisos y detallados. ¿Cómo resultaba posible que al tratar el movimiento su talento lo hubiera abandonado?

Estuvo embarcado un rato en estos pensamientos y *“de repente los fragmentos en mi cabeza se acomodaron de una forma nueva permitiéndome armar el rompecabezas. Me sorprendí: De manera inmediata, Aristóteles me pareció un muy buen físico pero de una clase que nunca había soñado posible. Podía entender por qué había dicho lo que había dicho... Afirmaciones que antes parecían errores egregios, ahora parecían casi correctas y enmarcadas dentro una tradición poderosa y generalmente exitosa.”* (Kuhn, 1987)

Esta epifanía ocurrió cuando Kuhn fue capaz de detectar que *“cuando Aristóteles habla de movimiento se refiere al cambio en general, no simplemente el cambio posición de un cuerpo físico. El cambio de posición, motivo único de estudio para la mecánica de Galileo y Newton, es sólo una, de un número de categorías de movimiento para Aristóteles. Otras incluyen el crecimiento (la transformación de una semilla en un roble), alteraciones en la intensidad (el calentamiento de una barra de hierro), y un número más general de cambios cualitativos (la transición de enfermedad salud)”*... *“Todas estas variedades de cambio se ven como iguales en la teoría de Aristóteles, como constituyentes de una misma familia natural”* (Kuhn, 1987). Este cambio súbito de perspectiva de lectura, acompañado de otros como el notar que la noción de materia es central en la mecánica de Galileo y Newton pero absolutamente adjetiva en la mecánica de Aristóteles, es lo que permitió que de un solo golpe la confusión diera paso a la claridad conceptual.

*“Esta clase experiencia:--las piezas del rompecabezas arreglándose ellas mismas de otra manera--, es la primera característica general de un cambio revolucionario. Aunque las revoluciones científicas dejan muchos detalles por arreglar, el cambio central no puede experimentarse paso a paso. Por el contrario, será una transformación repentina y no estructurada en la cual alguna parte del flujo de experiencia se arregla diferentemente y muestra patrones que no fueron visibles previamente” (Kuhn, 1987)*

Al parecer esta experiencia es la fuente inspiración del libro más importante producido en el siglo pasado sobre la estructura y el progreso de las ciencias “la estructura de las revoluciones científicas” la primera edición se publicó en 1962. Una de las principales características de la teoría expuesta en él, son los cambios súbitos que sufren las teorías científicas, cuando alguien es capaz de asumir una lectura distinta de los datos, interpretándolos de manera diferente y más fructífera que la interpretación estándar, que usualmente, ha empezado acumular problemas no solubles denominados anomalías, que dejan de serlo mediante esta reinterpretación.

Kuhn ve el progreso científico como sucesiones de períodos de desarrollo de “ciencia normal” seguidos de períodos de “revolución”. Los períodos de “ciencia normal” son períodos de desarrollo continuo en los que se presenta “desarrollo por acumulación” de conocimientos, en estos períodos, la actividad científica, que para Kuhn consiste en la solución de acertijos, se da de manera muy similar a la postulada teorías anteriores: nuevos acertijos son solubles usando los métodos y creencias aceptados por la comunidad científica, (su “matriz disciplinaria”), pero algunos acertijos se resisten a ser resueltos y se van acumulando como anomalías. Estas anomalías se van acumulando ante la indiferencia de la comunidad científica que continúa esforzándose en resolver más y más acertijos. Eventualmente las anomalías se van haciendo insoportables para algunos, al no poder ser resueltas ni siquiera por los más hábiles miembros de la comunidad y la validez de los métodos y teorías que hacen parte de la matriz disciplinaria se ponen en duda. La crisis puede ser resuelta por la emergencia de un nuevo paradigma, que aunque no ofrezca solución a todos los problemas enfrentados por el paradigma anterior, parezca prometedor para la solución de los más relevantes. Eventualmente el nuevo paradigma va ganando adeptos en la medida que es considerado un buen método que promete resolver muchos más acertijos y puede llegar

a convertirse en el paradigma dominante, bajo el cual se inicia un nuevo período de “ciencia normal”.

La palabra paradigma se usa en la primera edición del libro sin precisar bien su significado, y tiene dos (Zylbersztajn, 1983):

- “matriz disciplinaria” que denota todo el grupo de compromisos y creencias de una comunidad científica, cuyos principales componentes son según Kuhn: “generalizaciones simbólicas” que denotan las leyes teóricas compartidas por la comunidad y generalmente expresadas como ecuaciones. “Creencias en modelos particulares”, que brindan a la comunidad las analogías y metáforas aceptadas. “Valores compartidos”, como que las teorías deben ser simples, consistentes o exitosas. “Principios metafísicos” como preferir las teorías de campos sobre las partículas. Y por último “ejemplares” soluciones concretas a problemas anómalos.
- Esta última connotación es la que Kuhn inicialmente le dio a la palabra paradigma y a la que le da máxima importancia, por “ejemplares” entiende:

*“... Inicialmente las soluciones concretas de problemas que los estudiantes encuentran desde el comienzo de su educación científica, piensa en problemas en laboratorios en exámenes o al final de los capítulos en libros de texto. A estos ejemplos compartidos debería sin embargo adicionarse por lo menos la soluciones de problemas técnicos encontrados en la literatura periódica de los científicos encuentran en su carrera investigación que también les muestran mediante el ejemplo cómo deben realizar su trabajo” (Kuhn T. S., 2012).*

Otra noción muy importante expuesta por Kuhn, es la de inconmensurabilidad, que afirma que de la misma manera que no hay una medida común entre el lado del cuadrado y su diagonal, tampoco las hay entre un paradigma y el que lo sucede, es decir que no son comparables. Podemos distinguir tres tipos de inconmensurabilidad (Bird, 2013):

- “Metodológica” no hay medida común porque los métodos de comparación y evaluación cambian.
- “Perceptual/observacional” la evidencia observacional no puede proveer una base común para comparar teorías, debido a que la experiencia perceptual es dependiente de la teoría.

- “Semántica” el hecho de que los lenguajes de las teorías de diferentes períodos de ciencia normal no pueden traducirse de la una a la otra presenta un obstáculo para la comparación de las teorías.

Kuhn es la persona que acuñó el término cambio conceptual (Vosniadou S. , 2008) y lo aplicó al desarrollo del conocimiento colectivo, haciendo uso de la analogía el hombre como científico otros investigadores se han inspirado en el trabajo de Kuhn para afirmar que el conocimiento personal tiene un desarrollo similar donde se dan cambios de paradigma.

## 2. La teoría clásica del cambio conceptual

El hallazgo de modelos alternativos, o concepciones erradas, y muy especialmente el apego a estas concepciones que resultaban muy difíciles de cambiar, en el proceso de enseñanza de las ciencias, suscitó el interés de la comunidad dedicada a la educación por comprenderlas, aprender a erradicarlas, y/o eventualmente aprovechar su presencia para enseñar teorías científicamente correctas, pero la mera identificación de las malas concepciones y/o la identificación de posibles marcos teóricos o teorías implícitas mantenidas de forma inconsciente por los estudiantes, que originan estas malas concepciones, resulta insuficiente para tratar de explicar cómo las ideas presentes de un estudiante interactúan con conceptos nuevos incompatibles con ellas.

Como vimos previamente Piaget (1974) había desarrollado una teoría al respecto, pero ésta se centra en el desarrollo de estructuras lógicas en la mente del aprendiz, ignorando a propósito el contexto disciplinar específico, que resulta de capital importancia para comprender la evolución de las ideas del aprendiz y su tránsito del conocimiento cotidiano a la construcción del concepto científico.

En 1982 Posner Strike, Hewson y Gertzog, en un artículo titulado "La acomodación de un concepto científico: hacia una teoría del cambio conceptual" publicado en la revista Science Education, conciben lo que posteriormente se conoció como la teoría clásica del cambio conceptual. (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982)

A partir de la idea de que el aprendizaje se da mediante la interacción entre lo que el estudiante ya sabe y lo que le es enseñado<sup>6</sup>, se interesan en desarrollar una teoría bien

---

<sup>6</sup> Esta idea que es base del constructivismo y que resulta fundamental en las teorías modernas del aprendizaje, tiene un origen que se remonta a Platón, que acertadamente plantea la paradoja asociada al modelo de la "tabula rasa", al poner en boca de Menón estas palabras: " ¿Y qué medio adoptarás, Sócrates, para indagar lo que de ninguna manera conoces? ¿Qué principio te

articulada que describa el proceso mediante el cual los conceptos centrales que sirven las personas para organizar su visión del mundo son cambiados por otro conjunto de conceptos incompatible con el primero. Para hacerlo toman ideas del modelo de cambio conceptual desarrollado por Thomas Kuhn para explicar las revoluciones científicas, bajo el supuesto de que en el aprendizaje de las ciencias también se dan estos cambios radicales de paradigma.

El compromiso central del estudio realizado por ellos es que “el aprendizaje es una actividad racional: esto es, aprender es fundamentalmente empezar a comprender y aceptar ideas porque parecen inteligibles y racionales”. Afirman entonces que el aprendizaje es un proceso de indagación: “El estudiante debe emitir juicios basados en la evidencia disponible”. Su definición de “el aprendizaje como una actividad racional pretende enfocar la atención en lo que el aprendizaje es, no en los factores de los que depende. Al aprendizaje le conciernen las ideas, su estructura y la evidencia que las sustenta. No es simplemente la adquisición de un conjunto de respuestas correctas, un repertorio verbal o un conjunto de comportamientos. Creemos que el aprendizaje se comprende mejor como un proceso de cambio conceptual. La pregunta básica que nos interesa es ¿cómo cambian los conceptos de los estudiantes, bajo el impacto de nuevas ideas y nuevas evidencias?”.

## **2.1 La base epistemológica**

La idea tradicional de que el progreso científico se logra paso a paso, mediante un proceso de acumulación sistemática de nuevos conocimientos, de forma tal que siempre se va construyendo sobre lo ya hecho, logrando un crecimiento constante y un desarrollo lineal de las ciencias; fue revisada, como reseñamos en el capítulo anterior, por varios teóricos desde principios de los años 60. Se evidenciaron dos tipos de períodos en el desarrollo de las ciencias: Uno en el cual esta idea tradicional de progreso científico es válida, y el avance de la ciencia se da por el descubrimiento de nuevas consecuencias,

---

guiará en la indagación de cosas, que ignoras absolutamente? Y aun cuando llegases a encontrar la virtud, ¿cómo la reconocerías, no habiéndola nunca conocido?" (Platón, 1871)



derivadas de ideas centrales bien establecidas y aceptadas por la comunidad y otro período caracterizado por cambios revolucionarios en la forma de pensar de los científicos.

De manera usual el trabajo científico se da siguiendo una serie de creencias y compromisos centrales que permiten organizar la investigación. Thomas Kuhn llama a estos compromisos centrales paradigmas y a la ciencia hecha acorde a ellos “ciencia normal”. (Un ejemplo de compromiso central en la física newtoniana es el modelo de tiempo que transcurre de forma igual en todos los lugares). Las revoluciones científicas se dan cuando éstos “paradigmas” deben ser modificados. En estas circunstancias los científicos ven amenazadas sus creencias básicas. “Para proceder con la investigación el científico debe adquirir nuevos conceptos y cambiar su forma de ver el mundo”.

La teoría clásica del cambio conceptual afirma que en el aprendizaje se dan estos mismos procesos: en ocasiones los estudiantes construyen conocimiento a partir de conceptos ya aprendidos en una fase similar a la llamada “ciencia normal”, a esta fase del aprendizaje la denominan “asimilación” y podríamos identificarla con una revisión o ampliación de las creencias del aprendiz que no requiere una reestructuración de sus conceptos. Cuando los conceptos disponibles no son suficientes para comprender apropiadamente un nuevo fenómeno el estudiante debe reorganizar o reemplazar sus conceptos centrales. A esta fase más radical del cambio conceptual la llaman “acomodación”. Ambas palabras y procesos tienen origen en el trabajo de Piaget, pero Posner et alia (1982) aclaran que su uso no significa su compromiso con las teorías de éste.

Adicionalmente la teoría afirma que el proceso de descubrimiento y aprendizaje se da en el marco de los conceptos ya adquiridos y madurados por el aprendiz: “Cuando el aprendiz encuentra nuevos fenómenos, debe confiar en sus conceptos actuales para organizar su investigación. Sin conceptos previamente adquiridos es imposible para el aprendiz hacerse una pregunta acerca del fenómeno, saber que podría considerarse una respuesta a esa pregunta, o distinguir las características relevantes de características irrelevantes en el fenómeno”.

La teoría se interesa fundamentalmente en las formas más radicales de cambio conceptual que describe como “acomodación”, y se expresa como respuesta a dos preguntas:

- ¿Bajo qué condiciones un concepto central será reemplazado por otro?
- ¿Cuáles son las características de la ecología conceptual<sup>7</sup> que gobiernan la selección de nuevos conceptos?<sup>8</sup>

## 2.2 Condiciones para la acomodación

Los autores consideran la acomodación de un nuevo concepto por parte del aprendiz, análoga a la aceptación de una nueva teoría en el ámbito de la ciencia.

Como veíamos previamente, desde el punto de vista del empirismo y el positivismo lógico, el éxito y consecuente aceptación de una teoría estaría basado en su capacidad de predecir hechos confirmados. Las visiones posteriores, debidas a Kuhn y otros filósofos de la ciencia, sugieren que las razones para aceptar una nueva teoría tienen en cuenta las anomalías, -- problemas no solubles por la teoría anterior --, y las teorías nuevas que compiten para explicarlas. “Los paradigmas que dan origen a una teoría no se juzgan por su capacidad inmediata para generar predicciones correctas. Se juzgan en términos de los recursos que ofrecen para resolver los problemas actuales... Los conceptos centrales de una teoría probablemente serán rechazados cuando han generado una clase de problemas que parecen no poder resolver” y “las teorías

---

<sup>7</sup> Los autores entienden ecología conceptual en el mismo sentido que Stephen Toulmin (Toulmin, 1972) quien *“propone un modelo evolucionista para los conceptos, análogo a la visión darwiniana sobre la evolución de las especies. Su importancia radica en aplicar a las poblaciones conceptuales el mismo esquema teórico que Darwin aplicó a las poblaciones de las especies. Consideró que los modelos poblacionales orgánicos y conceptuales, salvo casos particulares, tienen el mismo modelo de desarrollo por innovación y selección”* (Meleán & Arrieta, 2009)

<sup>8</sup> También son explícitos en manifestar que *entienden “esta visión en oposición directa con el empirismo, cuyo compromiso central: no hay nada en la mente que no pase primero por los sentidos, requiere que las personas seamos capaces de aprender algo en la ausencia total de conceptos previos. Creemos que esto es imposible. Una mente que inicialmente es una tabula rasa permanecería siempre así, porque carece de recursos para investigar la experiencia”* (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982)

alternativas serán aceptadas si muestran tener el potencial para resolver estos problemas y generar una línea fructífera de investigación”. En términos de Kuhn diríamos que si una teoría logra esclarecer las anomalías y parece ofrecer métodos para armar nuevos rompecabezas, sus probabilidades de ser aceptada por la comunidad científica aumentan.

Hacen notar los autores que “los conceptos centrales de una persona son el vehículo mediante el cual un determinado rango de fenómenos se hacen inteligibles. Estos conceptos centrales pueden conectarse con experiencias, imágenes o modelos que los hacen aparecer intuitivamente obvios y que hacen que los conceptos competidores parezcan no solamente errados sino ininteligibles. Así frecuentemente el primer obstáculo que un conjunto de conceptos centrales debe encarar para ganar aceptación es que parezca tener sentido”.

Existen entonces condiciones necesarias para acomodar un concepto. Los autores enumeran cuatro:

- **Debe haber insatisfacciones con los conceptos existentes.** Las personas no realizan cambios mayores en sus conceptos si consideran que con cambios menos radicales pueden lograr sus propósitos. De tal manera que habrá cambio conceptual sólo si el individuo ha percibido una serie de problemas no resueltos o anomalías que no es capaz de resolver usando sus conceptos actuales. Es más, los autores plantean que el individuo “debe haber perdido la fe en la capacidad de sus conceptos actuales para resolver estos problemas”.
- **El nuevo concepto debe ser inteligible.** La persona de ser capaz de comprender como el nuevo concepto puede ser usado para descifrar acertijos, entender y ordenar la realidad percibida, permitir estructurar las experiencias y clasificar de una forma nueva los problemas a los que se aplica. Los mecanismos usados para lograr entender y dar significado a nuevos conceptos usualmente son la analogía y la metáfora.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> “Aristóteles ofreció al pensamiento occidental la primera aproximación al uso epistémico de la metáfora al sugerir que ésta “hace ver” relaciones abstractas bajo los rasgos de lo concreto.

- **El nuevo concepto debe parecer inicialmente plausible.** Debe parecer capaz de resolver los problemas generados por sus predecesores. De otra forma no sería una opción a elegir. Debe además ser consistente con resultados aceptados de otras áreas del saber. “Una nueva idea en, por ejemplo, astronomía tiene menos probabilidad de aceptación si resulta inconsistente con conocimientos actualmente aceptados de la física, o si se carece de una explicación clara de los mecanismos físicos que la sustentan. Así los físicos de antes del siglo XX se resistían a aceptar la edad calculada para la Tierra por los geólogos, ya que carecían de una teoría que explicara como el Sol podía generar energía durante un período tan largo.”
- **El nuevo concepto debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero.** Al igual que un nuevo paradigma en las ciencias tiene mayor posibilidad de aceptación si es un ejemplar de una nueva solución no sólo a una anomalía detectada sino que promete aplicabilidad a la solución de nuevos problemas. Un nuevo concepto debe tener el potencial para ser expandido y abrir nuevas áreas de investigación.

## 2.3 Características de una ecología conceptual

Afirman los autores que la ecología conceptual de un individuo está compuesta por los conceptos y convicciones que ya lo acompañan, e influenciará la selección de un nuevo concepto central.

La literatura en filosofía de la ciencia y el trabajo experimental de los autores indican que las siguientes clases de conceptos son determinantes particularmente importantes en la determinación de una acomodación:

---

*Sostenía Aristóteles que la metáfora tiene que permitir penetrar en la estructura de lo desconocido haciéndolo familiar pero también debe exhibir capacidad para establecer relaciones imprevistas o novedosas” (Estevez, 2009). Más recientemente el trabajo de Lakoff y Johnson (Lakoff & Johnson, 1980) ha suscitado importantes desarrollos al mostrar que nuestro conocimiento del mundo se basa de manera fundamental en la metáfora como mecanismo de creación de conceptos y fuente de significados.*

- 
- **Las anomalías:** las fallas específicas de un concepto particular son parte importante de la ecología que selecciona a su sucesor.
  - **Las analogías y metáforas:** sirven para sugerir nuevas ideas y también para hacerlas comprensibles.
  - **Los compromisos epistemológicos:** divididos en:
    - a) *ideales explicativos:* la mayor parte de las disciplinas tienen visiones específicas a los contenidos que identifican que es una explicación exitosa en ese campo.
    - b) *La visión general acerca del carácter del conocimiento:* algunos estándares como la elegancia, la economía, la simplicidad y la no arbitrariedad afectan la aceptación de nuevos conceptos.
  - **Las creencias metafísicas acerca de la estructura de la ciencia:** nociones de orden, simetría y no aleatoriedad que son frecuentemente importantes en el trabajo de los científicos y resultan en puntos de vista epistemológicos que a su vez seleccionan o rechazan clases particulares de explicaciones. Este tipo de creencias tuvo un papel importante en el pensamiento de Einstein. las clasifican como :
    - a) *Creencias metafísicas sobre la ciencia:* son convicciones respecto a principios de relaciones entre la ciencia y la experiencia cotidiana también resultan importantes aquí.
    - b) *Conceptos metafísicos de la ciencia.* Hay conceptos científicos que tienen calidades metafísicas al ser creencias sobre la naturaleza última del universo y resultan inmunes a refutación empírica directa. Por ejemplo creer en conceptos como espacio absoluto o tiempo absoluto.
  - **Otros conocimientos:**
    - a) *conocimientos en otros campos.*
    - b) *Conceptos en competencia:* una condición para la elección del nuevo concepto es que debe parecer más promisorio, que sus competidores.

Estas cinco características de una ecología conceptual están relacionadas con las cuatro condiciones para que se dé un cambio conceptual en el aprendizaje de las ciencias.

## **2.4 El experimento**

Para verificar la teoría, los investigadores usan el método de la entrevista clínica, desarrollada por Piaget, a estudiantes de un curso universitario basado en álgebra, que recién terminan un capítulo sobre relatividad especial y a varios instructores de física. En ella se pedía al entrevistado contestar las preguntas, pensando en voz alta. El entrevistador limitaba su intervención a solicitar justificaciones para las afirmaciones dadas, sin intentar corregir los errores expresados. Un problema tratado sobre el funcionamiento de un reloj de luz y sus implicaciones sobre el concepto de tiempo. El otro trataba sobre simultaneidad y sincronización de relojes seguido dos explicaciones escritas que el entrevistado debía leer y luego repetir, como ejercicio de comprensión.

Los resultados del experimento permiten analizar más cuidadosamente las condiciones expuestas para que se dé la acomodación y cómo se relacionan con las características de la ecología de conceptos que ya se ha expuesta por los autores.

### **2.4.1 Inteligibilidad**

Se afirma que para que un aprendiz pueda aceptar un nuevo concepto es requisito indispensable que el concepto sea inteligible. Sin embargo es importante notar que el solo hecho de que el concepto pueda ser comprendido, de ninguna manera es garantía de que será aceptado como nuevo paradigma. A un nivel elemental comprender un concepto puede identificarse con comprender las palabras o ecuaciones en que este se expresa. A este nivel comprender los dos postulados de la relatividad especial resulta sencillo para cualquier estudiante; otra cosa diferente es comprender y aceptar las consecuencias a las que lleva la aplicación sistemática de esos dos postulados, esto es, la inteligibilidad de la teoría.

La comprensión de una teoría se asemeja a la comprensión de un texto, y para esto se necesita saber más que el simple significado de las palabras. Tratemos por ejemplo de entender el siguiente texto tomado de (Bransford & Johnson, 1973):

“Si los globos se estallaran el sonido no se escucharía debido a que todo estaría demasiado lejos del piso correcto. Una ventana cerrada también impediría escuchar el sonido, debido a que la mayor parte de los edificios tienden a estar bien aislados. Ya que la operación completa depende de un flujo constante de electricidad, una ruptura en el cable también podría causar problemas. Claro, el señor podía gritar, pero la voz humana no es lo suficientemente fuerte para escucharse desde tan lejos. Un problema adicional es que una cuerda del instrumento podía romperse. Entonces el mensaje no tendría acompañamiento. Es claro que la mejor situación sería disminuir la distancia. Así habría menos problemas potenciales. Con contacto cara a cara el número de cosas que podrían resultar mal sería mínimo.”(pags 392-393)

Comprender este párrafo resulta difícil, uno podría decir que imposible, sin tener un contexto que nos ayude a descifrarlo. Si voltea la página, la figura le brinda acceso a conocimiento previo, “un esquema”, que facilitará no sólo la comprensión del texto, sino recordarlo relacionándolo con un concepto previamente conocido (la serenata), y el contexto. Este ejemplo nos muestra cómo comprender algo exige relacionarlo con conocimientos previos.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> En el caso del aprendizaje de las ciencias los estudiantes carecen de conceptos previos apropiados para descifrar la información que reciben, --la enseñanza de las ciencias busca precisamente ayudar a construir estos conceptos para entender el mundo--, y el estudiante se ve expuesto a una situación paradójica: La inexistencia de conocimientos previos hace imposible aprender. Paradoja que puede resolver relacionando la nueva información con algún esquema construido previamente que resulta inapropiado, lo que da origen a una mala concepción.

Figura 2-1: Contexto para comprender el párrafo de los globos.

**Figure 1**  
*Context Sufficient to Make Sense of Balloons Passage*



Note. Reprinted from "Consideration of Some Problems in Comprehension" (p. 394) by J. D. Bransford and M. K. Johnson. In *Visual Information Processing* by W. G. Chase (Ed.), 1973, New York: Academic Press. Copyright 1973 by Academic Press. Reprinted by permission.

Comprender algo requiere construir o identificar una representación coherente de lo que el texto o la teoría está diciendo (Bransford & Johnson, 1973). Más aún los autores afirman que “ninguna teoría puede funcionar psicológicamente a menos de que esté representada internamente por el individuo”. Estas representaciones mentales pueden ser proposiciones, imágenes, representaciones mixtas como gráficos, o redes que relacionan proposiciones e imágenes” que permiten comprender y recordar. Un recurso usado por los estudiantes es aprender de memoria y abstenerse de comentar con sus propias palabras los conceptos que pretenden acomodar, en un intento de convencer a los demás y así mismos de que han aprendido. Personas con mayor experiencia en el tema como los instructores entrevistados en el artículo muestra un aprendizaje activo en



el cual relacionan la nueva información con información previamente adquirida y usan esa nueva información para modificar los modelos o ideas que poseen previamente.

La construcción de una representación para la teoría resulta esencial para comprenderla y “solamente una teoría inteligible puede ser candidata a formar una nueva concepción” en el caso de la relatividad especial los dos postulados de manera independiente son fácilmente comprensibles, pero el segundo, la constancia de la velocidad de la luz en el vacío resulta más difícil de entender entre más apegado este uno a la mecánica newtoniana. Otra cosa es la comprensión de la teoría como un todo: “encontrar la inteligible conlleva imaginarse un mundo en el cual los dos postulados de Einstein son ciertos junto con las implicaciones lógicas para las nociones de espacio y tiempo”.

Mencionan los autores como una persona que conozca la libra puede aplicar las fórmulas de la relatividad especial sin comprenderlas, (sin haber revisado sus conceptos de espacio y tiempo), tanto los instructores como los estudiantes pueden confundir la inteligibilidad de las partes -- los postulados-- por la inteligibilidad de la teoría.

Esta situación es muy común no sólo con la relatividad especial sino con la física general, cuando los estudiantes sustituyen la comprensión de un modelo por la manipulación simbólica de ecuaciones que sintetizan sus propiedades.

### **2.4.2 Plausibilidad**

Una dificultad mayor al aprender la relatividad especial es que inicialmente no parece plausible. Es contraria a las intuiciones construidas a partir de nuestra experiencia cotidiana. Aún si los estudiantes logran comprenderla de manera apropiada, hallándola inteligible, inicialmente la calificarán de poco plausible por ir en contra del sentido común.

Los autores afirman que “puede pensarse la plausibilidad inicial como una evaluación de que tan bien encajará un nuevo concepto en un ecología conceptual ya existente” y enumeran cinco maneras en las que un concepto puede hacerse inicialmente plausible:

- 1) la nueva idea nos parece consistente con nuestras creencias metafísicas y nuestros compromisos epistemológicos. No contradice nuestros principios fundamentales.
- 2) La nueva idea nos parece consistente con otras teorías o conocimientos.
- 3) La nueva idea es consistente con nuestra experiencia.
- 4) Uno es capaz de encontrar o crear imágenes para el concepto que están de acuerdo con su idea de lo que el mundo es o puede ser.
- 5) Uno cree que la nueva concepción es capaz de resolver problemas conocidos es decir resolver anomalías.

En el desarrollo de la teoría especial de relatividad Einstein estaba comprometido con dos principios epistemológicos:

- 1) Una teoría no debe contradecir hechos empíricos.
- 2) Los postulados de la teoría deben caracterizarse por un principio de economía o “simplicidad lógica”.

Y estaba comprometido con estos principios al punto de aplicarlos implacablemente, aún a costa de rechazar nuestros conceptos habituales de espacio y tiempo. Resulta obvio el estudiante típico tiene compromisos diferentes, usualmente dictados por el sentido común y la experiencia sensorial. Sin embargo resultan determinantes al decidir qué le parece plausible o no y por tanto en su capacidad de aprender o no una teoría que exija la acomodación de conceptos nuevos.

Los compromisos epistemológicos de los estudiantes determinan si una idea les parece plausible o no, y siempre resulta supremamente importante aclararlos si se quiere comprender el proceso de cambio conceptual en ellos. El estudio de las epistemologías personales y su influencia en el aprendizaje es una línea de investigación activa, ver por ejemplo: (Elby, 2009), (Elby & Hammer, 2010) . Conocer qué piensa el estudiante de la ciencia y del conocimiento, cuál es la relación entre lo que se aprende en clase y la vida cotidiana son elementos determinantes para lograr el aprendizaje de la ciencias.

Las creencias metafísicas también resultan determinantes en el aprendizaje, por ejemplo mientras un estudiante se mantenga aferrado a las nociones de espacio absoluto y tiempo absoluto, la teoría especial relatividad le parecerá inaceptable. La profundidad del arraigo de estas creencias metafísicas determina si ocurre asimilación o acomodación de un concepto. Por ejemplo un estudiante que cree firmemente en la nociones de tiempo

absoluto y espacio absoluto tratará de Newtonizar la teoría especial de relatividad reduciendo la dilatación temporal y/o la contracción de longitudes a meras apariencias debidas al movimiento relativo realizando entonces una asimilación, en la que piensa que varillas y relojes realmente no han cambiado, sólo son percibidos de manera diferente.

### 2.4.3 Insatisfacción

Un concepto nuevo no resulta necesario a menos que el antiguo concepto se haya demostrado incapaz de dar solución a problemas importantes.<sup>11</sup>

Si además contamos con un nuevo concepto que consideramos plausible e inteligible que además resuelve las anomalías se abre la posibilidad de un cambio conceptual.

Al encontrar una anomalía, una persona tiene varias alternativas: una es llegar a la conclusión de que su red de conceptos necesita revisiones fundamentales para resolver la anomalía. Este reajuste es el más difícil y eventualmente doloroso, por lo que esta opción será la última a tomar siempre y cuando existan alternativas. Los autores consideran cuatro:

- 1) rechazar la teoría de observación.
- 2) Desestimar los hallazgos considerándolos irrelevantes.
- 3) Establecer compartimientos para el conocimiento para que nuestras creencias se preserven libres de conflictos.
- 4) Asimilar la nueva información a concepciones preexistentes, por ejemplo Newtonizar los fenómenos relativistas.

De esta forma se presentará insatisfacción sólo si se cumplen las siguientes cuatro condiciones:

- 1) El estudiante cree necesario reconciliar los nuevos hechos con sus concepciones existentes.

---

<sup>11</sup> En términos de Kuhn diríamos que ha venido acumulando anomalías.-- “Una anomalía existe cuando uno es incapaz de asimilar algo que se presumía asimilable, o en otras palabras no se puede comprender algo”.--

- 2) El estudiante ha intentado infructuosamente asimilar los nuevos hechos con sus concepciones existentes.
- 3) El estudiante está comprometido con la reducción de inconsistencias entre sus creencias.
- 4) El estudiante comprende qué el hallazgo experimental representa una anomalía y por qué.

Resulta muy improbable que se satisfagan esas cuatro condiciones, de tal forma que los estudiantes rara vez sienten que sus convicciones actuales son retadas por una anomalía.

Consideran los autores que la “búsqueda de anomalías viables y efectivas desde el punto de vista instruccional es de importancia primaria, si la acomodación es un objetivo serio”.

#### **2.4.4 Fecundidad**

Cuando los estudiantes encuentren una alternativa inteligible y plausible a un concepto, y éste además resuelve las anomalías que se hayan detectado, el estudiante puede tratar de interpretar sus experiencias usando este nuevo concepto. Si el nuevo concepto no se limita a resolver las anomalías sino que además conduce a nuevos descubrimientos, el nuevo concepto parecerá fecundo favoreciéndose su acomodación.

En el caso de la teoría especial relatividad se podría explicar a los estudiantes su utilidad en el diseño de aceleradores de partículas, el desarrollo de armas nucleares y reactores, y su eventual uso en diversos cálculos astronómicos. En la medida que estudiante comprenda estas aplicaciones y la relacione con los postulados de la teoría se le facilitará la comprensión de la teoría y la aceptación de los nuevos conceptos.

### **2.5 Características de la acomodación**

El proceso acomodación, es sin duda un proceso radical que cambia el sistema conceptual de una persona. Sin embargo esto no significa que se da de forma abrupta. Acomodar un concepto toma tiempo y es un proceso gradual en el que poco a poco se van comprendiendo y aceptando las virtudes del nuevo concepto, como es que realmente resuelve la anomalía, y resulta imposible de asimilar en el marco conceptual antiguo. En

muchas oportunidades acomodar un concepto conlleva varios intentos de asimilarlo hasta finalmente lograrlo con el tiempo.

## 2.6 Implicaciones educativas

La enseñanza de las ciencias pretende brindar elementos racionales para lograr un cambio conceptual. Los cambios conceptuales fundamentales que los autores llaman acomodaciones conllevan cambios radicales sobre las creencias más arraigadas del aprendiz sobre el mundo, el conocimiento e inclusive su concepción de lo que es la ciencia. Los aprendices se niegan a realizar estos cambios a menos que estén insatisfechos con sus conceptos actuales y encuentren una alternativa plausible que parezca productiva al realizar más investigaciones.

Nos han mostrado además, que en la selección natural de los conceptos que conforman esa ecología conceptual personal hay dos factores muy determinantes:

- 1) las anomalías.
- 2) Las convicciones personales sobre la ciencia y el aprendizaje.

Las anomalías son los generadores de “crisis conceptuales”,-- conflictos irresolubles para el estudiante haciendo uso de su ecología conceptual actual--, que lo preparan para aceptar nuevos conceptos que eventualmente puedan reemplazar concepciones que empiezan a considerarse insatisfactorias.

Las convicciones metafísicas y compromisos epistemológicos determinan qué tipo de soluciones resultan aceptables, al exigírseles por parte del estudiante satisfacer estas condiciones y compromisos que, por lo menos en principio, no son negociables. Teorías que partan de compromisos diferentes a los mantenidos por el estudiante no lograrán ser aceptadas racionalmente, y si el estudiante las acepta será por razones diferentes que lo fuerzan hacerlo, (por ejemplo porque son afirmaciones del libro o del profesor).

### 2.6.1 Objetivos curriculares

Una consecuencia directa sobre los objetivos del curso es que tanto los profesores como los estudiantes de un curso deben estar enterados y conscientes de cuáles son sus

suposiciones fundamentales, de tal forma que el cambio conceptual se pueda dar sobre una base racional y no por motivos de fe o autoridad.

Afirman los autores que como resultado de las afirmaciones de la teoría, “existe una pregunta de primerísima importancia que se debe realizar: ¿es realista esperar que la instrucción en ciencias provoque acomodación en los estudiantes o meramente se espera que les ayude a comprender nuevas teorías? En segundo lugar se pregunta si este logro de ser para todos los estudiantes o para algunos grupos en particular, como los de las carreras de ciencias.”

Si se pretende lograr la acomodación se deben incluir entre los objetivos del curso los siguientes:

- 1) lograr conciencia de las suposiciones fundamentales mantenidas por el estudiante y aquellas que están implícitas en la teoría científica.
- 2) Exigir consistencia entre las creencias que tiene un estudiante sobre el mundo.
- 3) El estudiante logre conciencia sobre los fundamentos históricos y epistemológicos de la ciencia moderna.
- 4) Lograr alguna comprensión sobre qué tan productiva puede ser una nueva concepción.

### **2.6.2 Los contenidos**

Si nuestro objetivo es lograr un cambio conceptual basado en la razón los contenidos de los cursos de ciencias deben organizarse de tal forma que se cumpla la premisa de que las teorías científicas presentadas resulten ininteligibles, plausibles y productivas. Para lograrlo los autores encuentran necesario:

- 1) enfatizar la comprensión del material por encima del cubrimiento de temas.
- 2) Incluir “anomalías retrospectivas”, especialmente si las anomalías cronológicamente pertinentes resultan difíciles de comprender. Por ejemplo el experimento de Michelson y Morley al enseñar la relatividad especial aunque no haya tenido un papel en el desarrollo de esta teoría por parte de Einstein.
- 3) Insistir en el papel de las teorías de observación y asegurarse que el estudiante las comprenda tanto como para detectar las anomalías.

- 4) Usar todas las metáforas, modelos y analogías que permitan el nuevo concepto sea más inteligible y más plausible.

### **2.6.3 Estrategias de aula**

La enseñanza tradicional busca la asimilación: tiene como estrategias el exponer materiales de los libros de texto explicándolos y aclarando dudas que presenten los estudiantes, demostrar la solución de ejercicios, realizar evaluaciones sobre los contenidos y la habilidad de los estudiantes para aplicarlos en solución de problemas. Busca desarrollar habilidades y establecer consecuencias producto de principios claramente establecidos en la mente de los estudiantes. No está diseñada para crear conflictos ni evaluar alternativas de solución a estos.

Si buscamos producir el cambio conceptual logrando la acomodación de nuevos conceptos los autores sugieren realizar los siguientes cambios:

- 1) Crear conflicto cognitivo en los estudiantes, mediante experimentos de laboratorio, problemas y ejercicios; para lograr el estudiante identifique anomalías no explicables por su ecología conceptual actual y la haga consciente.
- 2) Crear oportunidades para que el profesor pueda diagnosticar errores en la forma de pensar de los estudiantes e identificar las “medidas defensivas” adoptadas por estos para preservar sus convicciones más íntimas.
- 3) Usar múltiples representaciones para la información,-- gráficos, ecuaciones, palabras, modelos, etc.--, Y asesorar a los estudiantes para realizar cambios de representación. (Clement).
- 4) Desarrollar técnicas de evaluación que permitan al profesor indagar el grado de cambio conceptual logrado por el estudiante.

### **2.6.4 El papel del profesor**

El profesor como suministrador de información, expositor de ideas y/o proveedor de explicaciones no cumple un papel que ayude a los estudiantes en la acomodación de nuevos conceptos. Los autores de la teoría sugieren dos roles adicionales para los instructores:

- 1) Ser un tutor socrático. El profesor, realizando preguntas a los estudiantes sobre las afirmaciones que ellos hacen los hace conscientes de las dificultades lógicas que pueden enfrentar en sus intentos de asimilar nuevos conocimientos. Resulta importante ejercer este rol con sumo cuidado para evitar que los estudiantes se sientan frustrados e impotentes al enfrentar las malas concepciones que dificultan la acomodación.
- 2) Un modelo de pensamiento científico. Mediante su ejemplo el profesor puede enseñar hábitos y métodos exitosos en la comprensión del pensamiento científico. Por ejemplo enseñar a los estudiantes a exigir implacablemente consistencia de las teorías, principios de economía y elegancia, y también que estimaciones y resultados experimentales se pueden considerar razonablemente de acuerdo con las teorías.



## **3. Conclusiones y recomendaciones**

### **3.1 Conclusiones**

Se ha expuesto la teoría clásica del cambio conceptual de una manera clara y completa y también las razones que llevaron a Posner y coautores a proponerla, cumpliendo los objetivos planteados para este escrito.

Se expone la existencia de las pre concepciones originadas al transferir inocentemente, conocimiento útil y funcional para las labores de la vida cotidiana, a la elaboración de teorías científicas.

Se describen los aportes de Piaget en las teorías del desarrollo infantil, mostrando su interés en el desarrollo de habilidades lógicas y capacidad de abstracción como símbolo de madurez e ignorando los contextos particulares en que estas habilidades se aplican.

Se muestran las distintas concepciones recientes sobre el desarrollo del conocimiento científico que son usadas como analogía al desarrollo del conocimiento personal por los autores de esta teoría.

### **3.2 Recomendaciones**

El estudio de este escrito permite abordar estudios posteriores y aún en desarrollo en temas como el desarrollo infantil, estudios de la influencia de las descripciones verbales en el aprendizaje de las ciencias, y en la caracterización de los elementos atómicos del pensamiento humano. Temas abiertos y supremamente interesantes como la concepción y uso de las categorías, la existencia o inexistencia de teorías implícitas que rigen nuestra interpretación del mundo y la influencia del contexto en las ideas que

expresamos son todos problemas abiertos que esta línea de investigación puede ayudar a abordar con éxito.

## Bibliografía

- Ambrose, S. (2010). *How learning works: seven research-based principles for smart teaching*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Beichner, R. (2009). An Introduction to Physics Education. En C. Henderson, & K. e. Harper, *Getting started with PER*. College Park ,MD: American asociation of Physics Teachers.
- Bird, A. (2013). Thomas Kuhn. En E. N. Zalta, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2013 Edition)* (págs. URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/thomas-kuhn/>>.).
- Bransford, J. D., & Johnson, M. K. (1973). Considerations of some problems in comprehension. En W. Chase, *Visual information processing* (págs. 383-438). New York: Academic Press.
- Camp, C., & Clement, J. (2010). *Preconceptions in mechanics*. College Park MD: American Association of physics teachers.
- Carey, S. (Oct. 1986). Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 1123-1130.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 66-71.
- Clement, J. (1983). A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. En D. Genter, & A. Stevens, *Mental Models* (págs. 325-340). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Clement, J. (1987). The use of analogies and anchoring intuitions to remediate misconceptions in mechanics. *Annual Meeting of the American Educational research Association*. Washington DC.
- Creath, R. (2013). Logical Empiricism. En E. N. Zalta, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (págs. <http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/logical-empiricism/>).
- Driver, R. (1979). The pupil as a scientist. *GIREP Conference*. Rehovot.

- Duit, R. (2009). *Bibliography - STCSE Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Kiel: Consultado en <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/>.
- Elby, A. (2009). Defining Personal Epistemology: A response to Hofer & Pintrich (1997) and Sandoval (2005). , . *Journal of the Learning Sciences*, 18(1), 138-149.
- Elby, A., & Hammer, D. (2010). Epistemological resources and framing: A cognitive framework for helping teachers interpret and respond to their students' epistemologies. En L. D. Bendixen, & F. C. Feucht, *Personal Epistemology in the Classroom: Theory, Research, and Implications for Practice*. (págs. 409-434). Cambridge: Cambridge University Press.
- Erickson, G. (1980). Childrens conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 64(3): 323-336.
- Estevez, A. (2009). Metáforas y analogías científicas. *Memorias del segundo congreso internacional de investigación de la facultad de psicología de la Universidad de la Plata* (pág. [http://www.psico.unlp.edu.ar/segundocongreso/pdf/ejes/estudios\\_inter/024.pdf](http://www.psico.unlp.edu.ar/segundocongreso/pdf/ejes/estudios_inter/024.pdf)). La Plata: Universidad de la plata.
- Feyerabend, P. (2010). *Against method*. London: Verso.
- Gopnik, A. (2010). How babies think. *Scientific American*, 76-81.
- Hanson, N. R. (1965). *Patterns of discovery: an inquiry into the conceptual foundations of science*. Hanson, N. R. (1965). *Patterns of discovery: an inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge; New York: University Press.: Cambridge.
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of physics*, 1056.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *Phys. Teach.*, V 30, p41.
- Kandel, E. (2006). *In Search of Memory: The Emergence of a New Science of Mind*. New York: W.W. Norton & Co.
- Kelly, G. (1955). *The psychology of personal constructsol*. New York: Norton.
- Kuhn, T. (1987). "What Are Scientific Revolutions?" . etrieved June 17, 2013, from <http://www.units.muohio.edu/technologyandhumanities/kuhn.htm>.
- Kuhn, T. S. (2012). *The structure of scientific revolutions*. Chicago IL: University of Chicago Press.

- Lakoff, G. (1987). *Women, fire and dangerous things*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: how the embodied mind brings mathematics into being*. New York, NY:: Basic Books.
- Lasry, N., Finkelstein, N., & Mazur, E. (. (2009). 2009). Are Most People Too Dumb for Physics? . *The Physics Teacher*, 47(7), 418.
- Lattis, J. M. (1994). *Between Copernicus and Galileo Christoph Clavius and the collapse of Ptolemaic cosmology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: a user's manual*. : Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
- Mazur, E. (2009). Farewell, lecture? *Science*, V323 50-51.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. En D. Gentner, & S. A., *Mental models* (págs. 299-324). Hillsdale, N.J: Erlbaum.
- McDermott, L. C. (2002). *Tutorials in introductory physics*. Prentice-Hall.
- Meleán, R., & Arrieta, X. (2009). Modelo de ecología intelectual de Toulmin para el estudio de la evolución del infinitésimo y su repercusión en la enseñanza del límite. *Laurus*, 187-206.
- Moreira, M., & Greca, I. (2003). CAMBIO CONCEPTUAL: ANÁLISIS CRÍTICO Y PROPUESTAS A LA LUZ DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO. *Ciência e Educação*, v. 9, n. 2, p. 301.
- Munari, A. (1994). Jean Piaget. *Perspectivas: revista trimestral de educación*, Vol. XXIV, n1-2, 315-332.
- NRC. (2000). *How people learn: brain, mind, experience, and school (Expanded ed.)*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Özdemir, G., & Clark, D. (2007). An Overview of Conceptual Change Theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351-361 .
- Piaget, J. (1929). *The child conception of the world*. New York: Harcourt Brace.
- Piaget, J. (1950). "Discours du directeur du Bureau international d'éducation". *Treizième Conférence internationale de l'instruction publique: proces-verbaux et recommandations*. (págs. 35-36). Ginebra: Oficina Internacional de Educación.

- Piaget, J. (1965). "Discours du directeur du Bureau international d'éducation". En: Vingt-septième Conférence. . *En: Vingt-septième Conférence internationale de l'instruction publique: procès-verbaux et recommandations. Ginebra*, (págs. 42-44). Ginebra: Oficina Internacional de Educación.
- Piaget, J. (1974). *Understanding causality*. New York: W.W. Norton.
- Pintrich, P., Marx, R., & Boyle, R. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of individual beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 6, 167-199.
- Platón. (1871). *Obras Completas Tomo IV*. Madrid: Medina y Navarro Editores Patricio de Azcárate.
- Popper, K. R. (2007). *The logic of scientific discovery*. Cambridge: Popper, K. R., & International Society for Science and International Society for Science and Religion.
- Posner, G. J., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 211-217.
- Reif, F. (2010). *Applying cognitive science to education: thinking and learning in scientific or other complex domains*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169–192.
- Rosnick, P., & Clement, J. (1980). Learning without understanding the effect of tutoring strategies on algebra misconceptions. *Journal of Mathematical Behaviour*, 3(1), 3-27. .
- Sherin, B., Krakowski, M., & Lee, V. (2012). Some assembly required: How scientific explanations are constructed during clinical interviews. *Journal of Research in Science Teaching* , 49 (2), 166-198.
- Smith, C., Carey, S., & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight and density. *Cognition*, Volume 21, Issue 3, December 1985, Pages 177–237.
- Smith, J., diSessa, A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analisis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.
- Stepans, J. I. (2011). *Targeting physical science misconceptions using the conceptual change model*. Saint Cloud MN: Saiwood.

- Suppe, F. (1977). The search for philosophic understanding of scientific theories. En F. (. Suppe, *The Structure of scientific theories*. (págs. 3-243). Urbana II: University of Illinois Press.
- Temple, G. (1956). The dynamics of the pneumatic tyre . *Endeavour*, 200.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding*. Princeton: Princeton University Press.
- Vickers, J. (2013). The Problem of Induction. En E. N. Zalta, *he Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2013 Edition)* (págs. URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/induction-problem/>>).
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 205-221.
- Vosniadou, S. (2008). Conceptual Change Research :An Introduction. En I. h. Routledge.. New York: Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24,535-585.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change . En S. Vosniadou, *International handbook of research on conceptual change. (2008)*. (págs. 3-34). New York: Routledge.
- Zylbersztajn, A. (1983). *A conceptual framework for science education: Investigating curricular materials and classroom interactions in secondary school physics*. Guilford: Phd. Thesis University of Surrey (unpublished).