

APORTES A LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA DESDE EL ANÁLISIS
HISTÓRICO DEL TEXTO ORIGINAL DE STEPHEN HAWKING, BREVE HISTORIA
DEL TIEMPO: DEL BIG BANG A LOS AGUJEROS NEGROS

Cristian Emilio Torres Perea

UNIVERSIDAD DEL VALLE

Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación
Ambiental

Buenaventura

2018

APORTES A LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA DESDE EL ANÁLISIS
HISTÓRICO DEL TEXTO ORIGINAL DE STEPHEN HAWKING, BREVE HISTORIA
DEL TIEMPO: DEL BIG BANG A LOS AGUJEROS NEGROS

Cristian Emilio Torres Perea

Trabajo de grado dirigido por:

Nelson Enrique Hoyos

Magister en Educación

Universidad del Valle

Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación
Ambiental

Buenaventura

2018

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mi padre Rafael Torres por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A Paola Rivas por ser una parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mi tutor, el profesor Nelson Hoyos. Por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A la profesora Blanca Orozco por haber sido uno de los pilares de mi formación en física tanto disciplinar como motivacional, lo que me permitió estar preparado e inspirado para la construcción de este trabajo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE	4
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
Objetivos	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos.	21
Antecedentes.....	22
Los aportes de la historia de la ciencia en la enseñanza.	22
Introducción de la física moderna en la enseñanza de la física en general.	25
Implicaciones didácticas en Física.	27
II. MARCO TEORICO.....	30
La historia de las ciencias y la didáctica de las ciencias	31
La Historia de las ciencias y la formación docente.....	34
La imagen de la ciencia.....	36
La imagen de ciencia positivista.	37
La imagen de ciencia relativista.....	39
La imagen de ciencia realista.....	45
La imagen de ciencia pragmática.....	46
Física moderna.....	49
Relatividad.....	49
Mecánica cuántica.....	54
La imagen de la física moderna	58
La física moderna en Colombia	59
III. METODOLOGÍA	63
Análisis histórico-crítico	63
Diseño metodológico	65
La selección y definición del caso.....	65

Elaboración de una lista de preguntas.	65
Localización de las fuentes de datos.	66
Análisis e interpretación.	66
Elaboración del informe.	66
IV. ANÁLISIS HISTORICO CRÍTICO: CONTEXTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO.....	67
La naturaleza del universo.....	67
El universo de Aristóteles.....	69
El universo de Ptolomeo.....	70
El Universo de Copérnico	71
El universo de Newton	73
El universo de Einstein.....	75
El paso a la física moderna: Edwin Hubble.....	76
V. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.....	83
VI. CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS.....	104
Anexo A: Breve historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros: Primer capítulo.	104

RESUMEN

El trabajo aborda aspectos relevantes en el ámbito de la enseñanza de las ciencias: 1) la inclusión de la física moderna como ampliación del campo disciplinar, 2) el carácter cualitativo que emerge de los nuevos paradigmas de ciencia y 3) los análisis histórico-críticos. Aspectos que se relacionan y a partir de allí se concretan reflexiones y aportes para crear una visión más amplia sobre el quehacer científico. En particular, se presenta el análisis histórico-crítico realizado en base al primer capítulo del libro original de Stephen Hawking, *Breve historia del tiempo: Del Big Bang a los agujeros negros*, y las implicaciones didácticas que surgen en torno a la evolución del concepto de “naturaleza del universo” a través de diferentes momentos de la historia.

Se realiza un abordaje de diferentes referentes históricos en la historia de la Física que el mismo Stephen Hawking enfatiza en su libro (Aristóteles, Copérnico, Newton, Einstein) en cuanto a cómo se entendía el universo y que elementos sociales, culturales y religiosos fueron fundamentales para su determinación. A partir del uso de la historia de las ciencias se logra evidenciar que las disciplinas, incluso aquellas con las teorías más abstractas y la instrumentalización más variada pueden ser analizadas y comprendidas desde una lectura más cercana a elementos humanos como las creencias y necesidades personales del científico, la influencia de actores políticos en el medio donde surge un concepto en especial o la presión social que supone que la teoría que se esté construyendo ponga en tela de juicio un dogma religioso.

El trabajo se enmarca en una visión sobre la física moderna que no se restringe solo al uso de modelos matemáticos, sino que acepta que en la producción científica de esta disciplina influyen aspectos sociales y personales determinantes. Desde esta mirada se reconoce que la enseñanza de los nuevos paradigmas de la física no debe limitarse a estar relacionado con conocimientos avanzados de cálculo, el razonamiento cualitativo y la contextualización del fenómeno también permiten lograr acercamientos fructíferos en el aula de clases. Es a partir de la historia de las ciencias y la filosofía de la ciencias que el docente puede no solo, encontrar una mayor cantidad de espacios para reflexionar sobre su disciplina, el conocimiento que tiene de esta y los recursos propios que puede construir para su enseñanza,

sino también evidenciar que las disciplinas científicas, incluso aquellas con las teorías más abstractas y la instrumentalización más especializada, evolucionan en paralelo a los movimientos culturales, políticos y religiosos que se gestan en la sociedad, y es a partir de estos que el concepto de ciencia encuentra nuevos significados y perspectivas.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la siguiente investigación tiene por objetivo identificar las implicaciones didácticas que se pueden sustraer acerca de la evolución histórica del concepto “naturaleza del universo” teniendo como ejes conceptuales para su desarrollo, 1) el análisis del texto original de Stephen Hawking, Breve historia del tiempo: Del Big Bang a los agujeros negros, 2) la inclusión de la física moderna en la enseñanza de las ciencias, 3) los elementos cualitativos en la construcción de teorías físicas y 4) la historia de las ciencias en la formación de profesorado de física.

Brindar explicaciones sobre cómo el hombre ha construido teorías acerca de que caracteriza al universo y como elementos específicos determinan su funcionamiento resulta ser más complejo de lo que parece, ya que trasciende el terreno de la observación de fenómenos aun cuando el concepto de universo se relaciona íntimamente con el campo de la astronomía. Se podría afirmar que el registro de datos y los cálculos a través de modelos matemáticos para la época no es lo único que ha permitido a las colectividades definir el cosmos de una forma u otra. Por ello, el presente trabajo desarrolla y discute el primer capítulo del libro de Stephen Hawking, Breve historia del tiempo: Del Big Bang a los agujeros negros, interpretándolo en el marco de ¿qué elementos de carácter social y cualitativo influyen en el surgimiento de dichas definiciones? Se busca con ellos ideas alternativas para hacer posible la inclusión de temáticas de física moderna o contemporánea en aulas de bachillerato, sin tener que recurrir a las estrategias de enseñanza de aulas universitarias de física que se basan en mayoría por el uso de ejercicios matemáticos.

En el desarrollo de este trabajo se entiende la historia de las ciencias no como la revisión de artículos históricos que enfatizan en las fechas, lugares y anécdotas que están involucradas con el descubrimiento de una teoría, sino como la reconstrucción de escenarios donde se haga visible el efecto que en dichas teorías tienen las dimensiones personales, culturales, políticas y religiosas de aquellos que las proponen y las discuten, permitiendo así, que docentes y estudiantes de ciencias realicen reflexiones más amplias sobre cómo es realmente el quehacer científico.

Por lo tanto, se hace importante con este trabajo generar condiciones que favorezcan una nueva mirada frente al conocimiento de las teorías físicas actuales y de la investigación histórica, donde se amplíe la experiencia y en esa medida se pueda establecer un dialogo con los aportes hechos por diferentes pensadores y con la información suministrada por un sinnúmero de autores, permitiendo así un nuevo sentido a la enseñanza de la física actual y la enseñanza de las ciencias en general desde los intereses particulares de cada individuo. Así, enseñar sobre física implicaría orientar a los estudiantes a comprender ¿por qué los personajes históricos actuaron como lo hicieron? y apreciar como sus acciones fueron afectadas por las condiciones de su época. Los intereses particulares de cada individuo se hacen validos en la discusión académica cuando sus partícipes aceptan que las personas tienen diferentes perspectivas debido a sus antecedentes educativos, históricos, sociales o culturales, y eso interviene en mayor o menor medida su forma de interpretar hechos y/o fenómenos.

El documento se organiza por capítulos de la siguiente manera:

En el capítulo I se encuentra el planteamiento y justificación del problema, los objetivos y antecedentes del mismo.

En el capítulo II se encuentran todos los referentes conceptuales que aportan desde diferentes miradas acerca del uso de la historia de las ciencias y la comprensión de la física moderna. Por ello se hace un abordaje de cómo evoluciona la historia de las ciencias a la actualidad y cuál es su función tanto en la formación docente como en la enseñanza en el aula. Además, también se reflexiona sobre la postura que puede tener un docente sobre la historia de las ciencias tomando en cuenta qué imagen de ciencia tiene este.

En el capítulo III se presenta el desarrollo metodológico del proyecto de investigación, el cual está enmarcado en el análisis histórico-crítico.

En el capítulo IV se presenta el análisis histórico del texto original de Stephen Hawking para comprender la manera en que diferentes elementos sociales proceden a tener influencia sobre la forma en que la sociedad humana puede llegar a concebir el mundo que le rodea y así tener elementos de carácter cualitativo para actuar en el aula con temas como la naturaleza del universo, pero desde la forma de pensamiento de la física actual.

Finalmente, en el capítulo V se encuentran las consideraciones que se hacen respecto a las implicaciones didácticas que pueden ser tomadas en cuenta para enriquecer la enseñanza de la física y de temas vinculados a la naturaleza del universo, y las conclusiones del trabajo investigativo.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sociedad actual se encuentra inmersa constantemente en asuntos que involucran permanentemente la ciencia y la tecnología, siendo estos elementos fundamentales en los sistemas de producción y gestión de servicios, indispensables para el diario vivir de las personas. Entender como estos elementos se desarrollan y tienen efectos en los estilos de vida modernos requiere que la sociedad sea instruida sobre temas y herramientas que les permitan comprender, dialogar y decidir en situaciones de la actualidad. Es imperativo que en la academia se reflexionen sobre ¿cuáles deben ser los aprendizajes esenciales? y ¿qué contenidos deben incluirlos para consolidar en los estudiantes los objetivos que se vienen planteando desde la alfabetización científica y tecnológica? De este planteamiento podemos considerar como un paso inevitable, para lograr una sociedad más afín a las transformaciones de su medio, el incluir una enseñanza de las ciencias naturales que se centre en temáticas actuales.

Una formación científica que este planteada desde la reflexión y resolución de los problemas de su época no solo tiene repercusiones positivas en el sentido de que la sociedad encuentra en la educación en ciencias una respuesta a los obstáculos de sus dinámicas cotidianas, también trae beneficios afianzando en los estudiantes la idea de ciencia, como herramienta necesaria para los seres humanos, porque al ser trabajados, cuestionados y comprobados en la escuela, su importancia y coherencia se vuelven cada vez más firmes y fomentan el interés por adoptar posturas frente a las causas y consecuencias de ciertos fenómenos (Veglia, 2007). Hay que aceptar que los contenidos de la enseñanza no son inamovibles y que pueden adaptarse en función de los objetivos de aprendizaje que se hayan establecido (Rué, 2003).

Los contenidos escolares deben ser cuestionados y revisados periódicamente, con la intención de introducir los conocimientos que exige el progreso de la ciencia y los cambios sociales (Bourdieu & Gros, 1990). Se trata esencialmente de reestructurar las divisiones al interior de las disciplinas y redefinir las condiciones de su transmisión, eliminar nociones obsoletas o poco pertinentes y de introducir nuevos saberes impuestos por el paradigma de la época.

El dominio del conocimiento conocido como “ciencia” ha evolucionado a lo largo de los años y continúa evolucionando en el siglo XXI, Esta historia tiene una relación directa con el contenido científico de la escuela, tanto el tradicional como el humanista. La línea de evolución de la ciencia, tiene su origen a la par del de la filosofía griega, relación comprensible al suponer que en la Antigua Grecia gran parte de las discusiones iniciaban en torno a la cuestión primordial de cuál era el lugar del hombre en el mundo, hecho que se comprobaba en los estudios astronómicos.

Los avances se retoman radicalmente durante el siglo XVII cuando el éxito al ejercer poder y dominio sobre la naturaleza atrae la atención de empresarios que posteriormente adaptan los métodos e ideas de científicos del momento como Newton y Boyle para ganar poder y dominio sobre la productividad humana, en el contexto de varias industrias emergentes a lo largo de la Gran Bretaña del siglo XVIII (Mendelsohn, 1976). En una época donde la apertura comercial hacia otras comunidades era un asunto de gran importancia para las grandes ciudades europeas, la discusión colegial y la investigación que se financiaba por los gobiernos locales estaba concentrado principalmente en encontrar o potenciar métodos de transporte de carga, gestión de las materias primas, además de mejorar la comprensión sobre sustancias específicas para ampliar sus usos y crear estrategias comerciales a partir de estos.

Probablemente, más que cualquier otro hecho histórico, la segunda guerra mundial provocó una reforma a la ciencia, que, aunque es un poco lamentable por su uso, obligó tanto a las potencias del Eje como a los Aliados a realizar investigaciones sobre cómo usar nuevas formas de energía para fines bélicos (Kober, 2017). Aunque, esto no tuvo como consecuencia que en las escuelas se planteará la formación en química o física como una herramienta para la mejora del arsenal bélico de una nación, si hubo una repercusión sobre la naturaleza misma de la ciencia e incentivo la idea de que dentro de la formación científica era necesario introducir un componente humanista que llevara a los estudiantes a reflexionar como debe usarse la ciencia con el fin de lograr la creación de una sociedad estable y pacífica.

Existe la convención de que la educación en ciencias, tanto la informal que se puede encontrar en comerciales y programas de televisión como la formal que se imparte al interior de instituciones educativas, debe estar en constante transformación al igual que la sociedad, permitiendo a sus integrantes estar al tanto de las herramientas para enfrentar los obstáculos

que supone la supervivencia en cada época Chapa & Martínez (2016), de allí que los currículos estén alineados frente a los paradigmas científicos más recientes.

Contrario a lo que la literatura sugiere, los contenidos escolares que se planteen en Colombia, y se ubican en documentos oficiales como los estándares básicos de competencia y los deberes básicos de aprendizaje (DBA) en ciencias naturales, no obedecen a la necesidad de reflexionar y reestructurarse. Los estándares básicos de competencia Mineducación, (2017) plantean una estructura dividida en cinco bloques: Entorno vivo, entorno físico, aproximación al conocimiento como científico(a) natural, desarrollo de compromisos sociales y personales, y ciencia, tecnología y sociedad. En el bloque de ciencia, tecnología y sociedad se establece reiteradamente, específicamente en los dos últimos años de escolaridad, que los estudiantes deben estar informados de los temas actuales y que estos deben ser objeto de discusión constante en las aulas de clase lo que implicaría que los temas de biología, química y física estarían alineados al progreso actual de sus respectivas disciplinas.

Como ejemplo, se tiene el libro “Invitación a la biología” de Curtis (2006) que expone como a través de la historia se han introducido cada vez más temas que permiten comprender la dinámica de los seres vivos, tomando como los más recientes la genética y la evolución. Y aunque el libro no hace mención explícita de la síntesis evolutiva moderna, que aparece explicada en detalle en “Evolución de la síntesis moderna” Huxley (1942); es imprescindible que se le tome en cuenta puesto que es una integración de la teoría de la evolución de las especies por selección natural de Charles Darwin, la teoría genética de Gregor Mendel como base de la herencia genética, la mutación aleatoria como fuente de variación y la genética de poblaciones de Sewall Wright. En coherencia con estos nuevos elementos de discusión para el campo de la biología, los estándares de competencia y los DBA a lo largo de varios años de escolaridad en la educación media colombiana plantean los siguientes contenidos, habilidades y actitudes (Mineducación, 2017):

“Analiza teorías científicas sobre el origen de las especies (selección natural y ancestro común) como modelos científicos que sustentan sus explicaciones desde diferentes evidencias y argumentaciones” (Mineducación, 2017).

“Comprende la forma en que los principios genéticos mendelianos y post-mendelianos explican la herencia y el mejoramiento de las especies existentes” (Mineducación, 2017).

“Explica la forma como se expresa la información genética contenida en el –ADN-, relacionando su expresión con los fenotipos de los organismos y reconoce su capacidad de modificación a lo largo del tiempo (por mutaciones y otros cambios), como un factor determinante en la generación de diversidad del planeta y en la evolución de las especies” (Mineducación, 2017).

“Comprende que la biotecnología conlleva el uso y manipulación de la información genética a través de distintas técnicas (fertilización asistida, clonación reproductiva y terapéutica, modificación genética, terapias génicas), que tienen implicaciones sociales, bioéticas y ambientales” (Mineducación, 2017).

En el caso de la biología no solo se abordan los temas actuales, también se problematizan ubicando su uso en la sociedad actual.

Las discusiones y los avances referentes al campo de la química en el siglo pasado se caracterizaron por girar en torno a los nuevos modelos de estructuras atómicas (Thomson, 1904; Rutherford, 1911 y Bohr, 1913); la síntesis de materias primas innovadoras a raíz de las variaciones en los enlaces de carbono, y en menor medida técnicas para intervenir y evaluar las características de ciertos componentes como el caso de la invención del concepto de pH y la generación de nuevos métodos para medir la acidez. Al igual que la biología, pero en menor medida, se han introducido aprendizajes relativos a dichos avances como necesarios para la formación científica escolar en Colombia tales como (Mineducación, 2017):

“Comprende que los diferentes mecanismos de reacción química (oxido-reducción, hemólisis, heterólisis y pericíclicas posibilitan la formación de distintos tipos de compuestos orgánico” (Mineducación, 2017).

“Comprende que los diferentes mecanismos de reacción química (oxido-reducción, descomposición, neutralización y precipitación) posibilitan la formación de compuestos inorgánicos” (Mineducación, 2017).

“Explico la estructura de los átomos a partir de diferentes teorías” (Mineducación, 2017).

“Explico la relación entre la estructura de los átomos y los enlaces que realiza” (Mineducación, 2017).

“Relaciono la estructura del carbono con la formación de moléculas orgánicas” (Mineducación, 2017).

“Identifico productos que pueden tener diferentes niveles de pH y explico algunos de sus usos en actividades cotidianas” (Mineducación, 2017).

Tomando en cuenta lo anterior, el campo de la didáctica de la física, que se caracteriza actualmente por la búsqueda de conocimientos que permitan cambios en la visión de la realidad del ser humano y que este mismo lo utilice en función de explicar los acontecimientos cotidianos presentes en su ambiente Klein (2018); debería estar abordando contenidos que trasciendan del campo de la física clásica, que históricamente tiene sus últimos avances en la teoría electromagnética de Maxwell y la mecánica newtoniana, aceptadas ampliamente en el siglo XIX porque sus postulados daban herramientas para la resolución de una gran parte de los problemas más sonados en la época; a la física contemporánea o moderna, esto debido a que en el último siglo se hicieron una serie de cuestiones sobre la naturaleza de elementos que antes se obviaban y que involucraban la alteración del tiempo y el espacio y las dinámicas de un posible mundo más allá del átomo, cuya comprensión iba más allá de lo que podían abarcar las teorías de Newton y Maxwell.

La didáctica de la física actual, según Tambutti & Víctor (1991), debe estar enfocada en crear junto al individuo mecanismos para comprender y apropiarse de las nuevas realidades, lo que implica una necesidad de contrarrestar las tendencias a los cierres y bloqueos conceptuales, estimular la crítica a los saberes históricamente aceptados y reconocer los límites del conocimiento dado, permitiendo así sentar bases para nuevos ángulos de lectura del mundo. Desde la perspectiva de la didáctica de la física es fundamental que los alumnos se acerquen a nuevas realidades y para esto es necesario que aquellos contenidos de reciente discusión y aceptación dentro de la comunidad científica sean introducidos gradualmente en la educación media.

Según Moreira (citado en Vicario & Venier, 2010), existe una puesta en común en la actualidad entre los investigadores de Física y didáctica de la física sobre la necesidad de darle paso a temas de Física moderna o contemporánea en la educación media en los países latinoamericanos. Sin embargo, ni en los estándares de competencia ni en los deberes básicos de aprendizajes son mencionados los temas que se consideraban parte de la física moderna.

Se incluyen la teoría de la relatividad y de los cuantos, las teorías atómicas, electrónica, nuclear, de partículas elementales y, finalmente, la teoría cuántica en sus diferentes versiones y desarrollos relativistas y su aplicación a los diferentes campos (Gil Pérez, Senent Pérez, & y Solbes Matarredona, 1989).

Una de las principales teorías científicas en el siglo XX es la del relativismo, la cual sugiere que, en el mundo físico, las mediciones de tiempo, espacio y masa dependen del movimiento relativo del objeto y del observador. Esta teoría desafía en una persona promedio las expectativas derivadas de las experiencias con objetos cotidianos que normalmente se mueven a velocidades muy por debajo de la velocidad de la luz. Sin embargo, todavía deja en la persona una visión determinista del universo físico en el que las variables están relacionadas de tal manera que un cambio de una variable produce un cambio definido y predecible en otra variable dependiente.

Otra teoría del siglo XX es la mecánica cuántica. Esta teoría introduce muchas ideas contra intuitivas para predecir el comportamiento del mundo físico. Por ejemplo, el Principio de Incertidumbre de Heisenberg, (1955) que nos confronta con la noción de que algunas propiedades de las partículas como el tiempo en el caso de la energía o el momento en el caso de la posición están vinculadas de maneras que hacen imposible conocer ambas con perfecta precisión al mismo tiempo. La física clásica caracterizada por las teorías de Newton planteaba situaciones en las que era posible prever el futuro movimiento dentro de un sistema si se conoce en un instante determinado el estado de dicho sistema. En las teorías del inicio de la física moderna se consideran los “estados finales” o “estados siguientes a” como resultados de un estado inicial que atravesó muchos procesos irregulares o no controlados, en este nuevo paradigma de la física los procesos individuales adquieren un particular interés en el análisis de cómo se consigue o no un resultado.

Heisenberg (1955) retoma las teorías atómicas de Demócrito y Leucipo para explicar cómo la física moderna interpreta a gran escala los fenómenos, refiriéndose a que las propiedades de la materia son producto de la ubicación y movimiento de los átomos. De esta manera, los átomos juegan un papel analógico como elementos de un sistema cuyo comportamiento no es absoluto pero su intervención tiene efectos importantes en dicho sistema. Además de mapear estos comportamientos contra intuitivos del universo de pequeña escala, la teoría

cuántica socava el concepto de determinismo a través del papel central que le da a la probabilidad.

Hay un tercer ejemplo de cambios de visión sobre el mundo físico que hace parte de la física moderna y a su vez no está tan bien arraigado como la relatividad o la teoría cuántica, no obstante, ha revertido la forma en que se podrían tratar de modelar comportamientos complejos en el mundo físico, en parte afirmando que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales pueden producir diferencias masivas en el resultado, incluso en sistemas descritos por ecuaciones bastantes simples y completamente deterministas. La teoría del caos proporciona información sobre el flujo de fluidos turbulentos, el comportamiento de los patrones climáticos, el comportamiento del tráfico, las fluctuaciones de las poblaciones animales y el comportamiento del corazón.

De esto se sigue que, en un nivel fundamental, la mecánica newtoniana, la geometría cartesiana y la causalidad lineal no logran describir este mundo de manera adecuada. Aun cuando sirven como modelos de trabajo para muchas experiencias cotidianas, el que no existan etapas de transición bien marcadas de la teoría clásica a la moderna trae consigo una serie de dificultades.

Varias investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje evidencian que los niños una vez han asimilado una comprensión errónea o limitada de su mundo en su mente, es difícil cambiarlo (Moreira & Greca, 2003) (Oliva Martínez, 1999). Por lo tanto, al proporcionar a los niños aprendizajes derivados de la mecánica newtoniana y presentar esto como no problemático y todopoderoso, se está edificando un escenario en el que cualquier conocimiento posterior de las ideas relativistas del siglo XX será extremadamente difícil.

Stannard R, (1990) argumenta que la etapa idónea para introducir a las personas en la física moderna es cuando son jóvenes, en el nivel de educación media las mentes aún son abiertas y flexibles, pero a medida que se va avanzando en los niveles de escolaridad, las personas se vuelven más firmes en su pensamiento, la visión del mundo se vuelve resistente a los nuevos modos de pensamiento. Cuando los jóvenes tienen su primer contacto con las ciencias, no son recipientes vacíos que hay que llenar con conocimientos; aún en esos primeros años los alumnos ya poseen sus propios modelos con los que explican el mundo que les rodea. Estas teorías, producto de una evolución informal a través de la experiencia cotidiana y que se

identifica con el llamado sentido común, difieren en la mayoría de los casos del conocimiento aceptado o científico, lo que no significa que carezcan de coherencia lógica (Champagne, 1984). Es precisamente su validez cotidiana lo que las arraiga, y al mismo tiempo las convierte en el obstáculo principal para aceptar cualquier otro modelo.

Las lecciones más comunes en física implican que el mundo funciona de una manera que “A conduce a B, lo que nos lleva a C”, descrito en alta frecuencia en la lógica matemática. La teoría del caos indica lo contrario. De hecho, solo en circunstancias muy especiales y controladas, la causalidad lineal simple es el caso en el mundo físico.

Un modelo cognitivo basado en estos elementos de la mecánica newtoniana y causalidad lineal, no prepara a los alumnos para afrontar fenómenos y situaciones de física moderna. Es de suponer que de encontrarse con la física moderna en algún estado posterior de educación se la considerará confusa e incomprensible (Toledo, Arriasecg, & Santos, 1997).

Para Stannard R, (1999) en el contexto de que la formación científica busque medios para fomentar las experiencias de asombro, entusiasmo e interés por la ciencia, es una oportunidad perdida de proporciones trágicas negar a los alumnos el acceso a ideas de física que desbordan intriga, misterio, belleza y complejidad extraña.

También es relevante en términos de relaciones entre ciencia y tecnología, ya que se puede argumentar cómo gran parte de la física teórica no tiene una aplicación tecnológica directa y que las personas cuya profesión se relaciona con esta rama de la física no son impulsados por intereses tecnológicos (Shabajee, 2004). Pero, los aspectos clave de la física del siglo XX se relacionan con las innovaciones tecnológicas del siglo actual. A raíz de dicha relación, la formación científica puede ayudar a los alumnos a reconocer la relevancia de la ciencia.

Dentro de aquellas innovaciones tecnológicas se encuentra la tecnología de almacenaje y procesamiento de la informática actual, la velocidad y la capacidad de almacenamiento de los equipos informáticos aumenta considerablemente a través de la computación cuántica, todo acompañado de una miniaturización de los microprocesadores y soportes de almacenaje; aunque sea solo una estimación, hay una gran posibilidad de que en el futuro existan sistemas de almacenamiento cuya funcionalidad está basada en partículas subatómicas (Ariza, 2017).

El paradigma de la computación cuántica difiere del concepto de computación clásica a través del uso de qubits en lugar de bits, dando lugar a nuevos algoritmos que hacen tratables problemas que eran considerados intratables. Mientras que en la computación digital un bit solo puede tomar dos valores: 0 o 1, en la computación cuántica puede ser 0, puede ser 1 y puede ser 0 y 1 a la vez. Eso permite que se puedan realizar varias operaciones simultáneamente, según el número de qubits. Esto se debe a que en sus procesos intervienen las leyes de la mecánica cuántica, y la partícula, el qubit, puede estar en superposición.

En la computación tradicional, un registro de tres bits habría ocho valores posibles pero el registro solo podría tomar uno. En cambio, en un registro de tres qubits, la partícula puede tomar los ocho valores posibles a la vez gracias a la superposición cuántica. A partir de este cambio en los sistemas computacionales, los ordenadores tradicionales que realizan miles de millones de operaciones por segundo son relevados por los ordenadores cuánticos que realizan millones de millones de operaciones por segundo.

Los sistemas de computación también tienen relaciones frente al progreso de la física moderna por sus intereses en la criptografía, la nanotecnología y la mayoría de ámbitos donde se requiera la manipulación y control de átomos y moléculas para múltiples aplicaciones.

Además de esto se plantean posibilidades para la obtención de energía a partir de la antimateria, como la encontrada recientemente en el campo magnético que rodea la Tierra, podrá almacenarse y utilizarse en el futuro para producir energía, incluso más eficiente que la nuclear (Sánchez, 2017). Hay aproximaciones aún más reales que la anterior, las placas solares utilizan un fenómeno cuántico denominado efecto fotoeléctrico (Serway & Jewett, 2005), microscopios capaces de rediseñar imágenes en 3 dimensiones a partir de la aplicación del efecto tunneling Bernal (2008), la resonancia magnética que permite aprovechar ciertas propiedades de los átomos de hidrógeno en presencia de campos magnéticos para obtener imágenes del interior humano con fines diagnósticos Concepción (2001) y la tecnología de superconductores capaces de alcanzar resistencias eléctricas extremadamente bajas usadas en trenes de levitación magnética (Rairán, 1999).

Más allá de sus ventajas en el campo de la informática y la computación, lo anterior plantea el comienzo de una realidad donde la física moderna se orienta a la construcción de nuevas formas de obtención y gestión de la energía que sean realizadas con mayor eficiencia y que

posibiliten un impacto menos degenerativo hacia el medio ambiente que el realizado por las dinámicas actuales al usar combustibles fósiles. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de proyectos requiere de un personal capacitado y especializado en tópicos de física moderna a un nivel aplicable, lo cual no sería posible lograr sin que existiera un interés latente por los problemas y situaciones que subyacen alrededor de estos conocimientos.

Ostermann & Moreira (2000) proyectan que es necesario que los individuos reconozcan que algunos tópicos tratados dentro de la física contemporánea no son tan alejados de lo que puede percibir y discutir el hombre ya que, los fenómenos estudiados por esta nueva rama de la física son los mismos que se han investigado en la física clásica con la diferencia de que en el lenguaje se han introducido nuevas nociones y principios para tratar de explicar dichos fenómenos. Además, el hablar de que existen nuevas nociones y principios ayuda a transmitir la idea de que la física no es una disciplina que se mantiene estática sino en constante cambio.

A medida que se avanza a través del siglo XXI, el internet y la televisión, mediados por la TIC, exponen regularmente a los niños a hablar de galaxias, agujeros negros, universos alternativos, hiperespacio y teorías del viaje en el tiempo (Barceló, 1998). Los niños usan sistemas informáticos cuyos procesadores basados en semiconductores y los láseres de CD-ROM aprovechan los efectos de la mecánica cuántica. Las tecnologías más nuevas se informan en programas populares de televisión científica usando términos como “relatividad” en el caso de los relojes atómicos en sistemas satelitales de posicionamiento global. De entre todo esto, se evidencia un contraste entre la física que es relevante para estas tecnologías y la física que los niños aprenden en las escuelas, que trata predominantemente de baterías y bombillas, carros en rampas, cuerdas sin peso y poleas sin fricción.

Feynman R, (1985) plantean que incluso niños de primaria suelen mencionar conceptos como los viajes en el tiempo, realidades múltiples e implicaciones de la teoría del caos. Esto es posible puesto que tienen a su alcance series de televisión que usan estos temas como recursos narrativos, tales como Futurama, (1999), y películas como Interstellar, (2014). Sin embargo, los aprendizajes que presenta el currículo nacional hace poco para alentar a los docentes a explorar formas de profundizar la comprensión de estos y otros elementos de la física moderna por parte de los alumnos.

El espacio al que los niños acceden ya no está limitado por su experiencia física personal o su escala física humana. A través de la tecnología, sus sistemas nerviosos se extienden y experimentan realidad muy pequeñas, muy grandes y en numerosos casos, ficticias (Sarmiento Borda, 2015).

La ausencia de física del siglo XX en los planes de estudios reduce la necesidad de los profesores de pensar creativamente sobre estos aspectos de innovación pedagógica, los cuales, una vez se explorarán, podrían ser útiles para la enseñanza en áreas tradicionales.

Entonces, ¿Por qué no se les enseña a los jóvenes de educación secundaria sobre los conceptos fundamentales de física moderna?

Para Gil Perez & Senent (1986) la forma como se han presentado los conocimientos de la Física moderna ha sido uno de los factores que han dificultado el aprendizaje significativo de los mismos. Estos se plantean sin tener como punto de referencia las dificultades que no se pudieron superar desde la Física clásica, ni los límites de validez de esta, ni las diferencias de ambas visiones sobre cómo se comporta la materia, lo que conlleva a una incorrecta comprensión de ambas y proporciona una imagen muy lineal del desarrollo de la ciencia y de la propia metodología científica.

Dentro de esta misma idea Arons (1990) plantea una nueva problemática, la cual se refiere a cuáles son los criterios por los que se deben seleccionar los temas que se introducirán en la enseñanza y cuál será su orden, el autor mismo menciona que debe haber un número limitado y específico de tópicos de física moderna que deben introducirse a las aulas de clases. Aparte de ello, también defiende la metodología de hacer uso de los conceptos clásicos para abordar los fenómenos modernos y contemporáneos.

Autores como Oñorbe (1996) plantean que, al emplearse conceptos y modelos más alejados de las percepciones cotidianas en comparación con los de la física clásica, la inclusión de la física moderna no era percibida de manera positiva por los profesores. Otros autores plantean que los conceptos que se manejan en el lenguaje de física moderna son muy complejos y escapan completamente a la capacidad intuitiva, solo siendo posible su comprensión a través de razonamientos matemáticos avanzados que quedan fuera del alcance de estudiantes de

bachillerato (Fischler & Lichtfeldt, 1992), (Lind, 1980) & (Johnston, Crawford, & Fletcher, 1998).

Pero eso es contradictorio con el hecho de que existen numerosos trabajos que proponen explicaciones consistentes sin tener que recurrir a modelos matemáticos complejos. Aunque el carácter cuantitativo se tome como argumento central para no incluir la física moderna en los planes de estudios no necesariamente debe tomarse este como el único recurso cuando se debe realizar el ejercicio pedagógico.

Asimismo, existe una puesta en común Pérez (1983), Hodson (1985) & Millar (1987) acerca de que la inclusión de los datos en ejercicios de física orienta la resolución de los mismos hacia el manejo de unas determinadas magnitudes sin que ellos responda a una reflexión sobre la naturaleza real del problema. De este modo, al abordar un problema, el alumno se ve abocado a buscar aquellas ecuaciones que pongan en relación los datos e incógnitas proporcionados por el enunciado, cayendo así en un puro operativismo.

Los diagramas de Feynman (2018) expresan la física compleja de la electrodinámica cuántica a través de modelos “visuales” que son simples de comprender y conceptualmente precisos, y no requieren complementación obligatoria de modelos matemáticos. Dichos modelos visuales pueden ser gestionados adecuadamente en el aula a través del uso de las TIC. Krauss (1998) sugiere la posibilidad de usar la ciencia ficción para enseñar física, idea retomada por Stannard (1991) y plasmada en su producción de textos sobre relatividad para niños de 11 años.

Aunque la física moderna es comúnmente vinculada a una serie de métodos y contenidos considerados complejos, por su vinculación con el mundo subatómico, los agujeros negros e incluso la concepción del tiempo, es posible la integración de estos dentro de los currículos sin perder la coherencia que se hubiera estado construyendo con las temáticas previas. Stefanel (1998) plantea diferentes escenarios donde han sido posibles transiciones de la teoría clásica a la moderna. La inclusión de hipótesis de cuantificación en temas que son difíciles de interpretar desde la teoría clásica como la emisión y absorción de luz y la dependencia de los calores específicos con la temperatura. La construcción de puntos de vista fenomenológicos sobre la interferencia y la difracción de la luz en el tratamiento de las ondas y de la óptica. La construcción de interpretaciones cuánticas según el principio de

superposición lineal tomando en cuenta el análisis de mínimos y máximos. Un conocimiento cualitativo de los espectros atómicos a partir de mediciones cuantitativas de la longitud de onda en los espectros de algunos elementos.

La propuesta que se puede evidenciar del trabajo de estos autores es la necesidad de una orientación diferente sobre la física moderna, una que se aproxime más a la naturaleza cualitativa de esta, que evite visiones simplistas e incorrectas, y permita posteriormente establecer un ejercicio pedagógico más profundo, menos condicionado, y que sea coherente con el desarrollo real de la física moderna.

Se trata entonces de encontrar formas de representar el mundo que se vislumbra en la física moderna a través de un sistema de símbolos que no pierda continuidad con lo que ha construido en la física clásica y se ha enseñado hasta el momento.

Ante esta nueva diversidad de formas de comprender fenómenos físicos y abordados en la escuela, Ayala (2016) destaca que la comprensión de los conceptos de física implica conocer acerca de la naturaleza de los problemas que han posibilitado la formación y el desarrollo de esos conceptos, las condiciones en las que han surgido, las respuestas que han encontrado a lo largo de su desarrollo y como estas mismas han ido cambiando ante los posteriores cambios en el mundo, y las herramientas y/o metodologías que han sido empleadas para abordarlos.

Tomando en cuenta la naturaleza de dichas dificultades, la historia de la ciencia viene a jugar un papel importante pues permite tanto al profesor como el estudiante obtener información de primera mano para confrontar las interpretaciones erróneas o tergiversaciones que se han plasmado en ciertos libros de textos y se han transmitido por generaciones (Carrascosa, 2005). La historia de las ciencias también sirve de guía para seleccionar que los contenidos y el orden en el que pueden ser presentados pues se toman los conceptos estructurantes que uso el autor para introducir al lector en los ejes de su conocimiento como puntos de partida puntuales para orientar al estudiante hacia unos contenidos particulares, aportan situaciones históricas reales que pueden ser utilizadas en las actividades experimentales para que la reconstrucción del conocimiento que se tiene proyectado incluya aspectos sociales, económicos y políticos, ayudando a fortalecer la noción de los estudiantes de que la ciencia es una construcción en la que intervienen aspectos humanos (Gagliardi, 1988).

Ayala, (2016) también menciona que el reconocimiento de un carácter histórico en la física y con intereses particulares para la educación implica que la historia debe ser permanentemente reconstruida lo que conlleva a considerar dos exigencias puntuales: repensar constantemente los hechos del pasado desde diferentes posturas y tomar en cuenta ideas sobre la física que han sufrido cambios y controversias notables en los años más próximos.

La primera exigencia se refiere a que diferentes escenarios de la historia de la física pueden servir a un propósito pedagógico en particular como la revelación de una dificultad conceptual en particular, y que un solo escenario puede servir a diferentes propósitos didácticos como ser complemento de una guía de laboratorio, mostrar en el aula la influencia de las construcciones socioculturales en la actividad científica, introducir escenarios problemáticos o como lo tratará este trabajo, revelar una estructura lógica para introducir conceptos modernos desde conceptos tradicionales.

La segunda exigencia hace referencia a que la reflexión histórica sobre la física y su posterior aprovechamiento no debe estancarse a un periodo histórico en particular, sino que debe apropiarse de continuos cambios de paradigma ya que entre más recientes son estos, más cercanos son a los entornos en los que viven los estudiantes actualmente, esto tiene una ventaja importante con respecto a captar la atención.

Que la reflexión histórica ponga de relieve el carácter cualitativo de la física contemporánea es importante porque se contrapone a los problemas usuales que tienen los estudiantes en física como la búsqueda afanosa de fórmulas en la resolución de problemas y la incapacidad de analizar fenómenos vinculados a experiencias de laboratorio (Lucero, Concari, & Pozzo, 2006). Hay que destacar que el hecho de que se haga énfasis en el carácter cualitativo de la física moderna no hace necesariamente referencia a que en la educación media solo se puedan plantear situaciones abiertas que admitan distintas soluciones, ni tampoco se limitan a situaciones donde las expresiones matemáticas no entren en juego para su resolución, sino que de ser usadas exigirá que esté acompañada de alguna interpretación conceptual, que lleve a un análisis de las variables intervinientes en el fenómeno y de cómo afecta al sistema físico involucrado, la variación de alguna de ellas. La idea de carácter cualitativo en una situación de física moderna que se plantea en este trabajo hace referencia a la lectura comprensiva del

enunciado, para poder identificar cuál es el problema real y el área de conocimientos pertinentes, necesitando un análisis conceptual profundo de la situación, a la luz de las teorías y principios que la sustentan, tanto en sus expresiones conceptuales como matemáticas.

El propósito de la reflexión histórica es definir y especificar los aspectos sociales que caracterizaron el surgimiento de la física moderna, las limitaciones en la teoría clásica que conllevaron al estado de transición y como el discurso de los propios referentes de esta disciplina permite discernir una estructura lógica para presentar los contenidos en la formación científica escolar.

A causa de la tendencia dominante en la actualidad de privilegiar exclusivamente el análisis de la física moderna desde un punto de vista matemático o cuantitativo, lo cual conlleva a que los bajos niveles de rendimiento de los estudiantes de educación media en matemáticas se convierta en un argumento para privar la introducción de ideas y teorías más recientes de la física; se hace necesario plantear un análisis que dé cuenta del carácter cualitativo de la física moderna, tarea que debe iniciarse con un análisis histórico crítico de su surgimiento como disciplina y su articulación en el conjunto del saber con otros discursos más cercanos a la teoría clásica.

El análisis referente a los aspectos sociales es primordial, ya que se pretende examinar como el contexto del que surgen las transformaciones del conocimiento también revelan un aspecto poco visibilizado de la física moderna y de la física en general, es aspecto humano y cultural que también caracteriza la discusión científica.

Se desea también destacar la importancia que tiene este último enfoque para dar cuenta de lo específico de la problemática de no introducir las ideas de la física moderna en la formación científica escolar y comprender como se ha constituido, desde lo social, la teoría contemporánea de la física.

Teniendo en cuenta lo importante que puede resultar el comprender el carácter cualitativo que poseen los tópicos de física moderna, se hace necesario hacer un estudio desde la historia de las ciencias para evidenciar que la construcción de dichos conocimientos es relatada por sus autores haciendo un mayor énfasis en ejercicios de observación que de cálculos.

Por ser tanto una eminencia reconocida en el mundo de la física como un icono popular de la cultura y la ciencia moderna se ha seleccionado como elemento fundamental de este trabajo a Stephen Hawking y uno de sus textos primarios, el cual es categorizado como un best sellers entre las editoriales occidentales, Breve historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros.

Dada la naturaleza de la obra, la cual ya hace un abordaje histórico sobre diferentes conceptos de la física moderna, el interés de usar este texto es analizar la forma a través de la cual Hawking aborda un concepto o teoría de la física moderna, identificar los aspectos cualitativos e implicaciones que rodeen al concepto y reflexionar sobre qué implicaciones didácticas pueden ser construidas a partir del proceso con el fin de aportar a la educación en ciencias, por ello se plantea el siguiente interrogante:

¿Cuáles son las implicaciones didácticas que ofrece el análisis histórico del texto original de Stephen Hawking, Breve historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros?

Considerando esto, se plantean los siguientes objetivos:

Objetivos

Objetivo general.

Identificar las implicaciones didácticas a partir de la evolución del concepto de naturaleza del universo, obtenido del análisis histórico crítico del primer capítulo del texto original de Hawking, Breve historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros.

Objetivos específicos.

Realizar un análisis histórico crítico del primer capítulo del texto original de Hawking, Breve historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros; propiciando un diálogo que permita tomar postura crítica frente a la noción de la naturaleza del universo.

Identificar las implicaciones sociales que rodean la construcción de un concepto de física moderna que permitan plantear un escenario más cercano y familiar con el estudiante.

Establecer aportes a la escuela colombiana a partir de los elementos encontrados en el análisis histórico crítico.

Antecedentes

En el desarrollo de este trabajo se tomaron en cuenta otras investigaciones que permitieron consolidar un marco general de lo que se ha realizado, cómo se ha realizado y qué resultados se han obtenido dentro de trabajos involucrados con la historia de la ciencia en la enseñanza, la introducción de la física moderna en la enseñanza de la física en general y las implicaciones didácticas en la física. A partir de la lectura y reflexión de dichos referentes será posible rescatar ideas en torno a los elementos necesarios para la construcción del análisis histórico crítico y el posterior desarrollo de las implicaciones didácticas.

Los aportes de la historia de la ciencia en la enseñanza.

En este punto se abordaron investigadores que desarrollaron proyectos pretendiendo mostrar la importancia de la Historia de las ciencias en la enseñanza, por ejemplo:

En el trabajo de investigación de Morcillo Molina (2016) se analiza la forma como es presentada la actividad experimental en los procesos de formación docente, concluyendo que esta actividad se presenta como una simple receta de cocina, con procedimientos metódicos, que promueven una visión empobrecida del trabajo experimental. La autora contrasta, a través de un estudio de caso sobre los experimentos relacionados con la fermentación realizados por Pasteur, la visión de ciencia que se identifican en las guías de laboratorio tradicionales y la que evidencia el trabajo experimental original que desarrollan los científicos reales. Se llegó a la idea de que la historia de la ciencia permite conocer de forma más profunda el origen de determinados fenómenos, la fermentación en este caso, haciendo el experimento más real, generando inquietudes y demostrando la importancia del material para el desarrollo del trabajo, además de revelar la estrecha relación entre el carácter teórico y metodológico de la ciencia en la producción del conocimiento. De esto se puede entender que la historia de las ciencias revela elementos importantes para hacer las actividades de experimentación, independiente de si su carácter es cualitativo o cuantitativo, más completas y enriquecedoras al incluir un acercamiento más profundo de cómo es creada y validada la ciencia, además de evidenciar detalles más allá del resultado del experimento como lo son los instrumentos, los materiales y ciertos aspectos sociales.

El presente trabajo junto al de la autora ya mencionada son similares en el sentido de que se pronuncian frente a un aspecto de la actividad científica escolar que está siendo reducido al “operativismo” y trae consigo una serie de consecuencias que impiden el afianzamiento de una mejor formación científica. Aunque la actividad experimental es uno de los elementos en el que mayor énfasis realiza la autora no es la razón por la que es planteado en esta sección, se considera de gran valor puesto que al poseer problemas y propuestas de solución similares es importante contar con un referente que permita reafirmar el potencial de la metodología histórica para este tipo de problemas.

Cabrera Castillo (2017) en uno de los apartados de su trabajo de investigación, que se centra en identificar los elementos que ofrece Kuhn desde su literatura para identificar aportes para la enseñanza de las ciencias desde la historia de las ciencias tomando como objeto de aplicación al concepto de combustión, menciona que la reflexión histórica permite evidenciar líneas de fragmentación entre conceptos que se relacionan con un fenómeno en particular y que la superación de dicha fragmentación desde la revisión de la historia de las ciencias posibilitaría utilizar la combustión como un concepto estructurante y útil como herramienta de discurso al hablar sobre transformaciones de la materia y reacciones químicas. Asimismo, hace mención de la revisión de cómo se han construido los conceptos científicos, y en especial aquellos que han significado etapas de transición para una disciplina, permite ubicar en clases situaciones problemas que tengan un alto grado de impacto en la percepción del estudiante acerca del concepto o la disciplina que se esté abordando, además de permitir el acceso a un escenario donde prime el dialogo y la reflexión sobre los límites y alcances de la ciencia.

Aunque no es explícito es importante para cualquier investigación que se valga de la historia de las ciencias el ubicarse desde los momentos más álgidos, en los cuales el conocimiento científico ha visto episodios de transformación y ha sido el mismo causante de transformaciones en la sociedad. Como es el caso de la investigación del autor, pues Cabrera, (2017) menciona:

“En este caso se toma como objeto de aplicación al concepto combustión, se utiliza éste porque Kuhn lo considero como el paradigma que dio origen a la revolución química, es decir, históricamente fue el epicentro que permitió el desarrollo de la Teoría del flogisto a la

Teoría de la oxigenación, además porque es con este que la química moderna inicia su camino” (p.12).

En la estructura que ha planteado el texto de Stephen Hawking sobre la evolución del concepto de universo, su constitución y funcionamiento se hace mención de varios paradigmas por lo que también existen puntos de transición de una teoría a otra y no sería posible dentro de los parámetros de la presente investigación desarrollarlos a profundidad a todos. Tomando en cuenta lo anterior y el aporte dado por Cabrera (2017) se debe hacer una revisión de los espacios que existen entre los paradigmas y determinar cuál debería tener un desarrollo más profundo.

A partir de esta idea se justifica porque dentro del análisis histórico crítico de naturaleza del universo, se hará especial énfasis en el escenario del que surge la primera teoría de carácter científico acerca del origen del universo, precisamente por ubicarse en un punto álgido como lo es un periodo de transición entre dos paradigmas y el inicio del camino de la física moderna. Dichos puntos álgidos son necesarios dado que es ahí donde se evidencia que la actividad científica se construye desde sus crisis, cambios paradigmáticos, avances y retrocesos en algunos casos.

Martínez (2014) en sus reflexiones plantea una necesidad que surge dentro del debate científico, en el que ha sido constante escuchar acerca de las teorías y las representaciones de la realidad frente a la relegación de la experimentación, los instrumentos y la actividad práctica en general, acentuándose más en el reconocimiento de los instrumentos que se han empleado como simples herramientas para evaluar la teoría, noción extremista que conlleva al autor a replantear desde la reflexión bibliográfica, y tomando como elemento central de su reflexión el caso de la cuba neumática; cuales son los verdaderos alcances de los instrumentos y las razones por las que su intervención en la actividad científica es más compleja de lo que se cree. En el desarrollo de la cuba neumática como instrumento científico estuvieron involucradas diferentes situaciones que no son mostradas regularmente como normales dentro de la actividad científica. En principio, el reconocimiento de su invención fue controversial dentro de la época al no tener en consideración cual era la función como tal del instrumento, posteriormente las actividades en las que era utilizada y las preguntas alrededor de estas eran alteradas por confusiones de aquellos que las realizaban lo que conlleva a que

se modificara paulatinamente la estructura del mismo y su forma de funcionar. Además de ello, la construcción de instrumentos alrededor de la cuba y las formas como eran dispuestos dentro de la actividad experimental permitió la conformación de un procedimiento material organizado, posterior al primer diseño las modificaciones y los ajustes que se hacían en dirección a optimizar la utilidad del instrumento se convertían en un modelo instrumental. Para el autor la profundización en el desarrollo de un instrumento científico desde la historia de las ciencias permite visualizar la forma de trabajo y las transformaciones que a lo largo de los años se van suscitando alrededor del instrumento, lo que conlleva a la construcción de un modelo instrumental, que a su vez permite la consolidación de un modelo del fenómeno que van evolucionando permanentemente hasta generar la comprensión de tópicos más extensos y complejos como para el caso de la cuba neumática es el cambio químico. Este trabajo me sugiere elementos que pueden ser aprovechados en la ejecución del análisis socio histórico ya que pone de relieve el complejo aporte que elementos como los instrumentos científicos y el desarrollo de los mismos le hacen a la comprensión de la actividad científica, tales como la facilidad para reflexionar sobre los mecanismos que los convierten en herramientas aceptadas para la obtención de datos seguros y reproducibles.

Introducción de la física moderna en la enseñanza de la física en general.

Arriassecq (2002) presenta una serie de consideraciones desde la Historia de las ciencias, relevantes para la introducción de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en la enseñanza secundaria, aludiendo a que la TER es un tema particularmente rico dentro de la enseñanza de las ciencias puesto que en ella los alumnos desarrollan lo que el autor define como evolución conceptual, es decir, no un reemplazo de la concepción existente (física clásica) por otra adquirida a través de la instrucción formal (física moderna), sino la coexistencia de ambas concepciones, siendo lo deseable que el alumno fuese capaz de identificar el campo de validez de la concepción existente y aceptase la plausibilidad y eficiencia de la nueva. El autor menciona que para introducir dicho tema sería necesario realizar una contextualización histórica del surgimiento del tema donde se contemple un panorama del estado de la Física en la época en que surge la teoría y las contribuciones alrededor de esta como lo fueron el programa mecanicista y los aportes sobre fenómenos eléctricos y magnéticos de Maxwell. En el desarrollo del trabajo los autores encontraron una serie de posibles beneficios alrededor de incluir la contextualización de alguna teoría en una clase de ciencias, como lo son la

reflexión acerca de la génesis de una teoría, sus contrastaciones empíricas, las aplicaciones de la misma, el rol de la comunidad científica en el desarrollo de una teoría y las influencias de la producción científica en la sociedad. Las ideas que destacaron los autores son profundamente importantes en relación con el presente trabajo, ya que en ellas se evidencian que elementos son necesarios para que la contextualización de una teoría no quede circunscripta al planteamiento histórico – epistemológico aislado de la discusión conceptual, que justamente le da sentido, es decir, con el fin de que el análisis histórico-crítico que será desarrollado en el presente trabajo carezca de un vacío conceptual, es necesario entre otros aspectos que no deje de lado los aportes de las investigaciones en relación con las dificultades de los estudiantes con los conceptos centrales del tema a tratar.

Stefanel (1998) plantea un itinerario didáctico en el que se abordaron temas de física moderna en un ciclo de educación secundaria partiendo de las limitaciones de interpretación desde la teoría de la física clásica y complementando con conceptos de la física moderna, en el que se proponen en principio experiencias introductorias y presentación de un cronograma de referencia sobre el nacimiento de la teoría de los cuantos. Posteriormente se realiza una profundización cuantitativa sobre el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton, el fotón, la experiencia de Franz Hertz, los modelos atómicos y el principio de incerteza. Después una explicación sobre los principios básicos de la teoría cuántica: interpretación probabilística de la función de onda y del principio de superposición. Y por último sesiones de aplicación de los conceptos de física moderna para explicar las propiedades de la materia. De este trabajo se puede rescatar la forma como se han estructurado los contenidos privilegiando el análisis fenomenológico permitiendo a los estudiantes adquirir familiaridad con aspectos cualitativos, también la forma de introducir sutilmente los conceptos, lo que ha permitido entre otros logros, no crear en el estudiante la idea de que la teoría clásica está siendo reemplazada sino más bien complementada en situaciones donde esta no da las herramientas para interpretar algunos temas, además de usar la historia del inicio de la física moderna como una herramienta para involucrar en la temática aún a aquellos estudiantes más propensos hacia las materias humanistas, insertándolos en el asunto con un abordaje más cercano a sus intereses, encontrando impulso para la posterior profundización.

El autor destaca que con el fin de lograr un mejor afianzamiento en la conceptualización de la física cuántica es necesario profundizar más en las actividades fenomenológicas más allá de las experimentales, además de voltear la mirada hacia otras herramientas de intervención en las ciencias que salgan del modelo clásico como lo puede ser la historia de las ciencias. Finalmente se hace imperativo que se realicen contextualizaciones entre los conocimientos y su aplicabilidad en la vida real con el fin de generar mayor interés entre los estudiantes.

Solbes & Sinarcas (2010) Presentan una propuesta para la enseñanza de la física cuántica que, según los autores, incluye todos los aspectos conceptuales, procedimentales y de relación frente a las CTS, que son necesarios tener en cuenta para conseguir un aprendizaje significativo en el alumnado y un cambio de su actitud frente a la física moderna. Inician con los problemas que originaron la crisis de la Física Clásica, mostrando como el efecto fotoeléctrico no puede ser explicado por la teoría electromagnética, requiriendo entonces que se reflexionen sobre nuevas hipótesis sobre la naturaleza de la luz, evitando que los estudiantes incurran en el error de reducir el fotón a su aspecto corpuscular volviendo a las concepciones de Newton. Resaltan la importancia del concepto de fotón, aplicándolo a nuevos fenómenos como el efecto Compton y los espectros discretos abordándolos solo a nivel cualitativo. El trabajo de estos autores da aportes significativos al presente trabajo porque da ejemplos y plantea la importancia de dar a los estudiantes situaciones donde deban predecir lo que sucedería en un fenómeno propio de la física moderna de acuerdo a los conceptos de la física clásica, y que después se contrasten con lo que realmente sucede, mostrando así una necesidad de introducirse en los conceptos de este nuevo paradigma.

Implicaciones didácticas en Física.

Similar al apartado de “historia de las ciencias” en algunos aspectos, pero diferente en el sentido de que los siguientes antecedentes han sido planteados para este trabajo con el fin de exponer características de la física que se desprenden de la visión excesivamente cuantitativa y alejada de las transformaciones sociales.

Cuando se habla de implicaciones didácticas se hace referencia a aspectos particulares acerca de un concepto que permiten diseñar procesos y establecer mecanismos para facilitar su enseñanza tales como: situaciones propicias para el desarrollo de una personalidad y una conducta autónoma; las relaciones entre la Física y la Matemática, la Física y la Tecnología

o entre diferentes contenidos dentro de la Física; las barreras comunicativas que interfieren en los procesos comunicativos de investigación; nuevas formas de trabajo y de debate en el aula, fundamentadas en la cooperación y la búsqueda de consenso entre paradigmas científicos; y la comprensión del medio y el desarrollo necesarias para poder actual sobre él (García, 2009).

Furió-Gómez, Solbes, & Furió-Mas (2007) realizan en su trabajo una breve introducción histórica y epistemológica del nacimiento de la termodinámica como ciencia moderna. Se muestra, así mismo, como esta historia puede contribuir a mejorar la enseñanza de la termodinámica y a superar algunas dificultades de los estudiantes. Inician explorando el nacimiento de la termodinámica como una gran síntesis de procesos mecánicos, eléctricos, químicos, térmicos y magnéticos, haciendo énfasis en el problema inicial que sugería la no diferenciación entre el concepto de calor y el de temperatura. Se resaltan los episodios de transición en torno al concepto que explicaba la combustión de la materia orgánica: el “flogisto” como fluido que era intercambiado entre sistemas, el “calórico” como sustancia material formada por partículas que se repelían entre sí pero que eran atraídas por las partículas de las sustancias ordinarias y la introducción plena de concepto de “energía” y “trabajo”. Más allá de la importancia que se pueda visualizar acerca de utilizar la historia de las ciencias para favorecer en los estudiantes la comprensión de los intercambios en los procesos físico-químicos, lo que se vuelve relevante en relación con el presente trabajo es la contribución a disminuir la visión descontextualizada socialmente de la ciencia, la visión empirista y ateórica, la visión excesivamente formalista de los conocimientos científicos, la visión ahistórica y apromblemática en la introducción de los conceptos y teorías científicas que tienen los profesores de ciencias.

García Arteaga (2014) plantea un estudio de caso sobre el carácter fenomenológico de la electricidad estática en la perspectiva de campos, para mostrar la importancia del uso de la historia y filosofía de la ciencia en la construcción y validación del conocimiento científico. En dicho estudio se analizan pasajes, episodios y experimentación original de científicos que aportaron al desarrollo de la electricidad. Posteriormente, mediante un ejercicio de recontextualización del conocimiento científico se definen campos problemáticos para ser tenidos en cuenta en la elaboración de propuestas alternativas para la enseñanza de la física

de campos. A raíz de conocer sobre las experiencias de William Gilbert y el comportamiento eléctrico de los materiales, Stephen Gray y la comunicación de la electrificación, Charles Dufay y el comportamiento dual de la electrificación, Michael Faraday y la inducción eléctrica hasta James Clerk Maxwell y la cuantificación de la electrificación; se pueden generar condiciones para involucrar a maestros y estudiantes en el ejercicio de ampliar su experiencia en torno al fenómeno eléctrico. El autor le da particular relevancia al hecho de que, si la formación en física requiere reflexionar sobre las situaciones que enfrentaron los científicos para construir el conocimiento más no los resultados, es necesario que se alternen las herramientas tradicionales de la educación en ciencias que destacan el final de la ecuación por otros recursos que enfatizan los hechos y problemas alrededor de un concepto o teoría. Se resalta del trabajo el hecho de haga énfasis, aunque no lo mencione de manera explícita, en como el abordar los fenómenos desde su carácter cualitativo permite enriquecer la experiencia sensible, lograr un mayor control en la producción de cambios del fenómeno mismo y organizar mejor la imagen en torno al concepto en relación con otras disciplinas.

Doménech (1992) realiza un estudio sobre la evolución del concepto masa a través de la historia en los que se inscriben las concepciones ontológicas: la masa como una propiedad privilegiada y esencial de la materia, funcional: medida de la inercia de los cuerpos, de su resistencia a sufrir cambios en su movimiento, relacional: coeficiente de proporcionalidad, característico de cada cuerpo, obtenido como relación entre las fuerzas sobre él aplicadas y las aceleraciones que experimenta, operacional: Fuerza/aceleración. El interés del trabajo de Doménech en relación al presente escrito es el cómo desde el contenido histórico de la física es posible exponer las problemáticas que rodean al concepto y cuales son aquellos elementos que pueden rescatarse para su uso en la enseñanza, teniendo en cuenta si son didácticamente significativas y teóricamente consistentes. Según el autor esto es posible debido a las mismas consideraciones de aquellos que estuvieron implicados en la construcción del concepto, afirmando que en los casos de la concepción operacional y ontológica no deberían ser utilizados pues generarían posteriormente una dificultad para afrontar fenómenos asociados al uso del concepto masa que escapen de la cosmovisión newtoniana, que se caracteriza fundamentalmente como: propiedad universal de los cuerpos, magnitud escalar expresada en coeficientes positivos, característica de los sistemas materiales, aditiva por acumulación, independiente de su posición, tipo de movimiento o interacción, es inercial cuando tiende a

estados de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme, es gravitatoria cuando ejerce fuerzas gravitatorias frente a otros cuerpos. El autor considera en última instancia que cualquier aproximación a la didáctica de algún concepto científico requiere tomar en cuenta la complejidad que supone la construcción de los significados. Los aspectos destacados por el autor indican que para el presente trabajo debería tomar en cuenta los aspectos filosóficos, históricos y cognitivos que afectan o han afectado la construcción del concepto científico en particular sobre el que se hablara.

II. MARCO TEORICO

Para el desarrollo de la investigación se tiene en cuenta las siguientes áreas específicas a profundizar referente a los objetivos específicos: la historia en la enseñanza de las ciencias, el análisis histórico-crítico del libro de Stephen Hawking sobre la naturaleza del universo y la construcción de implicaciones didácticas.

En este trabajo se considera que entender cabalmente la física moderna y las temáticas con las que esta ópera significa conocer el desarrollo histórico de estas, en otros términos, en la física moderna, el concepto se hace más comprensible mirando las raíces que mirando al concepto (Solbes & Sinarcas, 2010). Estas y otras fuentes que servirán como referente para la construcción de este trabajo, denotan la influencia de un enfoque histórico a la didáctica de la física, pues tal como lo afirma Ayala (2016), “conocer la física sería conocer, entonces, los problemas que han posibilitado la formación y el desarrollo de los conceptos de la física, las condiciones en que tales problemas se plantean, las repuestas y formas de abordarlos que se han elaborado, la forma como evolucionan los conceptos, los elementos comunes y las diferencias básicas entre las diferentes teorías, etc.” (p.25). La función del presente apartado sería entonces revisar las herramientas teóricas para reconocer qué obstáculos han posibilitado la formación en distintos momentos históricos del concepto de la naturaleza del universo, las condiciones sociales en las que esta es construida y la forma en como es abordada.

Para alcanzar los objetivos, se aborda una bibliografía que detalla las herramientas implementadas para su desarrollo. Específicamente se clasifican tres enfoques; el primero concerniente con el concepto de historia de las ciencias, su evolución a través del tiempo y su reconocida importancia en el panorama actual de la formación docente y la enseñanza de las ciencias. En el tercer enfoque, lo respectivo a las imágenes de ciencia y como una u otra definen la coherencia de si se debe usar la historia de las ciencias como herramienta en la enseñanza de las ciencias. El tercer énfasis abordará lo correspondiente a la física moderna, respectivamente el contexto en el que se dio la transición de la física clásica a la física moderna, los problemas que dieron pie a esto, las teorías que fueron desapareciendo y las temáticas que fueron emergiendo.

La historia de las ciencias y la didáctica de las ciencias

La historia de las ciencias no se muestra como una herramienta pedagógica focalizada en aumentar o complejizar la cantidad de información ni extender el tiempo en las aulas de clases, sino que busca crear escenarios donde se discutan estrategias alternativas para afrontar la intrincada situación que afronta el campo de la enseñanza de las ciencias, que consiste en que al interior de la población no se está dando una apropiación de los conocimientos científicos que podrían ser útiles para mejorar la calidad de vida, y tampoco se comprende cuáles son los problemas que plantean la producción, el control y la utilización de estos conocimientos (Godoy Morales, 2015).

En el entorno educativo actual, la historia de las ciencias funciona como recurso en el logro de diferentes objetivos de enseñanza, que no son necesariamente científicos como la determinación de obstáculos epistemológicos, la selección de contenidos a enseñar, la introducción de discusiones sobre la producción, el control y la utilización de estos conocimientos a nivel colectivo y personal dentro de la clase. No obstante, el reconocimiento como una herramienta pedagógica no estuvo desde el principio.

Desde el análisis de Brush (1991), la historia de la ciencia ha evolucionado desde ser una materia tratada en serio solo por unos pocos estudiosos, aunque utilizada ampliamente en la enseñanza de las ciencias; a ser una disciplina académica establecida que resulta bastante llamativa para las comunidades de sociología, historia, ciencia y en particular interés para la didáctica.

En el siglo XVIII se suscitaron diversos cambios que permitieron el inicio de la Historia de las ciencias, la idea de que la identidad del hombre es una identidad que se va forjando en el curso del progreso general de la civilización, en adición de los grandes hallazgos geográficos, el incremento de las transacciones comerciales y el dialogo con otras culturas lograron, entre otras cosas, ampliar la imagen del mundo, sumergir en crisis el pensamiento teocéntrico y auspiciar la aparición de nuevos valores. Desde esta perspectiva adquiere sentido la historia del conocimiento, la historia de cómo los saberes nacen, se transforman y son trascendentales en épocas específicas. Esto impulso para aquellas fechas la redacción de artículos que poseían contenido directamente histórico como los mencionados por Barona (1994) *History and Present State of Electricity* de Joseph Priestley, *Histoire de l' Astronomie ancienne depuis son origine jusqu' á l' établissement de l'école d' Alexandrie* de Jean-Sylvain Bailly, *Cartas sobre el progreso de las Ciencias* de Maupertuis y *Bibliothecae* de Albrech von Haller (p.200).

Sin embargo, dentro de este mismo contexto se presentaron obstáculos como el racionalismo cartesiano y el fanatismo histórico.

El fanatismo histórico concentraba sus esfuerzos por reconocer la cronología, las biografías de las grandes figuras de la ciencia, los aportes concretos, pero no la reflexión sobre los sucesos históricos, por su parte, el racionalismo cartesiano favorecía la idea del conocimiento en relación con la pura reflexión racional, entendido a la ciencia como una abstracción universal y, por consiguiente, no creada históricamente. Si la razón no puede ser contingente, carece de fundamento o del interés de desarrollar una historia de la ciencia.

Décadas más tarde, y bajo la influencia de las distintas versiones del Romanticismo, fue promulgada una actitud intelectual interesada por el pasado y su comprensión. Fascinada por la idea de que no hay que juzgar el pasado desde la óptica actual, sin entenderlo según los valores propios de cada época inclusive adquiriendo interés por ciencias heterodoxias como la magia, la astrología y la alquimia, aun estando en un contexto marcado por la ciencia ortodoxa.

Las corrientes intelectuales de inicios del siglo XIX aportaron una mayor presencia de la historia de la ciencia, sobre todo en los propios manuales o tratados científicos, de manera

que fueron habituales las introducciones históricas, que aspiraban a contextualizar el sentido de la obra en cuestión.

Anteriormente se concebía el descubrimiento como un elemento de trabajo del campo psicológico, enigmático e inexplicable desde la perspectiva de la filosofía. En el periodo histórico actual conocido como posmodernidad, el surgimiento de relaciones indisolubles entre la filosofía y la historia han permitido la construcción de nuevos modelos de ciencia, en los que la relevancia del cómo se descubre el conocimiento está a la par de la justificación del mismo (Quintanilla Gatica, 2006).

Por un lado, la Filosofía de la Naturaleza impulsaba un fuerte componente metafísico y entendía la historia como un desarrollo del espíritu humano hacia una progresiva perfección, pero prestaban muy poca atención y daban escasa relevancia a la precisión del relato histórico o a la crítica de las fuentes; no obstante, otra corriente, caracterizada por su carácter analítico, impulso que la historia en general se desglosara en historias sectoriales: historia de las religiones, historia del derecho, historia de la literatura, historia del arte, historia del pensamiento económico e historia de la técnica. Ello planteaba un nuevo contexto intelectual para la historia de las ciencias. Los cambios de perspectivas que implicaron la expansión de ambas corrientes otorgo mayor autonomía a la historia de la ciencia e hizo proliferar las publicaciones especializadas.

A partir de este momento, la ciencia adquirió una relevancia social y posteriormente se proyectaría como la herramienta para generar conciencia crítica del saber científico (Barona, 1994). Tomar en cuenta la historia de las ciencias para la enseñanza implica reconocer que el conocimiento científico es dinámico y sensible a los cambios, que sus conceptos y teorías pueden ser reemplazados por otros al igual que las ideologías que los fundamentan. (Toulmin, 1977). La ciencia no se limita a un proceso de actos individuales de descubrimiento o creación de nuevas teorías más precisas y concluyentes, esta es una actividad continua en la que se constituyen saberes con dimensiones históricas, sociales, políticas, económicas y culturales. Según Quintanilla (2006) citando a Izquierdo (2000) el trabajo científico escolar debe profundizar en la historia de la ciencia, puesto que esta disciplina permitiría relacionar el entramado conceptual que se está aprendiendo y el problema que se intenta solucionar con diversas miradas, estrategias y racionalidades en la clase de ciencias. Para Ayala (2016) la

enseñanza de las ciencias desde un enfoque histórico permiten a los individuos construir espacios donde se fomente la actividad científica y que se promueva las distintas formas de representar el mundo natural, espacios donde las características particulares de un colectivo transformen la ciencia en una herramienta para superar los diferentes conflictos que los afectan. Se trata entonces, que el enfoque histórico genere en la enseñanza de las ciencias un campo de experiencia más amplio y organizado que permita al estudiante construir y utilizar conceptos que le permitan comprender, discutir y tomar acciones frente a fenómenos de la realidad.

La Historia de las ciencias y la formación docente

La historia de las ciencias advierte a los docentes sobre la necesidad de establecer en las clases fenómenos que permitan a sus estudiantes relacionar las representaciones, concepciones y creencias con situaciones donde estos elementos sean dinámicos para que posteriormente les sea posible establecer posturas frente a situaciones tanto de su vida cotidiana como de otros momentos históricos (Quintanilla, Solar, & Vidal, 2007). La historia de las ciencias tanto en la formación científica escolar como profesional despierta el espíritu crítico frente a hechos científicos y erradica la idea tradicional de quehacer científico, sustituyéndola por una más cercana a la realidad posibilitando tanto a estudiantes como maestros el construir relaciones espontaneas entre la producción científica y diferentes áreas de la sociedad (García & Cabrera, 2014).

En adición, la historia de las ciencias revela aportes al conocimiento científico que han sido invisibilizados a través del tiempo a causa de provenir de contextos donde sus ponentes eran poco relevantes, como es el caso de las mujeres, lo que a su vez reivindica el papel de los colectivos ignorados y dan un mensaje a los docentes sobre la posibilidad de construir conocimientos en espacios no convencionales sin tener especial relevancia las condiciones económicas, ideológicas o de género (Solsona, 2014).

La historia de las ciencias, como elemento de la formación de profesores, presenta situaciones donde se discute álgidamente sobre la estructura y funcionamiento del mundo y en muchos casos la forma como es vista la naturaleza es invalidada o reestructurada parcial o completamente, en aquellos casos lo interesante no resulta en el hecho de que se cambie sino en los argumentos que se dan entre las diferentes posturas (Izquierdo-Aymerich M. , 2005).

Estas discusiones o controversias ponen a reflexionar a los docentes sobre como construyen ellos sus conocimientos llevándolos a entender el carácter dinámico de la ciencia y a ser más críticos sobre como el conocimiento científico debe ser tratado en las aulas de clase.

Por último, la lectura y análisis de los momentos históricos donde se han generado y discutido nuevos conceptos y teorías sirven de inspiración para la generación de estrategias innovadoras para introducir, explicar y evaluar en las clases de ciencias e incluso para llamar la atención de aquellos que no sienten interés por este campo del conocimiento (Izquierdo-Aymerich, García, Quintanilla & Adúriz Bravo, 2016). En la literatura ya se conocen casos donde los docentes han generado estrategias llamativas como los juegos de roles que simulan debates, las dramatizaciones y hasta representaciones de los momentos históricos a través de historietas.

El panorama actual de la historia de las ciencias en contraste con sus inicios es prometedor, dado su grado de consolidación y aceptación por parte de las humanidades y las ciencias sociales, para Godoy (2015) la HC ha empezado a reconstruir los puentes entre el conocimiento científico actual y todo el trabajo humano que rodea los modelos originales de los que provienen las leyes y saberes de hoy en día. Las investigaciones de HC ofrecen una variedad de materiales para explicar la ciencia a los alumnos y al público en general. Además de que los científicos tienen una opinión favorable sobre las investigaciones históricas y apoyan sustancialmente las acciones que se fomentan desde la disciplina para la formación en ciencias (Brush, 1991).

Sin embargo, aún existen obstáculos que entorpecen la comunicación entre distintas disciplinas académicas, como es el caso de la creencia de que el reconocimiento histórico en las aulas de clase consiste en exponer ante los alumnos resúmenes de las conclusiones que han obtenido los científicos en el pasado.

En primera instancia, la situación de la historia de las ciencias requiere que no se le malinterprete como una colección de artículos históricos que dan soporte a prácticas pedagógicas tradicionales que malogran la calidad de la formación científica, puesto que es contradictorio a las acciones que son planteadas desde la disciplina y por expertos de esta, como indicar cuales fueron las relaciones sociales, económicas y políticas que intervinieron en algunos de los momentos de transformación profunda de una ciencia (Gagliardi, 1986).

Respecto a esta primera idea existen varias investigaciones (Álvarez, Quintanilla, Pérez, & Solsona, 2005) que retratan las razones por las cuales son posibles dichas interpretaciones: Los contenidos de enseñanza de la formación inicial y continua de científicos y profesores no incluye material sobre historia de las ciencias; los planes de enseñanza secundaria y en la mayor parte de los planes de formación de casi todas las carreras científicas no incluyen la historia de las ciencias como componente disciplinar; En los centros docentes y de investigación en ciencias básicas y aplicadas persiste una concepción positivista e instrumental de la ciencia; el carácter reflexivo de los hechos históricos no es interesante para los profesores y científicos como parte de la formación científica escolar y profesional, dando especial relevancia a la acumulación de contenidos científicos y a su tratamiento matemático; y por último, dificultad para acceder a documentos y falta de sistematizaciones de calidad en áreas específicas debido a las escasas publicaciones que hay en la historia de las ciencias.

García & Cabrera (2014) también se refieren a esta dificultad mencionando que algunos consideran a la historia de las ciencias como una tendencia del momento carente de bases y de una reflexión sistemática, y que esta se caracteriza por darle especial relevancia a las fechas, lugares y anécdotas que están involucradas con el descubrimiento de una teoría y a los errores que precedieron a esta.

En segunda instancia y dado que la utilidad de la historia de las ciencias es fundamentada desde su posibilidad de transformar la imagen de la ciencia de los alumnos, la eficiencia de la misma esta soportada por la imagen de ciencia que para el profesor prima en la formación científica. De ahí que sea imperativo discutir sobre cuáles son las concepciones que existen sobre la ciencia y los efectos de una u otra en la forma de enseñar ciencias.

La imagen de la ciencia

El concepto de ciencia, su función, su desarrollo, el origen de su contenido, la fiabilidad de sus afirmaciones, las circunstancias que permitieron la obtención de avances, las incidencias que tuvieron los accionares políticos, económicos y religiosos en el camino de un conocimiento en especial son preguntas que no se encontrarían comúnmente en un libro que se use al interior de un aula de clases, el contenido del mismo es limitado a la exposición de conocimientos aparentemente terminados y actividades que deben ser adoptadas y

constantemente replicadas por los estudiantes en situaciones, por lo general, alejadas de su realidad (Adúriz-Bravo, 2005).

La didáctica de las ciencias, como se entiende de Garcia, (2009), no tiene un mayor propósito que el de estudiantes con la comprensión y hábitos mentales que necesitan para convertirse en seres humanos compasivos, capaces de pensar por sí mismos y participar conscientemente con sus conciudadanos en construir y proteger una sociedad que es abierta, decente y vital; por lo tanto es una necesidad impostergable que la forma como son trabajados los conocimientos en clases, desde su planeación, ejecución y continuación; estén en sincronía con la formación de los mejores ciudadanos posibles.

La reflexión sobre cuál debería ser la imagen de la ciencia ha conllevado a la bifurcación de diferentes corrientes de pensamiento, por lo cual no sería posible establecer un acuerdo general sobre si la HC puede mejorar la didáctica de las ciencias, no obstante, es claro que el profesor debe poner en contraste la perspectiva de ciencia que imparte, frente a la idea de ciudadano que se está formando a causa de dicha imagen de ciencia.

En el marco de la educación científica, diversos autores Acevedo (2009), Adúriz-Bravo (2005), Vázquez-Alonso & Manassero-Mas (2012) han señalado la importancia de lograr una adecuada comprensión de la imagen de la ciencia, específicamente en temas concretos de esta como la conceptualización de las teorías científicas, la inconmensurabilidad, las anomalías, las controversias y el contraste entre teorías, así como las condiciones que causan el cambio de teorías y el progreso científico, así como la conceptualización del progreso mismo, los métodos y criterios de validación del conocimiento científico, también referenciado como la racionalidad científica, el concepto de verdad, los intereses y determinantes de la producción científica. Aunque existen diversas escuelas o corrientes sobre la imagen de ciencia, Vázquez, Acevedo, Manassero, & Acevedo, (2001) destacan cuatro de estas en particular: positivismo, realismo, pragmatismo y relativismo.

La imagen de ciencia positivista.

La caracterización de la imagen positivista de la ciencia y su relación con las construcciones sociales será realizada tomando en cuenta en mayor medida apartados del documento de (Moulines, 1979).

La noción de positivismo concibe el progreso científico como un proceso de reducción de teorías, haciendo que una teoría científica suficientemente probada extienda su campo de acción a otros fenómenos que habían sido estudiados de manera diferente, reduciéndolos a sus propios términos y marco teórico, o incluir una teoría científica más amplia que otras que ya estaban bien establecidas y aceptadas en sus propios términos.

Para uno de los mayores representantes de esta corriente como lo es Hans Reichenbach, los círculos de ciencia no deberían preocuparse acerca de cómo se llega a producir el descubrimiento científico, sino de expresar en artículos o libros los resultados finales de las investigaciones científicas: los hechos que se han descubierto, las teorías que se elaboraron, los métodos lógicos que fueron empleados y la justificación práctica de las consecuencias y predicciones derivadas de las teorías (Reichenbach, 1973)

Los positivistas, al reducir desmedidamente el trabajo científico solo al ejercicio de obtener teorías como producto final, descuidando los aspectos prácticos de la actividad científica y tecnológica; han sido muy criticados y producto de ello se fueron fundado diferentes corrientes que pudieran dar una caracterización más reflexiva y real acerca de la construcción del conocimiento científico (Schmitt, 1961), (Toulmin, 1953) y (Hanson, 1958).

Aunque en la actualidad, se reconoce que para alcanzar un sistema educativo que tome en cuenta la diversidad de realidades y sujetos es imprescindible superar la tradición positivista Mónica & Farias (2013), es necesario conocer sus raíces para comprender los debates que dieron lugar a nuevos puntos de vista sobre cómo se construye la ciencia, además, aunque no goce de buena fama, el pensamiento positivista sigue presente en las aulas de clases, tanto en el pensamiento del profesorado como en ciertos libros de texto de uso frecuente (Pineau, 2001) y (Garrido, 1997).

El positivismo contempla a la ciencia como un intento de codificar y anticipar la experiencia y, más aún, considera que el método científico es el único intento válido de conocimiento, basado en los datos observacionales y las mediciones de magnitudes y sucesos. Se desarrollan teorías y leyes para correlacionar datos empíricos y, por tanto, la teoría verdadera es la mejor contrastada, esto es, la que se ajusta mejor a todos los datos observacionales, lo que se denomina teoría empíricamente adecuada (Follari, 2000). El positivismo sostiene la existencia de un criterio radical de demarcación entre la ciencia y la no-ciencia, que sería la

aplicación de dicho método científico único y universal, consistente en un conjunto de reglas objetivas y universales para el diseño de experimentos y la evaluación de teorías que aseguran el éxito y el progreso.

Para los positivistas la ciencia progresa en la medida en la que las teorías pueden predecir y explicar más que sus predecesoras. Suele defenderse como criterio de progreso científico que la teoría nueva a la vieja como caso límite y así permita retener sus éxitos y corregir sus errores. El concepto positivista de progreso científico, que resulta del cambio racional de teorías científicas, es acumulativo y se basa en que toda explicación o predicción confirmada por la antigua teoría debe estar incluida en la nueva. Solo puede hablarse de progreso una vez existan nuevas leyes que describan correctamente fenómenos no explicados previamente y esta evite las consecuencias falsas de la teoría antecedente.

Una vez surgen los planteamientos de Kuhn y Feyerabend, las discusiones sobre las construcciones científicas empiezan a orientarse hacia la posibilidad de que una nueva teoría puede acabar reemplazando los temas, conceptos y problemas que abordaba la teoría antigua (Hacking & Domínguez, 1996). De allí que nazca una oleada de críticas a su dura posición respecto a la ciencia, hecho que obliga al positivismo a replantearse varios de sus postulados, particularmente aquellos referentes a la primacía de datos empíricos y la defensa radical de las observaciones.

La imagen de ciencia relativista.

La visión relativista tiene sus orígenes a raíz de las fuertes críticas hacia el pensamiento positivista como (Toulmin, 1953) que recalca que la percepción sobre el trabajo científico no podía quedar estancada en una imagen estática de las teorías científicas establecidas aparentemente ausentes de constitución y desarrollo y (Hanson, 1958) que hacía mención de la necesidad de no centrar completamente los estudios en teorías científicas ya constituidas, acabadas y aceptadas, restringiendo la filosofía de la ciencia al contexto de la justificación.

La publicación del libro de Kuhn (1962) *La estructura de las revoluciones científicas* significó el cambio más notable de perspectiva respecto al quehacer científico positivista, destacando la enorme importancia de la Historia de la Ciencia para estudiar la metodología científica. El fenómeno de divulgación masiva de dicho libro, que en la actualidad ya posee

alrededor de un millón de ejemplares vendidos y la traducción oficial a 20 idiomas, ha sido considerado el punto de inicio de la corriente científica relativista.

El relativismo reflexiona a la ciencia ante todo una actividad social y humana, una más de las emprendidas por la sociedad para lograr conocimientos sobre el mundo, y, por tanto, se la examina como una ruta más de conocimiento, ni exclusiva ni excluyente de otras distintas, pero igualmente aceptada para dicho fin. Por la consideración e importancia concedida a los aspectos personales (intereses, creencias propias) y contextuales (sociales, relacionales, políticos, financieros) y su influencia en la generación del conocimiento científico (el contexto de descubrimiento), el relativismo ha sido tildado de introducir aspectos psicológicos y subjetivos en la reflexión sobre cómo se construye la ciencia. Esta corriente sostiene en últimas que las evidencias, particularmente aquellas que son empíricas, no son definitivas para conformar las verdades científicas; es decir, las afirmaciones sobre el mundo no proceden únicamente de los datos observacionales (Caldas, 2008).

Los relativistas basaban gran parte de su postulado en el hecho de que solo se puede acceder a un número finito de observaciones y la lógica demuestra la existencia de un gran número de hipótesis compatibles con un conjunto finito de observaciones, que incluso pueden ser contradictorias entre sí. Así pues, no tiene mucho sentido hacer referencia a experimentos cruciales, porque la evidencia experimental por sí sola no puede permitir decidir entre teorías rivales incompatibles; incluso en el caso de que pudieran cubrirse todas las consecuencias posibles podrían existir múltiples teorías compatibles con ellas (Guillaumin, 2009). Esta “relativización del poder de las pruebas” para validar el conocimiento se sitúa en el extremo opuesto del positivismo, que las considera incontrovertibles y el único criterio posible para la contrastación de las teorías.

Desde el relativismo y otros enfoques asociados al giro historicista, se considera que las teorías científicas no pueden ser las unidades básicas para el estudio del progreso científico, ya que su generación y el desarrollo se da dentro de un marco de investigación más general, que incluye compromisos o supuestos básicos compartidos por la comunidad de científicos especialistas en un campo de conocimiento. Estos marcos generales de investigación cambian con el tiempo y constituyen las unidades más adecuadas para los análisis sobre la ciencia. Los acontecimientos históricos más interesantes son aquellos en los que se producen cambios

profundos en los marcos generales que guían la investigación científica. Durante los periodos en que una ciencia está bien afianzada, lo que se conoce como “ciencia normal”, que se caracterizan por la estabilidad del paradigma, los científicos se afanan en contrastar y refutar versiones concretas de éste, resolviendo problemas y cuestiones dentro del mismo.

La caracterización de los paradigmas y el papel de estos, son desarrollados a continuación tomando en cuenta la obra cumbre (Kuhn, 1962).

Los problemas que se resisten a ser solucionados no se consideran falsaciones del paradigma sino anomalías. La mera existencia de anomalías sin resolver no tiene por qué hacer entrar en crisis al paradigma, ya que siempre hay, y habrá, experiencias u observaciones que no se pueden explicar de manera plenamente satisfactoria, o que incluso están en contradicción con el marco teórico vigente, y que se aparcan a la espera de tiempos mejores, ya que de lo contrario sería imposible hacer ciencia normal.

En adición, un desacuerdo con alguna predicción de una teoría puede tener muchas otras explicaciones al margen de ésta, por lo que es poco razonable rechazar una teoría científica que cuente con muchos éxitos solamente porque se haya falsado alguna de sus predicciones. No obstante, en determinadas condiciones especiales, las anomalías pueden desarrollarse de tal forma que minen la confianza en el paradigma. Por ejemplo, aquellas anomalías que tengan que ver con los propios fundamentos del paradigma o con alguna necesidad social apremiante serán especialmente importantes y podrían originar que éste entre en crisis. La cantidad de anomalías importantes también influirá en el comienzo de la crisis y la gravedad de ésta aumentará cuando aparece un paradigma rival. Con la crisis de un paradigma comienza la ciencia revolucionaria. Durante los periodos de ciencia revolucionaria algunos científicos suelen cambiar los criterios del paradigma, pero no existe una norma que pruebe que este se encuentra definitivamente desahuciado; las razones a favor o en contra de un sistema de creencias son equipotentes ya que las pruebas empíricas nunca son suficientes para cambiarlo. La naturaleza holista de las teorías científicas permite negar que éstas estén bien confirmadas o falsadas y nunca se podrá decir que una teoría está desacreditada del todo por fuertes que sean las pruebas empíricas en su contra, ni que una teoría desacreditada no pueda revitalizarse más adelante. Para el relativismo abandonar fácilmente las teorías aun

cuando se les suministran predicciones erróneas no es algo propio de los científicos; los paradigmas son abandonados en grandes grupos por otras razones muy diversas.

Los paradigmas que se consideran rivales suelen caracterizarse por tener diferentes concepciones sobre la ciencia de la que se ocupan y tratan de resolver diferentes problemas, sus defensores o ponentes principales no perciben la misma visión del mundo y frecuentemente se dan divergencias conceptuales que están unidas a sus diferentes lenguajes teóricos y a la distinta interpretación ontológica de los datos que analizan (Kuhn, 1962).

A partir de análisis de casos históricos, (Kuhn S. T., 1962) se muestra en contra de la visión positivista que planteaba la existencia de una misma base empírica para todos los científicos, subrayando que las diferencias entre dos paradigmas rivales son irreconciliables, pudiendo ser ontológica, epistemológicas, conceptuales y perceptivas. Los cambios drásticos de paradigma, también llamados revoluciones científicas, suponen siempre una modificación en la visión de los científicos sobre el mundo, aunque este no cambie.

Otro argumento fundamental de la visión relativista frente a la positivista es la idea de inconmensurabilidad, que plantea el problema de la traducción del significado de los conceptos entre paradigmas rivales. Las nociones científicas no están aisladas, sino que su significado les viene conferido por la red de supuestos con los que están asociadas en el marco del paradigma. La traducción entre paradigmas está radicalmente infradeterminada por las experiencias, de modo que nunca se podría estar seguro de haber llegado al significado real de los términos en su lenguaje propio. La idea de inconmensurabilidad representa la fuente más poderosa de argumentos contra la popular idea de que las teorías acaban siendo incluidas en las teorías alternativas triunfantes y, por ende, que el desarrollo científico es acumulativo, ya que la inconmensurabilidad permite dar cuenta de las rupturas y las pérdidas que necesariamente se producen en las revoluciones científicas entre dos paradigmas rivales.

La idea de inconmensurabilidad es trabajada por (Kuhn, 1962) y (Feyerabend, 1975), el primero la plantea desde un ámbito más amplio, abarcando las diferencias entre paradigmas rivales tanto en los aspectos cognitivos como metodológicos. Para Kuhn, no hay, ni puede haber, un lenguaje universal para la ciencia, porque los diferentes paradigmas modificaban el lenguaje científico profundamente al tener una generalización simbólica distinta cada uno de ellos (Echeverría, 1999). Posteriormente, (Kuhn, 1991) opinaba que su planteamiento

acerca de la inconmensurabilidad no se oponía a la racionalidad científica, sino que abría el camino hacia otra forma de concebirla, la interpretación y comprensión de las teorías rivales, que es precisamente una de las formas más comunes de investigación en la Historia de las Ciencias.

Aunque Thomas Kuhn logró plantear la idea de inconmensurabilidad a un nivel que logró abarcar diversas dinámicas del trabajo científico, se llegó a considerar que en reiteradas ocasiones carecía de precisión frente a su objetivo inicial y el de Feyerabend, precisamente por ser demasiado amplia (Pérez Ransanz, 1999)

A propósito de Feyerabend (1975), este señalaba que dos teorías científicas rivales son inconmensurables cuando sus principios fundamentales son tan radicalmente diferentes que no es posible formular los conceptos básicos de una de ellas en los términos de la otra, con lo que ambas teorías no compartirían ningún enunciado observacional y no será posible compararlas desde un punto de vista lógico. Aunque sean inconmensurables existen algunas formas de compararlas; por ejemplo, puede hacerse en función de su coherencia interna o de su fiabilidad. También se pueden confrontar con una serie de situaciones observables y ver cuál es el grado de compatibilidad de cada una de ellas con tales situaciones, interpretadas siempre en función de sus propios términos.

Otra de las cuestiones importantes abordadas en el relativismo y que históricamente ha sido debatido por los círculos científicos dominantes es la cuestión acerca de que puede ser reconocido como ciencia y que no. En los términos del positivismo, sería teoría científica aquella que pueda ser evaluada dentro de un criterio universal y supera la prueba empírica adecuada (Abadía, 2005). Desde la imagen de ciencia relativista se niega que pueda existir un criterio de racionalidad único, independiente del paso del tiempo y que abarque una y cada una de las disciplinas, indiferente de su naturaleza o su objeto de investigación. Los criterios de valoración para las teorías científicas pueden variar de un científico a otro y, más aún, de una comunidad de científicos a otra. Comprender la razón por la que un científico elige una teoría hay que comprender primero que es lo que dicho individuo valora, así, los razonamientos que determinarían si una teoría científica es válida o no, poseen hasta cierto punto una influencia subjetiva e incluso elementos irracionales.

Para la corriente relativista, la actual posición de predominio de la ciencia, la tecnología y la tecnociencia no puede entenderse solamente mediante el análisis de sus respectivas naturalezas desde un punto de vista interno, sino que requiere también la comprensión de la sociedad que les da el prestigio que han alcanzado. Consecuentemente, los relativistas concluyen que el progreso y el cambio de teorías en la ciencia no es un proceso absolutamente racional, sino que se produce dentro del juego normal de intereses, motivaciones y preocupaciones propios de cualquier actividad humana, con lo que establecen una base social en la determinación del progreso científico (González-Castán, 2000). Los intereses personales, profesionales y sociales de los científicos no actúan generalmente de forma explícita, debido al sistema de recompensas de la ciencia que penalizaría fuertemente a un científico que se mantuviera en un paradigma rechazado por los demás. El modelo de intereses personales y profesionales ha sido valorado positivamente por diversos movimientos políticos y grupos sociales de presión, pero también ha recibido fuertes críticas desde otras posiciones.

Para el relativismo, el progreso científico no es acumulativo, tal y como se sostiene en la visión positivista, siempre existen pérdidas y ganancias en los cambios de paradigmas y de teorías rivales, y el desarrollo científico no es algo nítido y lineal. Así mismo, tampoco es un concepto absoluto; las teorías alternativas resuelven los problemas de diferente forma y su avance depende de la opinión de quienes evalúan esas soluciones. En el relativismo, las hipótesis nunca se contrastan individualmente, sino como partes de redes más amplias de un sistema de creencias (Olivé, 2000). Por tanto, el éxito o el fracaso de este proceso debe llevar a buscar errores y aciertos en toda la red global.

Desde la concepción relativista del conocimiento se empieza a gestar la formación de historiadores de la ciencia que le dan importancia a incluir nuevos aspectos como son los factores sociales y culturales del entorno a los que la comunidad científica desarrolla su actividad, así como aquellos que caracterizan su quehacer en casos particulares. Este nuevo grupo son los que conciben la ciencia teniendo en cuenta el contexto de producción en el cual se elabora, identificar y caracterizar los procesos sociales e ideológicos que posibilitaron dicho conocimiento se vuelve tanto o más importantes que solo mencionar ideas y enunciados científicos.

La imagen de ciencia realista.

Los planteamientos realistas más conocidos son aquellos que consideran que el objetivo de la ciencia es buscar teorías verdaderas según un criterio de racionalidad, representado por la superación de muchos intentos de demostrar que la teoría falla (González, 1990). Para el realismo, la verdad se convierte en un objetivo científico y no una característica más de las teorías científicas. Se suele adoptar una posición reduccionista y científicista en cuanto considera que la ciencia es el único camino válido para el conocimiento por ser el que se enfrenta explícitamente con su falsación.

Aunque se suelen hacer similitudes entre el realismo y el positivismo por sus visiones radicales sobre la ciencia, la imagen de ciencia realista es bastante crítica respecto a la positivista atacándola por el principio de inducción o el rechazo de las teorías. Popper, (1958) siendo referenciado por Harada Olivares (2006), consideraba que debían rechazarse aquellas teorías que no se adaptaran a los fenómenos conocidos, anteponer aquellas teorías que hicieran predicciones sorprendentes, elegir las que explicarían fenómenos de rango más amplio y optar por las que ofrecieran una explicación única de un fenómeno.

Para los seguidores del realismo, las evidencias prácticas por si mismas no son suficientes para falsar un enunciado, puesto que están equilibradas por la teoría. No obstante, mantiene la distinción entre teoría y práctica ya que, para ellos, existen teorías observacionales, las cuales son bastantes seguras y falsables, y teorías a secas, las cuales son un tanto más inciertas. Contra el positivismo se destaca el valor de las teorías ya que éstas pueden corregir las afirmaciones de la observación.

En la visión realista, si una teoría o una hipótesis hacen predicciones falsas, éstas pueden y deben rechazarse sin demora. Este método asegura el éxito y el progreso característico de la ciencia y, a la vez, permite demarcar entre ciencia y no-ciencia. Así, se admite que la falsación de hipótesis aisladas funcionan para seleccionar teorías con una razonable estabilidad.

Las críticas entre visiones de ciencia no necesariamente tienen como actor al positivismo. El relativismo argumenta que la historia demuestra que los paradigmas tienen una muerte súbita cuando la comunidad científica decide abandonarlo. En adición, algunas de las críticas más

comunes que se le hacen al realismo son aquellas que se centran en la aceptación carente de explicación y justificación, de la correspondencia entre ideas y mundo, en la distinción artificial entre lo teórico y lo observacional, y en la falta de consideración de los intereses personales y sociales implicados en la actividad científica. Aunque, como toda corriente posee una serie de autores que la hacen parte de la visión realista descrita hasta ahora es vinculada fuertemente a Karl Popper, hay otros enfoques como los de Lakatos (1982) que teniendo como elemento central la Historia de las Ciencias, han logrado avanzar en la resolución de varias de las objeciones fundamentales que se le hacían al realismo de Popper, como la rigidez del falsacionismo

Hay otras perspectivas del realismo que prefieren explicar la relación entre las teorías científicas y el mundo sin recurrir al concepto de verdad o falsedad como algo esencial, que es el caso del realismo transformativo de Hacking (1983) y el realismo constructivo de Giere (1988). Estos nuevos enfoques del realismo afirman que el objetivo de las teorías científicas es la verdad y que en ocasiones se aproximan a ella, pero también es importante ocuparse de las entidades y objetos mencionados en las teorías científicas, y se puede ser realista sobre entidades y objetos sin serlo necesariamente sobre las teorías.

Según Hacking (1983) el realismo tiene más que ver con la forma en que las practicas científicas del ser humano tienen efectos en la transformación del mundo y no sobre el conocimiento científico sobre el mundo en sí mismo. Echeverría (1999) señala que en el realismo transformativo de Hacking la verdad científica no es esencial, lo realmente importante es la capacidad innovadora de la ciencia.

La imagen de ciencia pragmática.

La corriente pragmatista, funcionalista o instrumentalista, es fundada por C.S. Peirce en el siglo XIX. La verdad es reemplazada por el método, lo que garantiza la objetividad científica; la verdad es lo que el método científico establece, si la investigación continúa en el tiempo suficiente. Se afirma que algo es real cuando una comunidad de científicos acaba poniéndose de acuerdo en su existencia. El que el conocimiento científico progrese depende del mayor o menor grado de proximidad a los fines de la ciencia; cuando se producen teorías mejores y más fiables, se progresa, criterio que implica un cierto diacronismo y una clasificación no

arbitraria de los fines de la ciencia, sino empíricamente apoyada (Putnam, 1981) y (Putnam, 1992).

La corriente pragmática, por su opinión respecto a las teorías científicas, es completamente opuesta al realismo al afirmar que estas no son más que herramientas para organizar la descripción de los fenómenos y hacer inferencias; de otra forma el componente teórico de la ciencia no describe la realidad y las teorías se consideran solo instrumentos útiles destinados a relacionar un conjunto de observables con otros.

La corriente pragmática considera la ciencia un instrumento cuyo objetivo es producir teorías capaces de superar contrastes empíricos más exigentes, lo que las hace más fiables. Las mejores teorías son las que han superado pruebas más fuertes y son útiles como guías fiables para conseguir los objetivos de la ciencia. La ciencia es un conocimiento sobre el mundo de naturaleza funcional, cuyo rechazo o sostenimiento viene determinado por la fecundidad en su descripción (Barrena, 2014). El pragmatismo distingue los objetos reales del mundo y los teóricos de la ciencia, que describen a los otros. Así mismo, desplaza el acento negativo del realismo de Popper en la falsación de teorías hacia las contrastaciones superadas; si una teoría falla al resolver determinados problemas no es razón suficiente para descartarla.

Respecto a los criterios de demarcación del conocimiento, el pragmatismo admite que la ciencia no es el único camino válido para el conocimiento, alineándose en parte con la posición relativista frente a las posiciones científicas del positivismo y el realismo.

La opinión acerca del progreso en las teorías científicas es afirmativo por parte de la visión pragmática, aunque está no es acumulativa ni lineal, como lo es para los positivistas, sino que la consideran relativa, no lineal y con pérdidas, porque los fines de la ciencia propuestos desde el pragmatismo también son cambiantes y relativos. Una teoría es mejor si supera contrastaciones más exigentes que sus rivales no han pasado, las cuales tampoco superan las pruebas donde pudiera haber fallado la primera. La selección de una teoría no es definitiva, tan solo significa que ha superado contrastaciones más importantes que sus competidoras en un momento histórico.

Para el pragmatismo, aquellas leyes creadas para validar las pruebas de alguna teoría no se consideran suficientes para ello. Debe incluirse la confrontación con otros dominios de

conocimiento aparentemente alejados o inconexos como es el caso de la física de partículas y las teorías cosmológicas sobre el universo, dos campos del conocimiento aislados desde hace varios siglos, pero que actualmente se aportan el uno al otro con evidencias contundentes.

Aunque el pragmatismo no propone que la ciencia pueda validar conocimiento manifiestamente erróneo, si sugiere que hasta el programa más fantasioso podría ser provechoso, gracias a la creatividad concertada de un equipo.

En otro orden, el pragmatismo coincide con el realismo en que las teorías pueden ser equivalentes empíricamente, esto es, pueden compartir una misma base de evidencias empíricas. Esta creencia choca fuertemente con el principio relativista de infradeterminación, admitiendo la posibilidad de contrastar hipótesis aisladas. Frente a los postulados de Kuhn, se sostiene que los cambios no son siempre revolucionarios, sino más bien se dan de forma evolutiva, gradual y continua Toulmin (1972), como sucede con la transición entre el cartesianismo y el paradigma newtoniano. Desde el pragmatismo se critica el análisis kuhniano de las revoluciones por centrarse demasiado en los grandes cambios y no dar cumplida cuenta de las múltiples modificaciones graduales en las que no están implicadas los componentes centrales de un paradigma. Cabe resaltar que el pragmatismo conlleva normalmente una cierta idea de verdad o verosimilitud, pero mucho más restringida que la asociada habitualmente a las posiciones realistas popperianas. Según estas, las descripciones del mundo observable pueden ser verdaderas o falsas dependiendo de que los describan correctamente o no. No obstante, para el pragmatismo los constructos teóricos no se juzgan con criterios de verdad o falsedad, sino más bien por su utilidad como instrumentos, ya que están destinados a proporcionar al ser humano de control sobre el mundo observable.

El pragmatismo admite el concepto de paradigma científico, pero difiere de manera radical del relativismo en cuanto que no considera las reglas metodológicas como simples convenciones, sino en el mismo nivel que las teorías científicas. Las pruebas empíricas son pertinentes para ambas: las teorías se aceptan cuando funcionan y las reglas si muestran su capacidad para seleccionar las teorías más fiables. Las reglas de la ciencia se evalúan cuestionando si funcionan, esto es, si conducen a predicciones efectivas del mundo natural y a intervenciones eficaces en él. Tales reglas afirman una manera de narrar diversas historias

evolutivas posibles, reflejan una serie de valores para promover los objetivos de la ciencia, buscar explicaciones fiables, aplicables, racionales y anticipatorias de experiencias futuras. En suma, las reglas sobre el método aportan también un hecho sustantivo al conocimiento; la investigación funciona mejor con unas reglas que con otras.

Un punto débil del pragmatismo que es bastante reconocido en la literatura es la diferenciación que hace entre entidades teóricas y observacionales. En efecto, adopta una actitud inductivista que le lleva a afirmar solamente aquello que provenga con seguridad de una observación fiable, pero esta posición se ve socavada porque todos los enunciados observacionales dependen de las teorías y, por tanto, son falibles.

Física moderna

Toda época del desarrollo científico se caracteriza por la existencia de una cantidad de datos y observaciones que se espera que conduzcan a un entendimiento de fenómenos que hasta ese momento no se comprenden satisfactoriamente. Se tiene entonces una serie de pistas, pero no se sabe cuáles son sus importancias relativas, ni cuales pueden ser desechadas, ni si faltan datos aún por describir.

Cuando se enseña física se les entrega a los alumnos exactamente aquellos datos que conducen a la teoría que deben aprender y normalmente se omite aquella información extra que mantuvo a tantos científicos buscando una explicación por otro lado. Tampoco es posible en una asignatura que dura un semestre hacer un análisis muy completo de la imposibilidad de explicar los nuevos fenómenos con la vieja teoría, aun cuando ese análisis tuvo que ser hecho en su época. El efecto es que esto puede tener es que el alumno comprenda con gran facilidad la nueva teoría, pero adquiera una idea muy errada de cómo fue concebida (Carrascosa Alís, 2005). Puede incluso llegar a formarse la idea de que hacer ciencia es una tarea sencilla o un simple juego.

Relatividad.

En el siglo XVII Descartes introdujo el concepto de éter provisto de propiedades que le permitía transmitir fuerza. Hooke utilizó este mismo concepto para describir la luz como un fenómeno vibratorio. Newton desarrolló toda la mecánica y también trato de explicar la luz como corpuscular y estableció la teoría de la gravitación. Olaf Roemer en 1675 hizo la

primera medida de la velocidad de la luz en base a la observación de los eclipses de un satélite de Júpiter, Io. En el siglo XVIII y XIX se avanzó sistemáticamente en la teoría de la luz y en el estudio de fenómenos eléctricos y magnéticos. Fresnel desarrollo en forma sistemática la teoría de la luz en base a una precisa descripción matemática del éter. Faraday amplió las propiedades del éter para atribuirle la propiedad de ser vehículo de fuerzas magnéticas (Cassini & Levinas, 2005) y (Cassini & Levinas, 2007). Seguidamente otros atribuyeron al Eter ser vehículo de fuerzas gravitacionales y eléctricas. Todos estos modelos eran matemáticamente bastante complicados y exigían una constante confrontación con nuevos experimentos. Las leyes eléctricas y magnéticas comenzaron a mostrar una interrelación.

Todo este esfuerzo cristalizó con la formulación de Maxwell de las leyes electromagnéticas basadas en las cuatro ecuaciones de Maxwell. Para concebirlas utilizó en forma central el concepto ya desarrollado de éter. Aun cuando esas ecuaciones eran perfectamente consistentes ellas requerían demasiadas propiedades para el éter. Maxwell, W; Thomson, G; Kirchhoff, G.F; Fitzgerald, J. Larmor y otros trataron en vano de construir una teoría consistente del éter mismo que fuera también compatible con las leyes de la mecánica. Esa contradicción se mantuvo hasta la desaparición misma del concepto de éter en física.

Al contrario que las leyes de la mecánica de Newton, las leyes del electromagnetismo no parecían ser las mismas en los distintos sistemas de referencia con movimiento relativo uniforme. Surgió la necesidad de hablar de un sistema de referencia en reposo absoluto: el éter (Lorentz). Solamente se podía explicar que la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (con respecto al éter) no podía ser la misma la de los cuerpos en reposo. Esta era la solución teórica que debía llevar a un diseño experimental. Así fue como se consideró importante medir las velocidades absolutas con respecto al éter. Debía tratarse de efectos muy pequeños, puesto que no se habían observado diferencias hasta ahora, que indicaran una dependencia en la velocidad del sistema de referencia, se buscó que el experimento considerara la velocidad mecánica más grande que se pudiera tener a disposición: la velocidad de la Tierra, que en su órbita es de alrededor de 30km/seg. Se mediría la velocidad de la luz, que acababa de mostrarse que era un fenómeno puramente electromagnético, con respecto a la Tierra, comparando las velocidades paralela y perpendicular a la velocidad de la Tierra. Estas medidas se llevaron a efecto en los célebres experimentos de Michelson y

luego de Michelson y Morley en 1885. A pesar de la precisión extraordinaria que se tenía en los instrumentos que, a través de interferencia, medían directamente la diferencia de velocidad, no se detectó diferencia alguna. Este experimento ha sido repetido innumerables veces, con técnicas cada vez más refinadas y el resultado ha sido siempre el mismo: no hay diferencia en las velocidades. De aquí se podía sospechar que en la práctica no había diferencia entre las leyes electromagnéticas para sistemas en reposo o en movimiento y la velocidad de la luz es la misma en cualquier sistema de referencia.

Se intentó toda clase de explicaciones adaptando las dos grandes teorías ya conocidas: la mecánica de Newton y la electrodinámica de Maxwell. A veces se lograba dar una explicación a ese experimento, pero caían en contradicción en la explicación de otros fenómenos.

Tratando de buscar una explicación al resultado negativo del experimento, Fitzgerald adelantó la hipótesis de que los cuerpos materiales, al moverse a través del éter, se acortan en la dirección del movimiento en una cantidad que depende de la velocidad. Lorentz aumentó la hipótesis al agregar que ese acortamiento se debía a una modificación que sufrían las leyes electromagnéticas que gobiernan las distancias interatómicas. La fórmula de contracción de Fitzgerald y Lorentz explicaba a la perfección el experimento de Michelson y Morley.

El experimento comentado, así como experimentos similares, llevaron a la conclusión de que era imposible detectar el movimiento absoluto, el movimiento con respecto al éter. No había manera de decir cuál es la velocidad absoluta de los cuerpos, solo es posible observar las velocidades relativas entre diversos cuerpos o sistemas de referencia. La mecánica de Newton siempre satisfizo este Principio de Relatividad, es decir, desde tiempos de Galileo se tuvo claro que las leyes de la mecánica no permitían detectar el movimiento absoluto. Ahora resultaba que tampoco esto era posible por medio de fenómenos electromagnéticos, incluida la luz.

Las ecuaciones de Maxwell parecían indicar lo contrario. Se comenzó a tratar de compatibilizar las leyes de la mecánica, las ecuaciones de Maxwell y la contracción de Fitzgerald-Lorentz. Se veía dos salidas posibles: o las ecuaciones de Maxwell estaban malas

o la forma como ellas se deducen en un sistema de movimiento se estaba haciendo de forma incorrecta.

Mientras mayor sea la velocidad relativa mayor es la diferencia entre una transformación de Lorentz y una de Galileo. Sin embargo, esta velocidad debe ser muy grande para que el efecto sea notable. Si tomamos la velocidad de la Tierra en su órbita: 30 Km/seg se puede ver que la diferencia entre las transformaciones de Galileo y la de Lorentz está en la relación 1 a 200.000.000 con respecto a lo corregido. De esta manera comprendemos porque hasta entonces no se había detectado algún efecto que hiciera necesario dudar de la transformación de Galileo.

En 1898 Poincaré afirmó que “es muy probable que los fenómenos ópticos dependan solo de los movimientos relativos de los cuerpos materiales, fuentes luminosas y aparatos ópticos envueltos”, con la implicación de que el movimiento absoluto era en principio indetectable en lo que a fenómenos ópticos concernía. Sospechó además que no solo los fenómenos ópticos sino cualquier otro tipo de fenómenos iban a fallar en el intento de detectar movimiento absoluto (Darrigol, 2005).

En 1900 Poincaré dijo “*¿Existe realmente nuestro éter? No creo que mediciones más precisas puedan revelar alguna cosa más allá de movimiento relativo*” (Granek, 2001, p.3). Y finalmente en 1904 enunció un nuevo principio: “*Las leyes de los fenómenos físicos deben ser las mismas para un observador “fijo” que para un observador que posee un movimiento relativo uniforme de traslación*”. Agregando: “*debe surgir una dinámica enteramente nueva que estará caracterizada sobre todo por la regla de que ninguna velocidad puede ser mayor que la de la luz*” (Granek, 2001, p.10).

Precisamente esto fue lo que hizo Einstein en 1905. Cambió la mecánica tomando como base las transformaciones de Lorentz en lugar de las de Galileo, unificando, en cierto modo, la descripción de las leyes electromagnéticas y mecánicas. Einstein eliminó totalmente de la física el concepto de éter por innecesario ya que ninguna de sus supuestas propiedades era detectable. Einstein además notó que las transformaciones de Lorentz eran condición necesaria y suficiente para que la velocidad de la luz sea una magnitud absoluta, independiente de la velocidad de la fuente luminosa o del estado del movimiento relativo del observador (Einstein, 2002). En lugar de postular las transformaciones, postuló la constancia

de la velocidad de la luz y luego dedujo elegantemente las transformaciones de Lorentz. Se dice que Einstein no conocía el trabajo de Poincaré ni el de Lorentz, ambos de 1904.

Los postulados de la relatividad se basan en el concepto de sistema inercial: un sistema de referencia libre de fuerzas externas en el cual un cuerpo dejado libre se mueve con velocidad vectorial constante. Se supone además que la velocidad relativa entre dos sistemas inerciales es independiente del tiempo. Los postulados principales entonces son: las leyes físicas toman la misma forma en todos los sistemas inerciales (covariancia); la velocidad de la luz es la misma en cualquiera sistema inercia, independiente del movimiento de la fuente luminosa relativa al observador; y el espacio es homogéneo e isótropo, el tiempo es homogéneo (Einstein, 2002) y (Miramontes & Volke, 2013).

Comprender estos postulados toma un cierto esfuerzo. La relatividad no fue aceptada en el momento que fue enunciada. Se reconoce hoy día que fue solo al final de la primera guerra mundial (1918) que ella fue universalmente aceptada por la comunidad científica. Este es un fenómeno muy explicable. La mecánica de Newton ya llevaba tanto tiempo como una teoría aceptada que no era fácil convencer a muchos que había algo superior, por lo que habría resistencia al cambio y la relatividad tuvo mucha resistencia.

Por muchos años fue atacada y rechazada por la mayoría de los físicos. Pero ese conservacionismo no solo se refleja como reacción contra el cambio ya hecho sino además se refleja en el hecho que el cambio no fue propuesto por quienes tuvieron prácticamente todos los elementos para darse cuenta que se imponía una nueva concepción de la naturaleza. Sobre esto ha opinado un gran físico, Paul Dirac. En su discurso de aceptación del premio Oppenheimer en 1970 dijo:

“Cualquiera que haya estudiado relatividad seguramente se habrá preguntado por qué Lorentz obtuvo exitosamente las ecuaciones correctas necesarias para construir la relatividad del espacio y el tiempo, pero simplemente no fue capaz de dar el último paso. Hizo todo el trabajo duro, todas las matemáticas necesarias, pero no fue capaz de ir más allá de eso y ustedes se preguntarán ¿Por qué? Creo que fue detenido por sus temores, una especie de inhibición. Estaba realmente atemorizado de aventurarse en tierras totalmente nuevas, de cuestionar ideas que había sido aceptadas desde tiempos inmemoriales. Prefirió permanecer

en el terreno sólido de sus matemáticas. Mientras mantuviera ahí su posición era irrefutable” (Huang, 2007, p.37)

“Se necesitó toda la audacia de Einstein y varios para dar el paso adelante y decir que el espacio y el tiempo están conectados. Lo que hoy nos parece un paso pequeño fue muy difícil para las personas de esos tiempos” (Huang, 2007, p.37). Sin lugar a objeción, fue necesario luchar contra la gran inercia de la conservación que acompañaba a la física tradicional.

Mecánica cuántica.

La teoría cuántica fue desarrollada al inicio del siglo XX como un formalismo matemático que dio a los físicos la capacidad de predecir resultados de una serie de experimentos que parecían no encajar muy bien dentro del marco descriptivo de la mecánica clásica de Newton y el electromagnetismo de Maxwell. La distribución de las líneas espectrales, la radiación del cuerpo negro, y muchos otros resultados experimentales hicieron pensar a los científicos en la necesidad de un nuevo conjunto de principios que permitieran formalizar el comportamiento no clásico de un número creciente de procesos físicos que en general desafiaban los modelos clásicos sobre la estructura de la materia y la naturaleza de la radiación. Para el final de la tercera década del siglo, la teoría cuántica se había establecido como un sistema sólido para modelar el comportamiento del mundo al micro-nivel, convirtiéndose en el marco interpretativo de la evolución dinámica de los microsistemas. Se había convertido en mecánica cuántica.

La mecánica cuántica describe la evolución de un sistema por medio de la siguiente teoría; la función de onda de un sistema físico describe tanto el estado instantáneo de un sistema como su evolución temporal. La medición de dicha función de onda es el puente que permite vincular la lectura de aparatos macroscópicos como los amperímetros y voltímetros entre otros, con los estados del sistema macroscópico bajo observación. Una cuestión particular dentro de la mecánica cuántica que generó un cambio de dirección en el desarrollo de la teoría, haciendo que del análisis de los fundamentos matemáticos y formales se pasara a cuestiones sobre la interpretación de la teoría; es la importancia del papel que desempeñan los observadores. Son los observadores quienes determinan cuáles de las variables del sistema serán medidas, quienes preparan los experimentos para lograr la relación adecuada

entre las variables macroscópicas y las microscópicas, y quienes evalúan e interpretan los resultados de las mediciones.

De acuerdo con algunos científicos, sin observadores no hay nada que se pueda decir acerca del estado real de un sistema cuántico, al menos no más allá de notar el hecho de que el comportamiento del sistema puede predecirse a partir de las probabilidades asociadas con la función de onda del sistema., sin embargo, determinar de forma clara y definitiva el estado en que se encuentra un sistema requiere la presencia de un observador que evidencie el estado del aparato macroscópico usado para llevar a cabo la medición, una presencia que, en la frontera entre los niveles macroscópico y microscópico, parece interferir con el proceso que está siendo llevado a cabo.

De acuerdo con otros científicos, no parece existir la posibilidad que los observadores interfieran con la evolución de micro-sistemas físicos. Las observaciones o mediciones son invasivas solo en tanto que sin ellas nunca se podrá obtener evidencia alguna ni de la existencia ni del comportamiento de los estados. Afirmar que el estado de un sistema físico se ve alterado por la presencia de observadores requiere hacer explícitas las alteraciones que serían introducidas por el acto de observación, algo que, al menos en principio, parece exceder los límites del análisis forma de los procesos físicos que tienen lugar.

Para el final de los años 20's y principio de los 30's, las interrogantes acerca de los elementos metafísicos de la teoría empezaron a jugar un papel importante en la consolidación del paradigma de la mecánica cuántica. La interpretación estándar de la mecánica cuántica es conocida como la interpretación de Copenhague, que caracteriza a los sistemas cuánticos por encontrarse estos en una permanente superposición de estados, es decir, por su comportamiento dinámico. Esta interpretación es sostenida por tres principios básicos: el principio de Von Neumann, el principio de indeterminación de Heisenberg y el principio de complementariedad de Bohr.

El principio de Von Neumann sostiene que por cada estado dinámico de un sistema mecánico cuántico existe una probabilidad definida que representa la posibilidad de encontrar al sistema en dicho estado, el denominado valor propio del sistema. Esta correspondencia entre el estado propio y el valor propio establece un límite entre el estado en que se encuentra un sistema microscópico y el conocimiento que se puede adquirir acerca de ese estado.

El principio de Heisenberg formaliza la ineludible indeterminación en el resultado de cualquier medición, por medio de una correlación entre pares de variables dinámicas del sistema. Este principio muestra que cuando tiene lugar una medición de una de las dos variables, entre más se va conociendo de ella, menos se puede conocer de su compañera correlacionada, esto mostraría que los sistemas mecánico cuánticos son inherentemente indeterminísticos.

Este principio fue desarrollado a principios del siglo XX como un modelo de explicación para el comportamiento de la materia, planteando que, a escala atómica, nada es real y no se pueden hacer conjeturas sobre lo que ocurre, hasta que sea observado experimentalmente (Zapata, 2012). Esto se debe a que el proceso de observación con una herramienta de medición, incorpora una interferencia en el estado de los procesos atómicos, cuya transformación crea una distorsión, tanto en las medidas observables como en la descripción de la auténtica naturaleza de las entidades cuántica.

El principio de complementariedad de Bohr subraya la indeterminación mostrando que la única forma de comprender la naturaleza de los sistemas cuánticos es reconociendo la limitación intrínseca impuesta por el hecho que los conceptos que pueden ser usados para describir los sistemas cuánticos dependen de las propiedades detectables de los sistemas, definidas por las máquinas de medición con las cuales interactúan. Cada acto de medición afecta al sistema haciendo imposible obtener cualquier tipo de información precisa sobre el estado del sistema en los instantes anteriores a su observación. La realidad se define solo cuando se llevan a cabo observaciones, y es precisamente esta dependencia en los observadores lo que separa a los sistemas clásicos de los sistemas cuánticos.

El dilema de la medición se basa en que observadores no cuánticos limitados por su perspectiva intentan medir eventos en el mundo cuántico.

Aparte de la observación misma de las variables de un sistema durante un periodo de tiempo, no hay nada que se pueda decir de un sistema, sin importar si es clásico o cuántico, excepto que su evolución puede describirse tomando en consideración una función de onda probabilística. Los fenómenos no observados tanto en sistemas cuánticos como clásicos existen de forma indeterminada, como probabilidades, y el acto de observación hace que las probabilidades colapsen en lecturas concretas de indicadores observados. El ampliamente

conocido experimento mental del gato de Schrödinger es concebido con el fin de resaltar que el problema de la medición en la frontera entre los sistemas clásicos y cuánticos es la diferencia en el acceso que tienen los observadores al estado de un sistema. Para Schrödinger, el problema de la medición está en que no hay forma que un observador externo elimine la superposición microscópica, la indeterminación macroscópica nunca se evidencia.

El gato (macroscópica) atrapado en su ambiente cerrado tiene un 50% de probabilidades de estar con vida y un 5% de estar muerto, después de un cierto periodo de tiempo; la misma probabilidad que el material radioactivo (microscópica) tiene de decaer o no decaer. La indeterminación originalmente confinada al nivel microfísico se transforma en una indeterminación macroscópica, haciendo que el estado final del sistema macrofísico, es decir del gato, corresponda a una superposición de estados macroscópicamente diferentes, estar vivo o estar muerto. En este sistema, el ejercicio de medición concluye en una dramática perturbación en el sistema bajo observación, que hace que las probabilidades de 50/50 de vida del gato colapsen, bien para entregar un gato vivo o uno muerto. Todas las probabilidades previas a la medición se transforman en resultados definidos por el acto de medición, con las perturbaciones generadas por la observación afectando no solo el estado final del sistema microscópico sino también la relación espacio-temporal de los aparatos de medición. El hecho que la observación genere estos dramáticos cambios es una situación sin paralelo dentro del marco de la física clásica.

Tomando en cuenta lo planteado anteriormente, cualquier intento por formular o analizar una teoría física que integre los sistemas clásicos y cuánticos debe reconocer la existencia de los elementos que los hacen diferentes, y desarrollar una interpretación que incluya a ambas partes. Tanto la mecánica cuántica como la mecánica clásica deben ser consideradas teorías físicas completas en el sentido que cada una dice todo lo que es posible decir acerca de los sistemas físicos que considera como objeto de estudio. Cada teoría describe un dominio concreto, uno cuántico y el otro clásico, pero esto no hace a ninguna de ellas una teoría incompleta, son niveles complementarios de explicación de los fenómenos físicos.

Hasta este punto es bastante claro el límite entre la física clásica y moderna, no solo por las regiones del mundo físico en las que son efectivas, también por sus respectivas visiones. Al

poseer visiones diferentes, los fenómenos físicos son comprendidos y explicados a las masas desde una lógica diferente y un concepto sobre la naturaleza más abierto.

La imagen de la física moderna

El siguiente apartado se realiza tomando en cuenta el libro de (Heisenberg, La imagen de la naturaleza en la física actual, 1955) “La imagen de la naturaleza en la física actual”

Según el punto de vista clásico, toda teoría científica debe ser objetiva, causal, determinista, local y completa. Para inicios del siglo XIX el determinismo se había convertido en un componente absoluto e indiscutible asentado en la conciencia de los científicos. La imagen de física que existía en el paradigma clásico se caracterizaba por: intentar adecuar perfectamente la visión subjetiva del observador y la realidad objetiva del mundo, prohibir dentro del campo de la ciencia cualquier relación que no implique una secuencia lógica entre antecedentes y consecuentes, reducir las relaciones a expresiones matemáticas puramente cuantitativas con variables relaciones entre sí y describir toda la realidad a través de caracteres geométricos con absoluta precisión.

La objetividad significa que la naturaleza es independiente de la conciencia, es decir, es independiente de la percepción y los resultados de una observación o medición no dependen del observador. El principio de causalidad exige que dadas ciertas circunstancias deben producirse siempre los mismos efectos o resultados. La idea de una teoría causal es que a una causa determinada le corresponde un efecto único. En cuanto al determinismo, significa que, dadas las condiciones iniciales y las leyes de movimiento, contenidas en la teoría, es posible determinar el estado del sistema en cualquier tiempo futuro.

La localidad de una teoría establece que un suceso físico no puede afectar a otro suceso físico no puede afectar a otro suceso con el que no esté conectado causalmente. Una conexión causal, significa que un efecto provocado en un lugar solo puede afectar a un sistema después de que la señal ha llegado hasta él, siguiendo las restricciones que impone la relatividad especial. Un golpe sobre una mesa en la Tierra, no puede afectar a un sistema en la luna antes de un segundo, que es lo que tarda un rayo de luz en viajar de la Tierra a la luna.

Sin embargo, el principio de causalidad no tiene validez a escala atómica, ya que a una misma causa pueden seguir diferentes efectos, cada uno con cierta probabilidad de ocurrir. Tampoco

el determinismo es una característica dentro de la física moderna, pues en el nivel atómico solo se pueden hacer predicciones probabilísticas. En el decaimiento de un núcleo radiactivo solo se puede hablar de la probabilidad de que en el próximo minuto decaiga emitiendo una partícula, pero no se puede asegurar nada. Aun usando dos núcleos idénticos, en idénticas circunstancias uno puede decaer en la siguiente hora y el otro no.

El indeterminismo de la mecánica cuántica traía consigo la necesidad ineludible de investigar una nueva imagen de la realidad física acorde con los niveles de esa misma realidad a la que ese indeterminismo se refiere.

Dada la imposibilidad teórica y práctica de observación de los fenómenos cuánticos, las ideas acerca de la ciencia y sus fundamentos deben cambiarse. Hasta antes del momento en que el paradigma clásico evoluciona hacia el paradigma moderno era posible observar los fenómenos sin tener en cuenta las variaciones que se producían en el mismo por la interacción entre el observador y el fenómeno. Una vez sumergidos en el mundo de la física contemporánea, el observador siempre estará inmerso en el mundo del fenómeno observado, alterándolo y modificándolo sin poder evitarlo.

En las funciones de probabilidad de la mecánica cuántica están representados el estado inicial del sistema, teniendo en cuenta las relaciones de incertidumbre, pero también el conocimiento del individuo sobre el mismo, con sus imprecisiones y errores. Por lo tanto, se encuentra en ella un aspecto de objetividad (el estado inicial y la tendencia o posibilidad objetiva de la naturaleza a desarrollarse en el futuro) y un aspecto subjetivo (el conocimiento del individuo en torno al sistema, que puede ser distinto del de otro observador).

La física moderna en Colombia

Colombia en particular no ha sido ajena a la discusión sobre la distinción entre teoría clásica y teoría moderna, siendo que la polémica conceptual entre ambas es discutida desde hace un siglo en el país. La comunidad científica de hace más de un siglo, que en aquellos tiempos se limitaba a un grupo de profesores con preocupaciones académicas comunes, animados por discusiones científicas y filosóficas, pero que oficialmente no desarrollaban tareas coordinadas de investigación, con proyectos y planes específicos, instituciones propias, laboratorios adecuados y bibliotecas eficientes; consideraba la mecánica clásica como teoría verdadera para entender la naturaleza y las relaciones entre sus elementos particulares y universales. No solo era enseñada como fuente de conocimiento práctico en la ingeniería y la astronomía, sino que también se consideró que esa mecánica no podía admitir

cambios drásticos ni tampoco podía abandonare como modelo de modelos (Martinez, 2004) citando a (Garavito, 1920).

Según Garavito (1920) existieron tres obstáculos que impidieron el afianzamiento de nuevas teorías físicas posteriores a la mecánica clásica.

La primera, de carácter conceptual, era la formación de la comunidad científica de aquella época que consideraba la mecánica clásica como inmutable, necesaria y absoluta. Al intentar tomar en consideración los nuevos fenómenos y explicarlos dentro del modelo newtoniano, tuvo que dejar de lado las novedosas explicaciones que se daban, que no solo mejoraban las ya dadas por el modelo newtoniano, sino que iban en su detrimento.

El segundo obstáculo, lo constituía el apego a modelos matemáticos insuficientes para expresar la permanencia de sus principios, la invariancia de sus leyes, la covariancia de sus fórmulas y la universalidad de sus descripciones y explicaciones, en adición a la actitud reacia de emplear planteamientos geométricos alternativos al del momento histórico.

El tercer obstáculo, correspondía a la necesidad de poseer un nivel físico aceptable para asimilar las nuevas teorías de la física moderna (tanto en su carácter cualitativo y cuantitativo), lo que era difícil si se toman en cuenta dos hechos, que a inicios del siglo pasado surgió más interés por la física matemática y casi ninguno por la teórica, y que la naturaleza de la física moderna es bastante abstracta.

Para Martínez (2006) existieron múltiples factores de carácter filosófico, matemático y físico que obstruyeron una oportuna introducción de teorías modernas como la relativista en Colombia. Además de esto, existió un factor material que impidió la consolidación de una comunidad científica que se concentrará específicamente en ese tipo de temáticas. A finales del Siglo XIX las universidades colombianas carecían de la financiación y dotación de equipos y espacios para la investigación, entre estos, libros, manuales, tratados y publicaciones de primera mano que facilitaron la información.

El carácter filosófico íntimamente relacionado a la construcción de teorías físicas modernas también significó un obstáculo. La filosofía en Colombia, que en aquella época era adoctrinada despóticamente por la maquinaria eclesiástica, se vio reducida a una ridícula caricatura y cualquier ejercicio encaminado a dignificar la reflexión sobre literatura que fuera

inconveniente para los intereses de la iglesia era obstaculizado y neutralizado, logrando así un alto nivel intolerancia ideológica y un fácil control sobre las conciencias.

Un punto en el que concuerdan bastante Garavito (1920) y Martínez (2006) es el de la comunidad científica y su resistencia a abandonar el paradigma en el que se habían formado generando así un rechazo total hacia la introducción y difusión de la física moderna.

La comunidad científica colombiana de principios del siglo XX se encontraba inclinada unilateralmente hacia la mecánica newtoniana y cualquier nuevo desarrollo teórico se consideró como artificial, inútil e innecesario. También veían con desconfianza el planteamiento prerrelativista que había hecho Lorentz a causa de su hipótesis en la cual los electrones son substratos de la materia y a la vez generadores de campos electromagnéticos.

Otro problema de carácter físico que impidió la introducción de la física moderna en Colombia fue la conservación de la noción del Éter. El Éter era la negación del ser, la nada. Es decir, que efectivamente la luz, como realmente sucede, se mueve con respecto a la nada, su movimiento es absoluto. El concepto de Éter se inventó para no poder detectarse experimental y directamente. Desde el principio, el Éter fue un concepto indefinible, infiltrante e inefable, que, aunque gozaba de muchas taras era un mal necesario, y era aceptado por la totalidad de los físicos. De él se exhibieron numerosos modelos mecánicos y elaboraciones teóricas muy refinadas; pero, aun así, muy disociado de la materia seguía siendo un estorbo aceptable y útil.

Otro aspecto que prospero en el profundo del pensamiento de la comunidad científica en Colombia fue la geometría euclidiana, esto resulta en un gran problema porque la relatividad, enriquecida por la presencia de nuevas simetrías e invariancias, es eminentemente una geometría no euclidiana. Un aspecto importante y que es señalado por Martínez (2006) como fundamental para entender porque es tan problemática esta alineación hacia una única geometría en Colombia es que la geometría como campo del conocimiento sufrió una evolución producto de mezclarse con otros elementos matemáticos (axiomaticidad, afinidad, metricidad, proyectividad, no euclidianidad, invariabilidad, topologicidad, no riemannidad, no conmutatividad, etc.) que le otorgo un alto grado de pluralidad de estatus orgánico, de autonomía y de instrumento. Tomando en cuenta que existe un amplio espectro geométrico

se llega a la conclusión de que la comunidad científica de aquel momento era ingenua al pensar que una geometría era más útil e inútil frente a otras.

Con la publicación de Martínez (1923) en la cual se expone sobre cinemática, el espacio-tiempo y algo de dinámica; con la cual arranco la lenta difusión de la relatividad, la física moderna y sus dificultades, aislados del ámbito de formación universitaria y de debates de interés investigativo. A pesar de una recepción mayormente negativa y gran cantidad de opositores, hubo numerosas publicaciones en revistas universitarias y debate en la Sociedad de Ingenieros.

El buen momento de la física moderna en Colombia lo evidencia el mismo Martínez (2006) al referirse al cambio de postura de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Colombia, la cual se había declarado antirrelativista desde 1937, cuando en 1979 reconoció de manera oficial su error acerca de las teorías de Einstein y festejando el centenario del nacimiento de Einstein pronunciando conferencias en su recinto y publicando síntesis sobre aspectos relativistas.

III. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan los aspectos metodológicos de la investigación. Se expone la perspectiva metodológica que se ha adoptado, la estrategia de indagación y el diseño metodológico de las diferentes fases de la investigación desarrollada.

La perspectiva metodológica que se ha seguido en esta investigación ha sido la interpretativa y el interés del trabajo es comprender la experiencia, los factores que inciden en algún fenómeno histórico, considerando que la realidad se construye por los individuos en interacción con su mundo natural. Con el fin de establecer un orden general de los eventos que rodean a la evolución del concepto “naturaleza del universo” y generar una descripción global sobre como los temas de física moderna están permeados por un fuerte componente cualitativo, se buscará comprender los significados que los individuos construyen a lo largo de estos pasajes históricos, es decir, como toman sentido de su mundo y de las experiencias que tienen en él.

Se asume, además, que el significado está inmerso en las experiencias de los individuos y que este significado es mediado a través de las percepciones propias del investigador. Por otra parte, esta perspectiva sigue una estrategia de investigación principalmente inductiva, por lo que el producto de estudio es ricamente descriptivo (Gómez, Flores, & Jimenez, 1996).

La selección de los eventos que marquen las transformaciones del concepto “naturaleza del universo” a través del tiempo será a raíz de un texto que para este trabajo se considera importante para la física moderna que presenta en diferentes capítulos como varios conceptos de física han sufrido cambios dentro de diferentes paradigmas como el aristotélico, el copernicano, el newtoniano y el contemporáneo. Ya que el interés es destacar el componente cualitativo que sea considerado útil para transportarlo a la clase de ciencias de un aula de bachillerato no se hará un especial énfasis en aquellos momentos que son mencionados netamente por su discusión filosófica.

Análisis histórico-crítico

El análisis histórico crítico, y es la estrategia de estudio histórico seleccionada en este trabajo para describir y analizar el proceso de construcción de concepciones sobre la

naturaleza del universo a través de la historia (Cabrera, 2017), (García, 2014) y (Ayala, 2016). El análisis histórico crítico se ha seleccionado debido al interés de comprender en profundidad el proceso de construcción de conocimiento científico. Esta estrategia de indagación se ha seleccionado por el interés en observar, descubrir e interpretar más que en probar una hipótesis. Por otra parte, se ha considerado que el conocimiento generado a partir del análisis histórico-crítico es más concreto y contextual (García, 2014).

La estrategia de análisis histórico-crítico se caracteriza por tratar de interpretar el fenómeno en el contexto en el que tiene lugar, enfocándose en descripciones y explicaciones holísticas. Es un proceso en el que se trata de describir, analizar e interpretar una entidad en términos cualitativos, complejos y completos.

Más aún, las características especiales del análisis histórico-crítico es que es particularista, descriptivo y heurístico. El análisis histórico-crítico es particularista porque se enfoca en una situación, acontecimiento o fenómeno particular. El tema de análisis en sí mismo es importante por lo que revela acerca del fenómeno particular. Es descriptivo, ya que el producto final es una descripción rica y densa del fenómeno bajo estudio. Incluye tantas variables como sea posible y retrata sus interacciones en un periodo de tiempo. Es heurístico, porque ilumina al investigador en la comprensión del fenómeno bajo análisis. Puede dar lugar al descubrimiento de nuevos significados, ampliar la experiencia del investigador o confirmar lo que ya se sabe.

Los elementos que toma en cuenta el análisis histórico crítico son aquellos relacionados al modelo fenoménico explicado por García (2011) citando a Pickering (1995). Aunque el modelo fenoménico es referenciado en gran mayoría por trabajos de investigación sobre la experimentación otra interpretación a las palabras de Pickering, que básicamente dice que lo que debe comprenderse a partir del modelo son los aspectos del mundo que están siendo estudiados por parte del experimentador. Para el caso del presente trabajo, el experimentador sería Hawking, de esa manera, los aspectos del mundo serían los elementos que influyeran los elementos que rodearan a las teorías que Hawking usase para explicar sus ideas, indiferente a si dichos elementos son conceptos científicos o componentes sociales.

Diseño metodológico

El análisis histórico-crítico como ejercicio de investigación histórica debe poseer elementos al momento de su realización que sean afines con aquello que caracteriza a las investigaciones históricas estándar. El tema que se pretende abordar debe ser de relevancia social y debe haber el suficiente recurso documental, humano y material para abordar; debe haber una hipótesis previa desde la cual se inicie la búsqueda de material de referencia que puede extenderse desde autobiografías, informes oficiales, archivos presentados en forma escrita, protagónica y mecánica hasta libros de texto, manuales de historia e informes sobre trabajos de investigación; y por último, la síntesis o integración de los datos deberá estar guiada por algún tipo de orden, ya sea geográfico, cronológico, temático o por una combinación de todos.

Existen pocos documentos que hablen acerca del análisis histórico-crítico, y, por lo tanto, que hagan explícitos los pasos para realizarlo. No obstante, existen diferentes propuestas puestas en ejecución como la de Chaleal (2016) que permiten discernir una serie de elementos y un orden a tener en cuenta.

1. La selección y definición del objeto de estudio.
2. Elaboración de una lista de preguntas.
3. Localización de las fuentes de datos.
4. El análisis e interpretación.
5. La elaboración del informe.

La selección y definición del caso.

Se refiere a la selección de un caso apropiado y además definirlo. Se deben identificar los ámbitos en los que es relevante el estudio, los sujetos que pueden ser fuentes de información, el problema y los objetivos de investigación.

Elaboración de una lista de preguntas.

Después de identificar el objeto de estudio, es fundamental realizar una pregunta o conjunto de preguntas para guiar al investigador. Tras los primeros contactos con el concepto a analizar, es conveniente realizar una pregunta global y desglosarla en preguntas más variadas, para orientar la recogida de datos.

Localización de las fuentes de datos.

Los datos se obtienen mirando, preguntando o examinando. En este apartado se seleccionarán las estrategias para la obtención de los datos, es decir, los pasajes a examinar, las entrevistas, el estudio de documentos personales y la observación, entre otras. Todo ello desde la perspectiva del investigador y la del objeto de estudio.

Análisis e interpretación.

Se sigue la lógica de los análisis cualitativos. Se trata de la etapa más delicada del análisis histórico crítico. El objetivo es tratar la información recopilada durante la fase de terreno y establecer relaciones causa-efecto tanto como sea posible respecto de lo observado. Contrariamente a las fases de diseño y de recopilación de datos, este análisis está menos sujeto a metodologías de trabajo, lo que de hecho constituye su relativa dificultad. Tras establecer una correlación entre los contenidos y los personajes, tareas, situaciones, etc., de nuestro análisis; cabe la posibilidad de plantearse su generalización o su exportación a otros objetos de estudio.

Elaboración del informe.

Se debe contar de manera cronológica, con descripciones minuciosas de los eventos y situaciones más relevantes. Además, se debe explicar cómo se ha conseguido toda la información (recogida de datos, elaboración de las preguntas, etc.). Todo ello para trasladar al lector al momento histórico que se cuenta y provocar su reflexión sobre el objeto de estudio.

IV. ANÁLISIS HISTÓRICO CRÍTICO: CONTEXTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

El análisis histórico crítico toma como columna vertebral el primer capítulo del libro primario de Stephen Hawking, *Historia del Tiempo: Del Big Bang a los Agujeros Negros, Nuestra imagen del Universo*. El texto de Stephen Hawking es indudablemente una referencia hacia el carácter cualitativo y observacional de la física, del uso de la astronomía como fuente de evidencias que sin recurrir al uso de expresiones matemáticas o extensos cálculos permite la caracterización, discusión y comprensión de fenómenos físicos modernos.

El primer capítulo titulado como “Nuestra imagen del Universo” no está seccionado a base de subtítulos que separen una época o teoría de otra, sin embargo, a través de la lectura y posterior a la introducción del tema que va a ser desglosado, Stephen Hawking describe cómo desde la civilización prearistotelica hasta la era moderna se han esbozado, establecido, reemplazado y evolucionado ideas sobre ¿qué abarca el concepto de universo? ¿cómo está constituido? y ¿qué leyes rigen su existencia? Haciendo hincapié en autores específicos y traduciendo de manera concisa y sencilla la visión de universo que cada uno de estos tenía, entre ellos, Aristóteles, Ptolomeo, Copérnico, Newton, Einstein y por último, Hubble.

Aunque la base fundamental del análisis es la estructura y la descripción que hace Hawking, el escrito también está sustentado por reseñas e investigaciones de carácter social y científico realizados por contemporáneos de los autores mencionados anteriormente.

La naturaleza del universo

Desde su hogar en la Tierra, el ser humano mira hacia la tenue distancia hacia el oscuro pasado, y se esfuerza por imaginar el tipo de mundo en el que nace. Las observaciones ahora abarcan un inmenso volumen de espacio: tal vez la naturaleza del universo se puede inferir a partir de la aparición de la muestra que se explora (Morones, 2013). Las teorías presentan una matriz infinita de universos posibles, sistemas lógicamente consistentes: tal vez la información actual es suficiente para identificar entre ellos el tipo particular, o familia de tipos, que incluye el universo real que habitan los seres humanos.

Aunque a primera vista parezca una cuestión simple, la ardua tarea de caracterizar el universo ha significado para observadores, estudiantes y docentes un escenario idóneo desde el cual plantear teorías, herramientas y técnicas durante milenios, logrando así impulsar de manera constante la construcción de un conocimiento científico más amplio (Rodríguez, 1995).

La astronomía no solo ha visto crecer su importancia en términos de avance tecnológico y científico, para la formación científica también ha sido de utilidad, debido a que a partir de esta ha sido posible visibilizar las tensiones entre mito, magia, ciencia y religión a través de la historia (Jones, 1987). Dichos aspectos han ejercido una influencia crucial en la evolución de las ideas relativas al conocimiento científico debido a que la pregunta por lo mítico, lo divino y mágico al mismo tiempo es una cuestión acerca del inicio del mundo, acerca de lo que lo hace ser como es y también acerca de si hay alguien o algo que le permitió ser así (Duch, 1974). En la construcción del conocimiento científico, desde la imagen relativista de ciencia, estos conceptos son importantes porque aun estando más allá de lo histórico, hacen posible la historia y la toma de conciencia del hombre como ser histórico, y gracias a eso nace la ciencia como una construcción humana y progresiva que se ha ido erigiendo arduamente y con el solo uso de la razón, desde el fondo oscuro de los mitos, las religiones y la magia, en esfuerzo por delimitar territorios de conocimiento estrictamente humanos.

El estudio del Universo ofrece, desde la perspectiva de diferentes autores como Ros (2009), Esteban (2009) y Restrepo (2007) una posibilidad única de que los estudiantes aprendan a interpretar la realidad que los rodea, construyan unos conocimientos útiles para resolver problemas que surjan incluso en la vida cotidiana.

A lo largo de la historia de la civilización humana, son innumerables las discusiones que se han suscitado alrededor de cómo es el universo, entendiendo por esto preguntas acerca de su origen, las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos que en él existen y las transformaciones de las nociones del tiempo y el espacio; pero hay una serie de teorías que han significado un verdadero episodio de cambio para la imagen que existe no solo del universo en términos físicos sino también del entramado cultural que rodea al hombre.

El universo de Aristóteles

El universo de los griegos era una pequeña esfera, el centro era la Tierra, el límite era el fino caparazón de las estrellas fijas. Se creía que todo el cielo giraba una vez al día alrededor de la Tierra inmóvil.

Aunque al principio de su texto, Stephen Hawking mencione los argumentos de Aristóteles de una tierra redonda en oposición a la idea de tierra plana que se había instaurado en su momento, estas dos no eran las únicas teorías al respecto de cómo era el mundo. Influenciados por el misticismo, existieron también teorías tales como el universo visto igual a una tinaja que Zeus como dios de este había ordenado cerrar para evitar que el mundo del desorden se instaurase afuera, esto denota que, en la tradición griega, el universo en sí se configura por tres niveles diferentes: el alto ocupado por los inmortales, el del medio, por los mortales y el de abajo, ocupado por los muertos y las divinidades subterráneas. Aunque con un carácter mítico evidente, esta concepción de los griegos sobre el mundo y lo que le rodea, según Vernant (1983), tiene una gran influencia de sus prácticas culturales, la costumbre antigua de enterrar a los muertos en tinajas y ser estos recipientes, a su vez, donde se guardaban los frutos de la tierra. Se infería que dada la forma de las tinajas no sería posible atravesar de un nivel a otro y esto mismo explicaría porque no es posible que seres de un nivel no interactúen con otro.

Una tercera teoría fue propuesta por Aristóteles que consideraba la tierra como una esfera y sosteniéndolo a través de dos argumentos. El primero era en torno a los eclipses lunares, en un fenómeno donde la Tierra se interpone entre el Sol y la Luna, la sombra que esta generase sobre la Luna debería tener la forma de una elipse larga y estrecha a los bordes y no la forma esférica que se observaba en la época. El segundo era el cambio de perspectiva en la observación de la estrella polar, un observador al cambiar de posición en un terreno plano, no podría notar un cambio de perspectiva, de vertical a diagonal, de un objeto fijo.

A diferencia de la teoría del disco plano, la teoría del mundo como una tinaja no tiene argumentos desde lo observacional y está enteramente influenciado por costumbres antiguas y creencias míticas de dioses como Urano, Gea o Zeus. Por lo tanto, no habría necesidad de argumentar en contra de esta teoría además de que su poca extensión en la comunidad de aquella época pareciera no haber conllevado a otros pensadores a interesarse en refutarla.

Aunque no fuese explícito en las obras de Aristóteles, en textos posteriores de pensadores de su época como Platón; la noción de esfericidad de la Tierra trajo consigo la posibilidad de que existiesen tierras en el hemisferio opuesto. Esta idea era comúnmente vinculada con el concepto de “antípodas” que vendría ser un punto diametralmente opuesto al del observador en la esfera terrestre.

Polo (2016) relata que la noción de esfericidad de la Tierra, no solo tuvo impacto en el sector comercial por la evidente posibilidad de realizar una mayor cantidad de transacciones y tener al servicio una mayor cantidad de productos, también conllevó a que los griegos se replantearan lo que los hacía humanos, pues ahora estaban ante la posibilidad de un lugar en el que es de noche cuando para ellos es de día, donde habitan misteriosos seres imposibles de conocer, parecidos y al mismo tiempo opuestos. Aunque el autor lo expresa de una forma poética, el acercamiento de Aristóteles hacia como es el universo trajo consigo una reflexión filosófica acerca de que es precisamente lo que hace que los humanos sean humanos. Para los griegos la existencia de un lado opuesto es improbable, si todos los humanos del hemisferio en el que se ubica Grecia experimentan la noche y el día de la misma forma, pero con variaciones poco significativas, sería lógico afirmar que, al ser una experiencia compartida, esa experiencia en sí es parte de ser humano, pero si existiese el lado opuesto, debería repensarse como las experiencias de día y noche afectan al concepto de humanidad.

El universo de Ptolomeo

Esta concepción de universo fue replanteada muchos años después con Ptolomeo, el cual concordaba en varios aspectos con la teoría de Aristóteles incluida aquella en la que la Tierra era el centro del universo. Aunque Ptolomeo estableció un sistema razonablemente preciso para predecir las posiciones de los cuerpos celestes, su visión de universo no es famosa precisamente por ello. Al ser consistente en relación a lo que planteaban las escrituras de la fe cristiana, el fino caparazón de estrellas fijas que funcionaba como límite del universo dejaba entrever una inconmensurable cantidad de espacio que vendría a ser reemplazado por el cielo y el infierno.

No obstante, aún quedaban cuestiones por resolver en este nuevo paradigma de universo, ya que su aceptación abarcaría una serie de complejas implicaciones frente a la interpretación cristiana de la imagen del mundo. La adaptación geográfica planteada por Aristóteles con las

santas escrituras no era posible por el choque entre la denominada cultura pagana y la tradición judeocristiana. La posible presencia de una tierra habitable al otro lado del mundo pone en crisis las bases mismas de la doctrina cristiana, basadas sobre las categorías fundamentales del pecado original y la redención (Vignolo, 2007). Tanto el común origen de Adán como el alcance universal de la palabra de Cristo son incompatibles con la idea de insuperables barreras naturales entre lo que hoy se conoce como hemisferio boreal y hemisferio austral.

La concepción griega de un universo pequeño y cerrado fue aceptada casi sin discusión hasta la revolución copernicana. Copérnico no solo transfirió la rotación diaria de los cielos a la tierra. El universo enorme ya no giró sobre la tierra inmóvil; en cambio, la tierra misma, a un ritmo modesto, giraba en un universo inmóvil.

El Universo de Copérnico

La revolución Copernicana significó la transición del mundo medieval caracterizado por ser pequeños, amurallado y temeroso de Dios. A través de la imprenta y las expediciones a través del océano hacia nuevos mundos gestados por Cristóbal Colón, Vasco de Gama, Nuñez de Balboa, Fernando de Magallanes y Sebastián el Cano fue que el hombre adquirió nuevos ojos. Es en Nicolás Copérnico donde encontramos un nuevo cambio de paradigma sobre el universo.

La esencia de la revolución copernicana fue un cambio de la visión científica de la posición y modo de moverse de la Tierra en torno al sol. Hasta la aceptación de la heliocéntrica concepción de Copérnico, todos aceptaron el geocentrismo, es decir el convencimiento de que la Tierra ocupa el lugar céntrico del cosmos, según los postulados de Aristóteles y Ptolomeo. La aceptación de la Tierra como el centro del sistema planetario daba una falsa y muy complicada visión de la realidad. El movimiento de la Tierra alrededor de sí misma y la teoría sobre el sol que se mueve alrededor de la Tierra provocaba un error en las observaciones del cielo. El descubrimiento de Copérnico que el punto central del sistema planetario es el sol, dio inesperables facilidades, ya que todos los planetas se mueven por una elipse.

La controversia sobre el descubrimiento de Copérnico se comienza en el fondo cuando lo acepta Galileo. En 1616, la iglesia católica censura algunas frases presentes en la obra de Copérnico, y en 1757 Benedicto XIV elimina de la lista de los libros enseñados cualquiera que se refiera a la movilidad de la Tierra y la inmovilidad del sol. Es claro que la investigación de Copérnico tenía una sombra dramática y que el descubrimiento de la verdad suscitó un gran conflicto ante la visión general del mundo que todos en aquellos tiempos tenían.

Copérnico se negaba a sacar a la luz su obra. Como él mismo afirma en el prefacio de *Revolutionibus*, el temor a la pública desaprobación y la convicción de que “debemos huir de las opiniones del todo contrarias a lo correcto” le hicieron dudar mucho tiempo sobre si publicaría sus investigaciones acerca del movimiento de la Tierra o si, por el contrario, “cedería al impulso de abandonar por completo la obra comenzada”, temiendo el desprecio de que sería objeto por lo inaudito de su teoría.

Copérnico afirma que el mundo es esférico porque ésta es la figura más perfecta, la que posee mayor volumen y “a la cual conviene en sumo grado contener y abarcar todas las cosas”. Ello puede verse en el Sol, la Luna y las estrellas, en las gotas de agua y otros líquidos. Para establecer la redondez de la Tierra se presentan luego una serie de argumentos conocidos desde la Antigüedad, tales como la variación de la posición del polo celeste con respecto al horizonte, al modificarse la latitud del observador, o el hecho de que haya estrellas en el hemisferio norte que parecen no ocultarse jamás mientras otras, al sur, no son visibles para el mismo observador.

Después de probar que la tierra y el agua forman una esfera, enuncia Copérnico la hipótesis fundamental acerca del movimiento de los cuerpos celestes: ya que la esfera es la figura más perfecta, es propio de ella el moverse circular y uniformemente, expresando así su forma; pero, por otra parte, los movimientos del Sol, la Luna y los planetas se presentan como variables en el tiempo; no obstante, es necesario admitir que son circulares o compuestos de muchos movimientos circulares, dado que las irregularidades se repiten periódicamente, lo que no sería posible si estos astros se desplazarán en órbitas distintas del círculo. En la dinámica de Copérnico el movimiento circular uniforme de los cuerpos se efectúa en virtud de su forma geométrica, sin causa exterior, y no porque son celestes o eternos.

Copérnico afirma que la Tierra no es el centro de todos los movimientos circulares, lo que se prueba por los desplazamientos aparentes irregulares de los planetas y su distancia variable a la Tierra; por consiguiente, deben existir varios centros y cabe interrogarse si el centro del mundo es el mismo de la gravedad terrestre. El mismo Copérnico considera que la gravedad no es otra cosa que una apetencia natural, infundida en las partes por la divina providencia del creador de todas las cosas, de modo que se reúna en su unidad e integridad para tomar la forma esférica.

Copérnico era consciente de que sus ideas eran profundamente revolucionarias para su época, no solo por decir donde estaba la Tierra o el Sol en relación al universo que sería lo que podría esperarse de una teoría sobre astronomía, sino de un problema en torno a la visión teológica y antropológica del momento histórico en Europa. En aquel momento, se pensaba que la Tierra estaba en el centro de todo nuestro sistema planetario porque el hombre era el centro de la atención divina, según los relatos del libro del Génesis. Dios había creado todas las cosas, había preparado todo, dejando la Tierra en el centro, porque todo estaba hecho para el ser humano, el cual era lo más extraordinario y magnífico de la creación. Entonces, el postular que la Tierra no es el centro de nuestro sistema planetario, sino un planeta secundario más que da vueltas, como muchos otros, alrededor del Sol, no sólo rompía el paradigma astronómico de la época, sino el paradigma antropológico y teológico, lo cual era mucho más complejo.

El universo de Newton

Newton llegó a presentar ideas revolucionarias que acercaron enormemente a la humanidad hacia la comprensión de la relación entre los demás cuerpos del universo y la Tierra. Este suponía que la luna sufre el mismo tipo de atracción sobre la tierra y ella. Si sufre la luna una atracción gravitacional por parte de la Tierra como cualquier otro objeto material, entonces debería ser posible conocer la aceleración centrípeta que tiene la luna debido a la fuerza de atracción existente entre la tierra y ella. En efecto, ya en la época se conocía el período de revolución de la luna y también la distancia entre la tierra y ella.

Una idea aún más revolucionaria fue la de pensar que la gravedad entre dos objetos actúa siguiendo una ley que va con el inverso del cuadrado de la distancia que los separa. En el caso de la tierra y la luna, más o menos se puede entender cuál puede ser la distancia. Uno

puede suponer que la distancia entre la tierra y la luna es la que separa la superficie de la tierra con la superficie de la luna, que no debería ser tan diferente de la distancia que separa a los centros de ambos cuerpos, porque la distancia entre ellos es grande en comparación con su tamaño. Pero Newton planteaba una incógnita bastante evidente: ¿qué sucedía entre la manzana y la tierra? Para cuerpos tan grandes como la tierra, no es claro cómo se debe medir la distancia entre ellos. La intuición de Newton fue la de suponer que la distancia entre la tierra y la luna que verdaderamente cuenta, es la distancia entre los centros. Pero para probarlo Newton tuvo que inventar el cálculo diferencial.

Newton también estudió el cosmos e intuyó que la distribución de cuerpos celestes (en su época no se hablaba de nebulosas ni de galaxias) es homogénea, es decir, distribuida uniformemente en todo el cosmos e isotrópica, o sea, tiene las mismas propiedades en cualquier dirección. Esta suposición fue formulada por él, aun cuando era conocido por la comunidad científica que existían varias desviaciones locales en la Vía Láctea.

Una apreciación interesante que hace Hawking respecto a cómo es el universo para Newton es la dificultad de imaginar movimientos en espacios infinitos con elementos infinitos a su alrededor. La teoría de gravedad de Newton implicaba que las estrellas deberían atraerse unas a otras, de forma que no permanecieran en reposo y en algún punto terminarían aglutinándose. Para hallar una salida razonable a esta situación, Newton razonaba que esto era posible en un escenario donde tanto el número de estrellas como la región del espacio fueran finitas, pero por otro lado si las estrellas fueran infinitas y se distribuyeran de manera uniforme en un espacio infinito nunca se aglutinarían pues no existiría un punto central donde encontrarse.

Olbers argumentó correctamente, que la luminosidad de una estrella disminuye con el cuadrado de la distancia a ésta. Pero, el número de estrellas en una capa esférica con centro en un observador, deberá crecer con el cuadrado del radio de la capa, si es que el universo es homogéneo e isotrópico, de tal manera se compensa exactamente la pérdida de luminosidad que cada estrella tiene como función de la lejanía del observador; la cual disminuye con el cuadrado de la distancia. Si el número de estrellas es infinito, entonces tendremos que la luminosidad de las estrellas en la noche debería ser, si bien no infinita, sí igual a la luminosidad de la capa de estrellas más cercana a la tierra; es decir, igual en realidad a la luminosidad del sol. Algo que no ocurre según se puede comprobar con facilidad en la noche.

Aunque se debe tener en cuenta que para el momento de la formulación de esta paradoja Olbers no tiene en cuenta la vida finita de las estrellas y la no infinitud de la velocidad de la luz, de tal manera que estrellas muy lejanas no vivan lo suficiente para poder verlas desde la tierra.

Existen una cantidad considerable de argumentos que refutan la idea planteada por Olbers y que no están necesariamente a favor de las ideas de Newton. Algunas de las más conocidas son aquellas que plantean que a causa de materiales absorbentes de luz como lo son las nubes de hidrógeno dispersas por el universo pueden absorber al menos una parte de la radiación. También se ha planteado la idea de que el universo al no haber existido siempre, hay estrellas que se encuentran a distancias que requieran a la luz más tiempo que la edad del universo para recorrerlas y así poderse ver, es decir, si tomarás en cuenta los datos, hasta ahora, más exactos sobre la edad del universo los cuales se estiman entre 10.000 y 15.000 millones de años, no se podría recibir la luz de estrellas que se encuentren a más de 15.000 millones de años luz.

El universo de Einstein

Hasta este punto de la historia, diferentes autores dentro del libro de Hawking han postulado teorías acerca de cómo es el mundo, cuya definición se va expandiendo progresivamente desde la Tierra, pasando al Sistema solar y reflexionando como es el universo, aunque las teorías de una misma época difieren en gran cantidad de aspectos cada una de estas tenían una similitud. Ninguna parecía tener algún interés en si el universo sobre el que reflexionaban tenía o no un principio.

Una razón a esto puede ser lo que menciona Hawking *“Se podían explicar igualmente bien todas las observaciones tanto con la teoría de que el universo siempre había existido, como con la teoría de que había sido puesto en funcionamiento en un determinado tiempo finito, de tal forma que pareciera como si hubiera existido desde siempre”* (Hawking, 1988, pág. 15)

Lo interesante de lo que menciona Hawking no es tanto la independencia de las observaciones respecto a las teorías sino las teorías en sí que menciona. Ambas hacen referencia a cuestiones de carácter menos científico y más metafísico o teológico. Los siglos

que preceden a este punto de la historia se han caracterizado por establecer límites a las posibilidades de la metafísica como conocimiento válido de la razón humana. Precisamente en la mejor época de la física clásica cuando los conocimientos de Newton estaban en auge, Immanuel Kant en su libro *Critica de la razón pura* argumenta que existe un límite de la razón el cual está impuesto por la experiencia y que la metafísica no tiene propósito como conocimiento válido al tratar cuestiones que superan la experiencia.

Tomando en cuenta lo anterior, resulta extraño imaginar que la razón por la cual los científicos no se preguntaran por el origen del universo tome en cuenta teorías propias de un campo que en aquella época era despreciado e indiferente, por lo tanto, debería haber una razón más apropiada para entender el poco interés por el inicio del cosmos.

Una posibilidad bastante coherente es la influencia de la teoría absolutista de Newton en el pensamiento científico de la época. Dicha teoría hace referencia al concepto de espacio absoluto formulado por Newton, en el cual el “espacio como entidad” posee un conjunto de propiedades tales como las de permanecer similar e inamovible independiente de la existencia y/o propiedades de otras entidades como lo es el tiempo. El concepto de origen implica un punto inicial en la dimensión temporal de un algo y bajo este pensamiento, el universo como rango de espacio más grande que se conoce, sería similar e inamovible en cualquier etapa temporal pues esta no influye, por lo tanto, no es posible hablar sobre orígenes.

Sin embargo, la influencia de la teoría absolutista de Newton comenzaría a perder fuerza una vez se plantearán nuevos retos dentro de la disciplina, la teoría de Einstein significaría un punto de transición entre la física clásica y un nuevo paradigma.

Posteriormente, el paradigma que releva a la física y los avances en instrumentos astronómicos permitirían la postulación de una teoría acerca del origen del universo, el encargado de ello sería Edwin Hubble.

El paso a la física moderna: Edwin Hubble

Para este apartado se analizará el trabajo observacional realizado por Hubble (1943), el cual se plantea como una muestra de que la exploración astronómica es una valiosa fuente de evidencia empírica para las discusiones del nuevo siglo.

Para iniciar el análisis hay que tomar en cuenta que para Hubble la región observable del espacio, es decir, aquella que a través de los instrumentos astronómicos actuales puede ser explorada y analizada; funciona como una muestra del universo, de allí que las características que se extraigan de observar esta región observable deberían proporcionar información importante sobre el universo en general.

“Hasta hace poco, esas regiones exteriores se encontraban en el ámbito de la especulación. Hoy los exploramos con confianza. Están vacías en su mayor parte, vastas extensiones de espacio vacío. Pero. Aquí y allá, separados por inmensos intervalos, encontramos otros sistemas estelares, comparables con los nuestros. Los encontramos dispersos por el espacio en la medida en que los telescopios pueden alcanzarlos” (pag.15)

Considerar como “justa” a la muestra actual que se tiene del universo es coherente si se toma en cuenta que hacia finales del siglo XIX e inicios del XX, la región observable estaba restringida al sistema de estrellas de la Vía Láctea. En el contexto histórico en el que Hubble realiza sus observaciones, se habían logrado identificar a las nebulosas como sistemas independientes que después pasaron a ser puntos gigantescos de referencia que permitieron al hombre extender sus exploraciones más allá de la Vía Láctea y, en un período aproximado de 15 años, magnificado un millón de veces la región observable.

Uno de los elementos a los que más recurre Hubble para explicitar sus ideas son las nebulosas, por lo tanto, es importante caracterizarlas.

Las nebulosas se conocen desde hace mucho tiempo como manchas de luz misteriosa y tenue, salpicadas de estrellas sobre la superficie del cielo. Una de ellas, la nebulosa de Andrómeda se ve fácilmente. Se había descubierto que las nebulosas eran miembros de una sola familia homogénea. Todas tienen la misma luminosidad intrínseca y exhiben un patrón común de simetría rotacional sobre sus núcleos centrales. Aunque las formas estructurales varían ampliamente, coinciden en comenzar con una secuencia de nebulosas globulares compactas. Características como el color, el tipo espectral y la resolución en estrellas varían según la nebulosa por lo que se han considerado estos aspectos como la base de la clasificación de las nebulosas.

Para Hubble el que existiera dicha secuencia de nebulosas globulares es importante ya que la evidencia de una relación familiar permite considerar a todas las nebulosas como un solo grupo estándar y homogéneo, a partir de esto es posible describir la nebulosa promedio. Este hecho simplifica enormemente la interpretación de los datos de las encuestas. Las luminosidades intrínsecas de las nebulosas son tan similares que cuando se trata de miembros de gran tamaño, a menudo pueden tratarse, con fines estadísticos, como si fueran precisamente constantes. La aparente debilidad de las nebulosas indica su distancia relativa.

Las distancias fundamentales se derivan de ciertos tipos fácilmente reconocibles de estrellas gigantes cuyas luminosidades intrínsecas son bien conocidas a partir de investigaciones dentro del sistema galáctico. Estas estrellas, entre las cuales las variables cefeidas son las más importantes, oscilan entre 1000 y 4000 veces el brillo del sol. Un estudio de la colección de muestras proporcionada por las variables Cefeidas demostró que las estrellas más brillantes en las diferentes nebulosas son casi igualmente luminosas. Promedian un 50000 veces más brillo que el sol, y las desviaciones individuales son pequeñas. Por lo tanto, las estrellas más brillantes proporcionarían un segundo criterio que indica las distancias de todas las nebulosas en las que se puede detectar cualquier estrella, independientemente de si se pueden reconocer o no los tipos particulares. Las luminosidades totales forman el criterio general que, en un sentido estadístico, se aplica a todos los millones de nebulosas que se pueden registrar con los telescopios que existían en aquel momento.

Gracias a los estudios de aquella época sobre nebulosas se puede distinguir entre dos tipos de estas. Las primeras consisten en nubes de polvo y gas iluminadas por estrellas vecinas, estas ocupan una cantidad pequeña y hacen parte del sistema estelar al que pertenece la Tierra. El otro tipo de nebulosas consiste en los cuerpos simétricos regulares, muchos de los cuales muestran una estructura en espiral, hallados por miles en todas partes del cielo, excepto en la Vía Láctea.

Dado que una escala confiable de distancia es de vital importancia en la exploración del espacio, Hubble se valió de la intensidad lumínica de los objetos que estudiaba para determinar la escala a la que estos estaban. Si se conoce la luminosidad de un objeto, el aparente desvanecimiento indica la distancia.

La nebulosa es un sistema estelar cuyos contenidos son bastante similares a los del sistema galáctico. Las estrellas más brillantes son supergigantes azules que son más numerosas en las regiones externas de los brazos espirales. La luz integrada del cuerpo principal es muy similar a la luz solar.

Una de las primeras ideas que resalta del trabajo de Hubble, en comparación con escritos de física clásica, es la introducción de magnitudes de gran escala como la velocidad de la luz, por lo que sería importante que las primeras situaciones donde se introduce la velocidad del sonido viniera acompañado con la introducción de la velocidad de la luz, esto debido a que ambas son escalas bastantes amplias en comparación con las velocidades normales que son experimentables por los estudiantes, como lo son los movimientos de automóviles.

El recurrir a la luz y en general a los temas de óptica es imprescindible puesto que de esta hacen parte varias nociones usadas a lo largo del escrito de Hubble como lo es el espectro electromagnético.

El argumento principal de la expansión del universo que relata Hubble es: cuanto más lejana está una galaxia, más de prisa parece que se aleja de nosotros. Lo que indica que el universo se expande en todas direcciones, por lo que todos los cuerpos que están en él se van alejando unos de otros. La información para determinar dicho alejamiento de estos inconmensurables cuerpos celestes fue sustraída de la luz irradiada de estos.

El argumento al que Hubble hace mayor énfasis para plantear la expansión del universo está relacionado con la idea del “desplazamiento hacia el rojo”.

Se sugiere que la discusión de esta ley conocida como la “ley de Hubble” sea vinculada al proceso de aprendizaje del espectro electromagnético pues es un concepto fundamental en la comprensión de la ley del desplazamiento rojo.

La luz de cualquier fuente es un compuesto de muchos colores individuales o longitudes de onda, las características espectrales de los gases calientes han sido comparados con las del sol convirtiéndolas en un punto de referencia para el trabajo experimental de los elementos químicos que se pueden encontrar en el sol. Hubble hace mención a las similitudes entre el sol y las nebulosas, *Las nebulosas son sistemas estelares y sus espectros se parecen a los del sol.*

El espectro de un objeto que emite luz a una distancia no muy grande, tómease por ejemplo un gas de hidrógeno caliente en un laboratorio, nos permite obtener unas longitudes de ondas fijas expresadas en líneas a través de una cuadrícula.

Al replicar el ejercicio en cuerpos celestes como el sol aparecen las mismas líneas, pero desplazadas hacia el color rojo.

Desde el caso que Hubble tomaba en cuenta los datos que proporcionaban las nebulosas más cercanas como la gran espiral en Andrómeda y las comparaba con las de sistemas estelares aún más lejanos, sin embargo, se hace la mención de gases calientes ya que el mismo Hubble hace comparaciones entre la incandescencia de estos y algunos sólidos con la emisión de luz de los sistemas estelares, *las líneas oscuras debido al calcio, el hidrógeno, el hierro y otros elementos en las atmósferas de las estrellas componentes se identifican con total confianza.*

Igualmente, los datos obtenidos de las nebulosas han sido de alguna manera corroborados en el laboratorio, *en el caso de las nebulosas más cercanas, estas líneas están cerca de sus posiciones normales según lo determinado en el laboratorio o en el sol.*

Ese corrimiento al rojo de la luz es debido al alejamiento de la galaxia o la fuente de luz respecto al observador, de forma similar a un silbido de una locomotora o de como una moto cambia su tono según se acerque o se aleje de nosotros. Y cuanto mayor sea ese corrimiento, mayor será la velocidad. Según las propias observaciones de Hubble este fenómeno se aplicaría al menos en el rango de los escenarios que se han estudiado que vendrían siendo espacios de hasta 250 millones de años luz, en adición a la velocidad a la que estás se alejan: 25000 millas por segundo, no es difícil llegar a la interpretación que consolidó Hubble:

...podríamos explicar la actual distribución de las nebulosas suponiendo que todas las nebulosas estuvieron juntas una vez en un volumen muy pequeño de espacio. Luego, en un cierto momento, hace unos 1.800 millones de años, el atasco explotó, las nebulosas se precipitaron hacia afuera en todas las direcciones con todas las velocidades posibles, y han mantenido estas velocidades hasta nuestros días. (Hubble, 1943, pág. 18).

Las ideas que encontró Hubble aparenta ser sencillas al punto que en muchos de sus escritos que hacen referencia a este fenómeno no se hace mención de alguna fórmula o ecuación, sin embargo, es importante recalcar que en la discusión sobre si existía o no realmente un

desplazamiento hacia el rojo entra en juego un elemento que es necesario comprender, las ondas.

Las ondas que llegan desde el espacio, dentro de lo que plantea Hubble, son el testigo del desplazamiento. Como la energía de un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda, y por tanto directamente proporcional a su frecuencia, la expansión produce una reducción de esa energía. El resultado es la disminución de la intensidad de la luz de las galaxias que llegan a la Tierra, más pronunciada mientras más lejanas se encuentren.

El comportamiento de las ondas también es fundamental para desarrollar y discutir las ideas de Hubble, dado que en la actualidad se reconoce que a diferencia de lo que muchos astrónomos del momento habían planteado, el desplazamiento al rojo no se debe al conocido efecto Doppler, que es el causante de los cambios de frecuencia medidos en los objetos que se mueven dentro de la galaxia. En las observaciones extragalácticas que dan lugar a la ley de Hubble, el efecto dominante no son los movimientos propios de los objetos. Cada galaxia permanece casi estacionaria respecto a su entorno y es el espacio entre las galaxias el que se expande. En esta situación, el desplazamiento al rojo de la radiación se debe a que, durante su tiempo de viaje de una galaxia a la otra, el espacio se expande, y la longitud de onda de la radiación que viaja por él hace lo mismo. A velocidades bajas, el desplazamiento al rojo causado

La idea de expansión trae consigo cuestiones importantes sobre el pasado y el futuro de todo lo que existe actualmente. Si el Universo actualmente ocupa progresivamente mayores cantidades de espacio, sería lógico imaginar que en retrospectiva estuvo ocupando menos espacio, y en algún punto del pasado el Universo estaría concentrado en alguna especie de punto original. Considerar la existencia de dicho punto original implicaría que existe un tiempo cero desde el cual el espacio nace, se va expandiendo y el universo aumento de tamaño a medida que transcurre el tiempo.

Al igual que el planteamiento de Galileo en su esfuerzo de retomar las ideas de Copérnico, la noción de universo estático que es validada desde la observación de Hubble se encuentra

frente a un sentimiento de temor hacia la posibilidad de que su autonomía se vea opacada por las opiniones de círculos religiosos.

Aunque existía la posibilidad de que se iniciarán una serie de controversias, la observación cosmológica de Hubble no tiene un impacto visible en las esferas sociales sino después de ser relacionada con otras dos observaciones claves de la época: la existencia de radiación cósmica de fondo y las cantidades relativas de hidrógeno, helio y deuterio en el universo; con el fin de concretar una teoría más general, la globalmente conocida teoría del Big Bang.

Una vez difundida y reconocida a nivel global por medio de la teoría del big bang, el universo en expansión se convierte en un elemento más para la discusión entre el creacionismo y el evolucionismo. En cualquier discusión sobre la creación del mundo, inevitablemente surge la cuestión paradójica y compleja de la temporalidad. Si la creación se considera un evento, debe haber tenido lugar en algún momento, en una fecha específica. Si el tiempo se considera un fenómeno lineal, como lo es en el mundo occidental, esto necesariamente plantea el problema de “¿si algo existió antes de la creación y, de ser así, ¿qué?”. Pero si el tiempo en sí existió antes de la creación, no puede ser parte del mundo tal como se conoce.

En el contexto de la historia de la creación cristiana, por ejemplo, una de las preguntas fundamentales es “¿Creo Dios el mundo instantáneamente o en etapas?”. Los diversos relatos de la creación en las Escrituras invitan a dos respuestas diferentes. La interpretación de mayor aceptación es que la creación tuvo lugar durante seis días, seguido por un día de descanso (Phillips, 2004).

Otra interpretación, aunque menos famosa que la primera, es la de creación instantánea, fundamentada en la cuestión acerca de “¿Cómo podría haber comenzado el tiempo antes de la aparición, en el cuarto día, de los dos grandes “relojes astronómicos”, el sol y la luna?”. Esto tiene sentido si se toma en cuenta que el paso del sol a través del cielo es lo que define la duración de un día. Un argumento en contra de esta interpretación sería que no es posible hablar de tiempo dentro del universo primitivo del creacionismo puesto que la duración de un segundo es definida por la radiación de cesio 133, elemento que aquel momento no había sido creado.

V. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Dentro de la literatura existe un consenso acerca de cuan complejos son los fenómenos que se relacionan a la física actual, presentándolos a través de medios de la cultura popular (comics, cine, televisión y videojuegos) como temáticas situadas en la imaginación de las personas tales como los viajes en el tiempo y las curvaturas del espacio, y que escapan a la observación humana a causa de lo limitadas que son las herramientas en la actualidad como lo es el big bang. Sin embargo, existen una gran serie de fenómenos como la radiación del cuerpo negro y la expansión del universo que Hubble plantea desde su ley de desplazamiento hacia el rojo, las cuales no solo no requieren de complejos modelos matemáticos para su comprensión, sino que también son replicables a través de la actividad experimental y explicables por medio de representaciones mentales.

Dicho esto, una implicación en torno al análisis histórico-crítico realizado previamente permite develar cual sería la ubicación más conveniente de estos conocimientos dentro del plan de estudios de cualquier institución que se base en los estándares básicos de competencia o en los deberes básicos de aprendizaje. Tomando en cuenta los estándares de competencia de ciencias naturales lo más provechoso sería, para el caso específico de la introducción del desplazamiento al rojo y sus diferentes interpretaciones, incluirlo en el transcurso del grado décimo. Esto se debe a que, al finalizar el ciclo anterior, es decir, octavo-noveno, ya se tiene planteado el objetivo de que el estudiante consolide sus capacidades en “establecer relaciones entre frecuencia, amplitud, velocidad de propagación y longitud de onda” como un acercamiento hacia las características de las ondas.

Otro conocimiento también planteado para este ciclo es, “reconocer y diferenciar modelos para explicar la naturaleza y el comportamiento de la luz”; el cual permite al estudiante entender sobre el espectro electromagnético y desde allí cómo “los colores” o “luces” que se emiten desde un objeto son características que revelan datos más complejos, como lo son sus posiciones en un momento determinado, las velocidades a las que este se desplaza y la dirección hacia donde lo hace. Aunque a lo largo del trabajo se ha hecho explícita la intención de darle un valor al carácter cualitativo de la física moderna, es innegable que a partir de los ejercicios matemáticos los estudiantes afianzan su capacidad de manejar los conocimientos

explicados; y calcular las posiciones de un objeto en un momento determinado, su velocidad de desplazamiento y su dirección como ejemplos de estrategias que permiten en las aulas de ciencia aproximarse a una física moderna acorde a los conocimientos disponibles.

De lo anterior se entiende que para la comprensión de ciertos fenómenos que son catalogados actualmente como parte de la física moderna no es estrictamente necesario poseer una formación en ciencias de nivel universitario, dado que las discusiones sobre la ley de desplazamiento hacia el rojo que posteriormente derivaría en una controversia tan importante como lo es la expansión del universo, requirieron en mayor medida conocimiento sobre las ondas.

El conocimiento de las ondas no solo es fundamental en términos de servir de espacio para que los estudiantes de bachillerato asimilen la introducción de temas de física moderna, también permite

La segunda implicación hace referencia a las posibilidades de vincular conceptos con áreas diferentes a la Física. Dados los aspectos que se han resaltado en el análisis histórico, las áreas más notables serían Filosofía y Matemáticas.

Las visiones de universo mencionadas en el análisis histórico-crítico poseen una característica en común y es que cada una generaba una nueva representación del mundo físico ampliamente distante del sentido común y de las representaciones imperantes de la sociedad en la que surgían y eran difundidas, pero es en las teorías modernas (Hubble) donde el ser humano inicia una reflexión más compleja e inicia a ser consciente que su conocimiento sobre la realidad no es más que un fragmento.

Ante esta situación, es necesaria la inclusión de una filosofía razonable y carente de prejuicios que advierta al ser humano que un nuevo paradigma físico significa un nuevo sentido de realidad. Es tarea de la filosofía desglosar los componentes, las dinámicas y consecuencias de este sentido de realidad. En el ámbito escolar y en relación a la inclusión de la física moderna, la filosofía debe convertirse en una actividad reflexiva que dote al alumno de las herramientas para comprender sus propios parámetros y marcos de referencia que puede llegar a cambiar este nuevo sentido de la realidad.

Tanto la historia de la astronomía y los cambios acerca de la percepción del universo, como episodios puntuales de dicha historia conservan una gran relación con la forma en la que el ser humano reflexiona sobre sí mismo y sobre su lugar en el universo. La enseñanza de la filosofía caracterizada por Moriyón (2018) está guiada a reflexionar sobre temas de alto nivel de abstracción y generalidad sobre la verdad, la realidad y el ser humano; la enseñanza de la ley de Hubble y la noción de un universo en expansión, ya sea contrastándose con la evolución de la idea de universo a través de la historia o en contraste con las ideas alternativas de los estudiantes; puede funcionar como escenario para plantearse discusiones o actividades propias del enseñar filosófico que se relacionen con la controversia entre el creacionismo y el evolucionismo.

La física moderna, como disciplina que se extiende para tratar fenómenos fuera de las regiones accesibles desde el punto de vista experimental, se vuelve más especulativa y, por lo tanto, más dependiente de supuestos previos que a menudo son de carácter filosófico.

Las matemáticas también se visualizan como un fuerte campo de aplicación para la ley de Hubble. Las observaciones y registro de resultados le permitieron a Hubble formular el movimiento de las galaxias en periodos de tiempo concretos a través de expresiones numéricas, sin embargo, dentro del análisis histórico se hace mención a que gran parte del trabajo de Hubble planteaba más que nada relaciones entre variables sobre un fenómeno y como desde la modificación de dichas variables se pueden enunciar postulados que caractericen el fenómeno. Lo ideal sería suministrarles información a los estudiantes acerca de las nebulosas que se encuentran en la región observable, similar a los datos con los que contaba Hubble; y a través de actividades que planteen situaciones donde dichos datos se ven alterados, guiar a los estudiantes a elaborar conclusiones.

La introducción de la ley de Hubble en este campo se hace en especial importante porque, uno de los objetivos primordiales del trabajo es valorar el carácter cualitativo de la física moderna y allí podemos encontrar una nueva implicación de la que se pueden extraer dos nuevos aportes a la enseñanza de las ciencias.

El primero es, que, al igual que en las primeras lecciones sobre la velocidad se realizan ejercicios para calcular la posición a la que puede estar un objeto con X rapidez y un espacio de recorrido de Y metros; también se podrían pensar ejercicios en los que se les dé a los

estudiantes datos de estrellas alejándose a velocidades específicas, a partir de lo cual podrían deducirse las distancias a las cuales éstas se encuentran respecto a la Tierra y a la vez realizar acercamientos a la idea de que en algún punto éstas estuvieron a menores distancias de la Tierra.

El segundo aporte, el cual resulta en una continuación de la idea anterior, es la de crear representaciones de la situación a la que se refería Hubble sobre el universo expandiéndose en la cual podrían usarse esferas de papel pegadas en el interior de un globo inflándose. Las esferas de papel serían como las nebulosas y estrellas que se alejan unas de otras. Dicha actividad podría complementarse con una discusión cuyo objetivo sería resaltar la dificultad que surge para señalar el centro del sistema estando ubicados los estudiantes en una de esas partículas.

Se sugiere también abordar parte de la ley de Hubble desde las disciplinas artísticas, específicamente para la introducción del concepto de nebulosas y la imagen de espectro electromagnético. Las nebulosas son un concepto importante en el desarrollo de la ley de Hubble y cualquier ejercicio pedagógico que incluya dicha ley debe también incluir como una herramienta la caracterización de las nebulosas para que los estudiantes conozcan en todo momento el objeto que está permitiendo la obtención de información. Como forma para afianzar dichos conceptos en el alumnado es solicitarles realizar dibujos de estas donde se identifiquen el tipo de nebulosa y su componente. De igual manera para el espectro electromagnético se deben plantear en un diagrama las escalas el tipo de longitud de onda al que corresponden los colores.

Puede tomarse como una nueva implicación, la necesidad de que en las clases de Física de todos los grados se inicien procesos donde se amplíen los ejercicios de medición, tanto de la velocidad, la distancia, la masa y la energía; en dos sentidos.

El primero hace referencia a que se trabaje gradualmente con magnitudes físicas más amplias, es decir, que, en el caso de la velocidad, los ejercicios no se limiten a situaciones relacionadas al movimiento de personas, autos y/o aviones. Aunque en el presente trabajo se ha hecho un mayor énfasis a entes de inmensas proporciones, desde planetas a nebulosas, la física moderna también discute sobre las dinámicas y características de entes de tamaños despreciables o macroscópicos como es el mundo subatómico. Al ser objetos de tamaños

inmensamente diferentes a los que se suelen tratar en el aula de ciencias tradicional es necesario transformar la noción de medición en los estudiantes.

Medir la longitud de un objeto con una regla, lo cual es un ejercicio recurrente en las clases de física, aparentemente no ocasiona ninguna perturbación al objeto que se mida.

Algo muy diferente ocurre si tratamos de medir la posición de un electrón. Para localizarlo se le arroja luz y como esta se comporta como partícula, al chocar los fotones con el electrón perturban su estado de manera perceptible, transfiriéndole una cantidad de movimiento apreciable. Es evidente entonces que en las escalas de física moderna el proceso de medir puede cambiar la realidad, entendida ésta como el estado del sistema sin observar.

Esta idea es importante porque, una vez usado la ley de Hubble como punto de partida en procesos de formación de física moderna, eventualmente los estudiantes confrontaran al comportamiento dualista y selectivo de los fotones. Cuando se experimenta con fotones, estos se manifiestan como una onda cuando se ha decidido observar un comportamiento ondulatorio y se manifiestan como partícula cuando se ha decidido observar un comportamiento corpuscular. Dicha experiencia será relevante una vez se introduzca al estudiante a la mecánica cuántica y se debata sobre la influencia del observador o medidor.

En reiteradas ocasiones esto fue puesto a experimentación, retrasando al máximo posible la elección de lo que será medido en el fotón haciendo uso de un interferómetro que les daba a los investigadores la posibilidad de elegir de forma aleatoria si buscarían un comportamiento corpuscular u ondulatorio, no obstante, el fotón aparentemente se comportaba como si ya lo supiera. Por lo tanto, la respuesta aparente a este fenómeno se inclinaba a que alguna fuente concebible estaba informando secretamente al fotón, lo que sería inconcebible porque para lograr esto dicha fuente debería poder viajar más rápido que la velocidad de la luz.

El segundo está relacionado con acostumbrar a los estudiantes a medidas en escalas tan inmensas. Al existir en libros de texto, revistas y conferencias que hacen mención de términos tan alejados de su lenguaje común es muy probable que se susciten reacciones de rechazo y se disminuya su interés sobre este tema. Con el fin de entender la importancia de que se investiguen fenómenos como los que estudio Hubble es necesario que los estudiantes sean

capaces de familiarizarse con la terminología más recurrente de las publicaciones de física moderna, como lo es el caso de la velocidad de la luz.

Lo planteado anteriormente se menciona tomando en cuenta la crítica hecha por Heisenberg (1959) hacia el lenguaje incorrecto que era utilizado para hablar de la nueva situación de la física que tuvo como producto toda clase de confusiones. Lo interesante del texto de Heisenberg es que el progreso en el campo de la física aporta a la sociedad nuevas perspectivas sobre la naturaleza que no pueden ser descritos con los términos de los conceptos comunes, y ha sido a partir de esta reflexión que existen publicaciones como las de Stephen Hawking que buscan acercar a las poblaciones más jóvenes y más aisladas de la discusión científica a interesarse por las nuevas realidades.

En el campo de la formación docente también tiene implicaciones este trabajo ya que muestra como en los cursos relacionados a la planeación curricular podría abordarse la historia de las ciencias, ya que desde el conocimiento de cómo se desarrolla una teoría y los elementos que rodean la génesis de un concepto pueden ejecutarse intervenciones dentro de los planes de estudios. También es importante que en los cursos que se centran en el fortalecimiento de los conocimientos matemáticos se les de relevancia a la reflexión cualitativa y al diseño de actividades en los que se evidencia equidad entre el análisis de problemas y la resolución de los mismos. Así mismo deben fomentarse, a lo largo del currículo universitario, alternativas que incluyan ciclos de lectura de libros y revistas sobre la física moderna y la ciencia contemporánea en general.

No obstante, los fenómenos solo pueden encerrar unos cuantos conceptos simples, y de estos conceptos se derivan una infinidad de fenómenos posibles, incluso si estos son interpretables desde un carácter cualitativo poseen una completa precisión con respecto a los detalles, los cuales no podrían ser transmitidos a través de conceptos del lenguaje ordinario, imprecisos y solo vagamente definidos. Por consiguiente, es necesario acercar a los estudiantes a adoptar un lenguaje más amplio respecto a hechos, medidas, instrumentos y símbolos propios de la física moderna, porque aun cuando la literatura actual de esta nueva rama de la física es elaborada tomando en cuenta la necesidad de tener un lenguaje más habitual y familiar para la población no científica, existen aspectos puntuales que no pueden ser simplificados con el fin de mantener la rigurosidad del tema.

VI. CONCLUSIONES

De todo el trabajo investigativo se rescatan varios aspectos que llevan a reflexionar sobre la comprensión de un tema que ha estado presente desde las civilizaciones más antiguas pero que tiene sus propias discusiones dentro la física moderna, y sobre las particularidades de la investigación histórica.

De acuerdo al objetivo II planteado al inicio de este trabajo, se presentan las implicaciones sociales que rodean a la construcción de un concepto de física moderna, en este caso, la naturaleza del universo.

El concepto de naturaleza del universo resulta más complejo de lo que parece a primera vista, incluso antes de la época de Aristóteles las discusiones sobre cómo era el mundo que nos rodea no se veía influenciado solamente por las observaciones que se hacían. La visión sobre la vida y la muerte, la existencia de dioses relacionados con elementos naturales y la instauración de diferentes poderes políticos tuvo una gran influencia en si se aceptaban o no teorías sobre la forma de la Tierra y su movimiento respecto a los demás astros que eran visibles, y que tanto podría expandirse dicha teoría.

De esta idea y del trabajo en general se generan aportes a los futuros docentes de física en la búsqueda de crear tanto en sí mismos como en sus estudiantes la idea de que la construcción de conceptos o teorías físicas están permeadas permanentemente por elementos que no son necesariamente sacados del clásico laboratorio de ciencias. Dando así, pie, no solo a generar mayores escenarios desde los que se puede discutir una teoría sino también construir estrategias más diversas mediante las que se puede llevar el conocimiento a las poblaciones.

Los primeros acercamientos a la construcción de una teoría sobre la naturaleza del universo están influenciados por creencias populares. Vincular este hecho a la enseñanza de las ciencias puede ser provechoso en el sentido de trabajar la clásica frontera que existe entre la ciencia y la religión. La sociedad colombiana puede caracterizarse como creyente religiosa Beltrán (2012) y basados en la literatura bíblica los estudiantes sostienen una postura en la cual, la realidad es tanto material como espiritual, pero si bien la ciencia puede conocer el mundo, en última instancia sus postulados tienen que contrastarse con las fuentes de

conocimiento revelado que son las escrituras sagradas. En el caso de que los postulados de la ciencia contradigan lo plasmado en las escrituras, dichos postulados serán considerados falsos y rechazados.

Este obstáculo invita a la integración. Una lectura crítica alrededor de cómo los primeros razonamientos que hizo el hombre acerca de cómo estaba constituido y funcionaba su mundo, serviría para crear en los estudiantes una perspectiva donde sea posible una relación entre la ciencia y la religión que integre sus contenidos traspasando sus límites. No se trata de crear una transformación en los estudiantes sino integrar ciertos aspectos de la ciencia en las reflexiones religiosas.

Una vez consolidada la integración, es posible pasar a escenarios de construcción del conocimiento que se apoyen de elementos cualitativos de las diferentes teorías desarrolladas a lo largo del trabajo. Las ideas de Aristóteles se pueden discutir recreando las dos situaciones que planteaba para probar su teoría de la tierra redonda. El postulado de Ptolomeo, más allá de su relevancia en el plano matemático, es interesante porque a partir de este se puede reflexionar como intereses particulares influyen en que el ser humano conozca o no sobre una teoría. Desde las ideas de Copérnico hasta Hubble son recreables y analizables a partir de la actividad experimental sin necesitar de cálculos matemáticos.

Además de las dinámicas de las civilizaciones antiguas, en épocas más actuales también se presentan situaciones similares en las que las discusiones en torno al conocimiento científico se han visto afectadas por las dimensiones más humanas de sus respectivos ponentes, como lo es la barrera mental que formaron los físicos newtonianos frente a la emergencia de un nuevo paradigma físico, el cual también fue discutido en el desarrollo de este trabajo y ha sido mencionado por autores como Moreira (2004) como uno de los recursos más provechosos para entablar diálogos sobre la imagen de la ciencia dentro del aula, por eso, una conclusión de este trabajo es que, más allá de la utilidad que representa el concepto de naturaleza del universo para apoyar la transición tanto de estudiantes como docentes de la física tradicional a la física contemporánea, también permite a estos acceder a un escenario en el cual reflexionar que elementos intervienen en la formulación y revalidación de teorías científicas y entender el quehacer científico como una actividad más amplia y menos sesgada

a la clásica práctica de laboratorio, que a la vez permite adoptar posturas más críticas frente a otras disciplinas científicas como la química y la biología.

Otra implicación social es aquella que ya evidenciaba Jones (1987) acerca de cómo las creencias populares y los dogmas religiosos intervienen en las formas de interpretar los fenómenos y aceptar nueva información. Las prácticas ancestrales de los griegos para sepultar a los muertos provocó que en su imaginario se creara un paralelo entre la estructura del mundo y la estructura de la tinaja, el recipiente donde disponían a los cadáveres. El mito de la creación y la propagación del dogma cristiano generó una resistencia mental entre las masas a creer en los argumentos de Aristóteles sobre una tierra redonda y en la existencia de tierras del otro lado del mundo y todavía más en seres humanos que habitarán allá, relegando la atención a teorías como la de Ptolomeo, que, aunque compartía ciertas similitudes con la de Aristóteles resultó siendo más aceptada precisamente por complementarse más con las divulgaciones de la iglesia. Hoy en día, según Jones (1987) aún existe una gran influencia del mito y la religión en la forma de interpretar fenómenos naturales.

De estas implicaciones podemos concluir que, en la enseñanza de las ciencias se debe tener presente que los individuos pueden estar siendo participes del proceso de aprendizaje y a la vez estar generando una resistencia hacia ciertos conocimientos que no son compatibles con los mitos y creencias que han estado alrededor de estos por lo que es necesario, en primera medida estar dispuesto a mediar frente a las creencias individuales y buscar estrategias para crear conciliaciones entre el conocimiento científico que se está impartiendo y el conocimiento particular que tiene la persona y evitar así que se produzcan sensaciones negativas tanto hacia el proceso de enseñanza como a la disciplina; en segunda medida innovar en mecanismos de seguimiento para identificar en los individuos cuando se estén generando este tipo de resistencias con el fin de encontrar soluciones satisfactorias en el menor tiempo posible.

Una tercera implicación es la personal. A través de la evolución del concepto de la naturaleza del universo se encontraron diferentes momentos de transición, pero seguramente las más llamativas de todas es el paso del universo de Ptolomeo al universo de Copérnico y la del universo de Newton al universo de Hubble porque es en ellas donde existió más resistencia al cambio. En la primera había argumentos para la transformación, pero la ambición por

dominar “la verdad” de parte de la iglesia implicó que se dieran escenarios oscuros de persecución y silenciamiento de pensadores alternativos, no existe el cambio si nadie conoce al ponente de este o ni siquiera llega este a existir. En la segunda existe un gran cambio dado que la confrontación entre el paradigma instalado y el paradigma emergente se remite a la discusión académica.

El progreso de la moral y el respeto a la libertad de pensamiento también están vinculados al quehacer científico y a la construcción de teorías, y eso es algo que está íntimamente relacionado con como el individuo que propone, que es ponente de algún postulado en particular es capaz de dialogar pacíficamente con alguien con ideas directamente contrarias a las suyas y desde ese debate producir ideas más completas. A partir de lo anterior, se concluye que, así como la actividad científica se ve afectada en su productividad por la capacidad de sus gestores de adoptar posturas dialógicas, dando argumentos basados en pretensiones de validez y no de poder; el docente debe planear un ambiente de aula en el que los estudiantes argumenten sobre temas de ciencia con el fin de que la participación y la crítica permitan acercarlos a una mejor comprensión de las teorías y los fenómenos. La idea de comparar estas dos transiciones entre paradigmas también puede ser útil para mostrar a los estudiantes la importancia de dar a entender las ideas sin esperar llegar a imponerlas y al mismo tiempo de respetar los comentarios de los demás, aún si estos son diferentes a los de uno mismo.

De acuerdo al objetivo III se esbozaron algunos aportes para la enseñanza de las ciencias desde el análisis histórico-crítico.

Uno de estos aportes es dirigido a los docentes en formación, y está relacionado con el valor que puede significar ampliar la terminología y el uso de escalas más amplias en el aula de ciencias, esto no solo se relaciona a la enseñanza de la física, en la química también supone una gran ventaja que los estudiantes no sientan reacciones desfavorables frente a un fenómeno a causa de que en la explicación de estos se usen valores muy diferentes a los que estos estén acostumbrados a utilizar.

Otro aporte es el de relacionar la enseñanza de la física con la filosofía. La física moderna discute sobre fenómenos y situaciones que plantean una realidad diferente que el hombre

debe observar, este cambio en la forma de abstracción a través de los métodos que tiene la filosofía se vuelven más comprensibles para los individuos.

La filosofía como ejercicio de pensamiento, se interesa en cómo son construidas las teorías y que elementos intervienen en su reflexión. Dado que la ciencia escoge los datos que analiza en función de razones no experimentales sino por procesos de racionalidad previa, la filosofía estudia porque surgen unos determinados procesos en vez de otros, es decir, busca un esquema que explica qué principios tanto del autor como de la sociedad fundan una teoría. La filosofía en el campo de la educación en ciencias permitiría a los estudiantes realizar análisis más profundos sobre cómo se construye el conocimiento.

Otro de los aportes está relacionado con el uso de la historia de las ciencias, la cual demuestra no solo tener un gran valor dentro del diseño de planes curriculares pues permite entender a partir de los conceptos que trabaja una teoría cual sería el periodo escolar en el que debe ser incluida. Sino que también permite obtener elementos más humanos y más cercanos a los estudiantes de una teoría por más compleja que parezca, reconociendo así que existen más estrategias para la enseñanza de las ciencias que las ya referenciadas durante décadas por la educación tradicional.

En el universo pre-aristotélico el límite entre las creencias y la representación de la realidad eran casi inexistentes, en el universo aristotélico el pensamiento sobre una tierra redonda origino una reflexión sobre qué es lo que determina a un individuo como ser humano, en los universos ptolemaico y copernicano se hizo evidente que según si una teoría o postulado afirma o contradice el pensamiento de alguna comunidad este tendrá una mayor o menor divulgación. En la transición entre el universo de Newton y el de Hubble se vio como la permanencia de una teoría y su arraigo por largos periodos de tiempo tienen una fuerte relación, relegando a menor medida el sustento de los argumentos.

Otro aporte que trata de esbozar el trabajo es que las temáticas de física moderna no son tan complejas ni se alejan tanto de nuestra realidad como parece indicar la literatura. La naturaleza del universo no solo es una cuestión ya planteada desde hace milenios, sino que su construcción y evolución no solo ha dependido del razonamiento matemático. Sus ponentes han sido personas normales sumergidas en un entorno dinámico y social, y este mismo ha tenido un efecto palpable sobre las teorías que han creado. El estudio de la

naturaleza del universo es además un tema de vital importancia de cara a cuestiones tan eternas como el origen de todo lo que rodea al ser humano y el futuro de este.

El desarrollo de este trabajo, fue valioso para su autor al permitirle reconocer a la física moderna y a la historia de las ciencias como disciplinas valiosas en el campo de la enseñanza, sino también ha logrado fomentar en él mismo el interés por ampliar sus conocimientos y obtener nuevas experiencias académicas que den pie a continuar en la construcción de más y mejores producciones textuales alrededor de la ya planteada. También, porque es producto de una actividad de retroalimentación de diversos conocimientos relacionados a la formación de docentes en ciencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Abadía, O. (2005). La nueva historia de la ciencia y la sociología del conocimiento científico: un ensayo historiográfico. *Asclepio* 57(2), 255-280.
- Acevedo, J. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores deficiencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme y Didaxis*, 24.
- Álvarez, L., Quintanilla, M., Pérez, U., & Solsona, N. (2005). Educar en los derechos humanos a través de la historia de la ciencia: una experiencia de innovación en la enseñanza secundaria. *Sin ciencia no hay cultura*. Galicia, España.
- Ariza, H. (2017). Ordenador cuántico. Arquitectura e información. *Universidad Industrial de Santander*, 2.
- Arons, A. (1990). A guide to introductory physics teaching. *American Journal of Physics*, 189-190.
- Arriasecq, I. (2002). Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. *Ciencia & Educación*, v.8, n°1, 55-69.
- Ayala, M. (2016). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-PosiÁies*, 17(1), 19-37.
- Barceló, M. (1998). Ciencia, divulgación científica y ciencia ficción. *Quark* (1), 45.
- Barona, J. (1994). *Ciencia e historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia*. Valencia: Guada.
- Barrena, S. (2014). El pragmatismo. *Factótum* 12, 1-18.
- Beltrán, W. (2012). Descripción cuantitativa de la pluralización religiosa en Colombia. *Universitas humanística* 73.
- Bernal, R. (2008). Reproducible fabrication of scanning tunneling microscope tips. *Revista de Ingeniería* (27), 43-48.
- Bourdieu, P. & Gros, F. (1990). Principios para una reflexión sobre los contenidos de enseñanza. *Revista de educación N°292*, 1-7.

- Brush, S. (1991). Historia de la ciencia y enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje & Educación*, 169-180.
- Cabrera, H. (2017). *Elementos históricos epistemológicos desde Kuhn que permiten la identificación de aportes para la enseñanza de la combustión*. Cali: Universidad del Valle.
- Caldas, D. (2008). *El relativismo en la obra de Thomas Kuhn*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Camacho, H., Casilla, D., & de Franco, M. (2008). La indagación: una estrategia innovadora para el aprendizaje de procesos investigación. *Laurus*, vol. 14, núm. 26, 284-306.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad. *Eureka*, 183-208.
- Cassini, A., & Levinas, L. (2005). La reinterpretación radical del experimento de Michelson-Morley por la relatividad especial. *scientiæ zudia*, 547-581.
- Cassini, A., & Levinas, L. (2007). La hipótesis del cuanto de luz y la relatividad especial ¿Por qué Einstein no las relaciono en 1905? *scientiæ zudia*, 425-452.
- Chaleal, A. (2016). *Análisis histórico crítico y la actividad experimental: Construyendo el fenómeno de flotación*. Bogota: Universidad Pedagógica Nacional.
- Champagne, A. (1984). Children's Ethno-Science: An Instructional. Perspective. *Interamerican Seminar on Science Education*,. NSTA, NSF, OAS.
- Chapa, P. & Martínez, T. (2016). La importancia de la actualización de conocimientos como parte de la formación del docente universitario. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*.
- Concepción, L. (2001). Estudio de la grasa abdominal mediante resonancia magnética: comparación con parámetros antropométricos y de riesgo cardiovascular. *Medicina clínica* 117.10, 366-369.
- Curtis, H. (2006). Invitación a la biología. En H. Curtis, *Invitación a la biología* (pág. 7). Buenos Aires: Panamericana.
- Darrigol, O. (2005). The Genesis of the Theory of Relativity. (pág. 1). Paris: S'éminaire Poincaré 1.
- Doménech, A. (1992). El concepto de masa en la física clásica: aspectos históricos y didácticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 223-228.
- Duby, G. (1994). Escribir la historia. *Reflexiones*, 25(1), 1.
- Duch, L. (1974). *Duch, L. (1974). Ciencia de la religión y mito: estudios sobre la interpretación del mito (Vol. 22)*. L'Abadia de Montserrat.

- Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología de la ciencia: la filosofía de la ciencia en el siglo XX*.
- Einstein, A. (2002). *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Madrid: Ediciones Altaya, S.A.
- Esteban, E. (2009). El globo terráqueo paralelo: una bola mágica para enseñar astronomía. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 15(61), 18-26.
- Feyerabend, P. (1975). Como defender a la sociedad contra la ciencia. *Introductory readings in the philosophy of science*, 1998, 54-65.
- Feynman, R. (1985). *The Strange theory of light and matter*. Princeton University Press.
- Feynman, R. (01 de Enero de 2018). *Libros maravillosos*. Obtenido de Libros maravillosos: <http://www.librosmaravillosos.com/electrodinamicacuantica/pdf/Electrodinamica%20Cuantica%20-%20Richard%20P.%20Feynman.pdf>
- Fischler, H. & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International journal of science education*, 14(2), 181-190.
- Follari, R. (2000). Epistemología y sociedad: acerca del debate contemporáneo. *Homo Sapiens*.
- Furió-Gómez, C., Solbes, J. & Furió-Mas, C. (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 4, núm. 3, 461-475.
- Gagliardi, R. (1988). Como utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias* 6 (3), 291-296.
- Garavito, J. (1920). Ensayo biográfico y literario. *Anales de Ingeniería* 27, 362-420.
- García, E. (2014). Análisis histórico-crítico del fenómeno eléctrico. Hacia una visión de campo. *Física y Cultura: Cuadernos sobre Historia y enseñanza de las ciencias*, 1(8).
- García, A. (2009). Investigación en didáctica de la Física: tendencias actuales e incidencia en la formación del profesorado. *Latin-American Journal of Physics Education*, 369-375.
- García, E. (2011). Modelos de explicación, basados en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, 89-96.
- García, E. & Cabrera, H. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro*, v. 7, n. 2., 298-313.
- Garrido, J. (1997). La educación comparada en una sociedad global. *Revista española de educación comparada* 3, 61-81.

- Giere, R. (1988). *Explaining Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gil, D. & Senent, F. (1986). Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol 2, N°1, 16-19.
- Gil, D., Senent, F. & Solbes, J. (1989). La Física moderna en la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados vol.3, num. 1. *Revista Española de Física*, 53-58.
- Godoy, O. (2015). La didáctica de las ciencias y su relación con la historia y la filosofía de la ciencia. *Educación en ciencias: experiencias investigativas en el contexto de la didáctica, la historia, la filosofía y la cultura*, 15-34.
- Gómez, G., Flores, J., & Jimenez, E. (1996). Metodología de la investigación cualitativa. *Ediciones Aljibe*.
- González, W. (1990). Progreso científico, autonomía de la Ciencia y realismo. *Arbor*, 135 (532), 91.
- González, O. (2000). La tecnociencia: un laberinto para el mundo contemporáneo. *Daimon: Revista de filosofía*, (20), 159-166.
- Granek, G. (2001). Poincaré's Aether. Why did Poincaré retain the Aether? *Apeiron*, Vol.8, No.1.
- Groening, M. (Dirección). (1999). *Futurama* [Película].
- Guillaumin, G. (2009). El relativismo epistemológico visto a través de la teoría del cambio científico de Thomas Kuhn. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 30 (120), 139-164.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hacking, I. & Domínguez, S. (1996). *Representar e intervenir*. Paidós.
- Hanson, N. (1958). La lógica del descubrimiento. *The Journal of Philosophy*, 55(25), 1073-1089.
- Harada, E. (2006). Observación, teorías y valores a la luz de la filosofía de Popper. *Ciencia Ergo Sum*, 13(2).
- Hawking, S. (1988). *Breve historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros*. Bantam Books.
- Heisenberg, W. (1955). *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Hamburgo: Rowohlt Verlag.
- Heisenberg, W. (1959). *Física y filosofía*. New York: World Perspectives.
- Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 25-57.

- Huang, K. (2007). *Fundamental Forces of Nature. The Story of Gauge Fields*. Massachusetts: World Scientific.
- Hubble, E. (1943). Problem of the Expanding Universe. *The Scientific Monthly*, Vol. 56 (1), 15-30.
- Huxley, J. (1942). *Evolución: la síntesis moderna*. London: Allen and Unwin.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. J. Perales Palacios, & P. Cañal de León, *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias* (págs. 35-64). Madrid: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya*, 11-34.
- Izquierdo-Aymerich, M., García, A., Quintanilla, M., & Adúriz Bravo, A. (2016). *Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogota: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Johnston, I., Crawford, K. & Fletcher, P. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-446.
- Jones, B. (1987). Concepciones de los niños sobre la Tierra, el Sol y la Luna. *International Journal of Science Education*, 9 (1), 43-54.
- Klein, G. (04 de Noviembre de 2018). ANEP. Obtenido de ANEP: http://www.anep.edu.uy/ipa-fisica/document/material/cuarto/2008/didac_3/did_fis.pdf
- Kober, E. (2017). *A Science Contested: American Military Science and the Efficacy of Instruction for the Future*. Nueva York: United States Military Academy.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1991). The road science structure. En *In Science and the quest for reality* (págs. 231-245). London: Palgrave Macmillan.
- Lakatos, I. (1982). *Philosophical Papers. Volume I: The Methodology of Scientific Research Programmes; Volume II: Mathematics, Science and Epistemology*.
- Le Goff, J. & Vasallo, M. (1995). *Pensar la historia*. Altaya.
- Lind, G. (1980). Models in physics: Some pedagogical reflections based on the history of science. *European Journal of Science Education*, 2(1), 15-23.
- Lucero, I., Concari, S. & Pozzo, R. (2006). El análisis cualitativo en la resolución de problemas de física y su influencia en el aprendizaje significativo. *Investigações em Ensino de Ciências – VII(1)*, 86.

- Martínez, Á. (2014). Capítulo 5: Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción del conocimiento científico escolar. En *Historia y Filosofía de la Ciencia* (págs. 99-127). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Martínez, D. (1923). Alcances de la teoría de Einstein. *Anales de Ingeniería* 31, 21.
- Martinez, R. (2006). Einstein y su recepción en Colombia. *Praxis Filosófica*, 29-112.
- Mendelsohn, E. (1976). Values and science: A critical reassessment. *The Science Teacher*, 20-23.
- Merrian, S. (1998). Qualitative research and case study applications in education. *Jossey-Bass*, 179.
- Millar, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 33-62.
- Miramontes, O. & Volke, K. (2013). *Fronteras de la Física en el siglo XXI*. México, DF: CopIt-arXives.
- Mónica, M. & Farias, L. (2013). El paradigma positivista en la educación y su crisis necesaria para un mundo heterogeneo. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, (34).
- Montero, I. & León, O. (2002). *Métodos de investigación en Psicología y Educación*. Madrid: McGraw-Hill.
- Morcillo, C. (2016). *La experimentación en la enseñanza de las ciencias para docentes en formación inicial: un caso en microbiología. Una mirada desde la historia de las ciencias*. Cali: Universidad del Valle.
- Moreira, M. (2001). O uso da análise multidimensional na pesquisa em ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 1, no 3.
- Moreira, M. (2004). Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos. *Instituto de Física da UFRGS*, 27.
- Moreira, M. & Greca, I. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teorías del aprendizaje significativo. *Ciencia & Educacao. Bauru. Vol. 9, n.2*, 301-315.
- Moriyón, F. (29 de 01 de 2018). *The Padeia Project*. Obtenido de The Padeia Project: <https://www.bu.edu/wcp/Papers/Chil/ChilMori.htm>
- Morones, J. (2013). *Una aventura hacia el espacio exterior*. Dirección de publicaciones de la UANL.
- Moulines, C. (1979). *La génesis del positivismo en su contexto científico*. . Barcelona: Cátedra de Geografía Humana, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona.
- Nolan, C. (Dirección). (2014). *Interstellar* [Película].

- Nussbaum, J. (1979). Concepciones de los niños de la Tierra como un cuerpo cosmico: Un estudio a través de la edad. *Science Education*, 63 (1), 83-93.
- Oliva, J. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-197.
- Olivé, L. (2000). El bien, el mal y la razón: facetas de la ciencia y de la tecnología. *Paidós*.
- Oñorbe, A. (1996). Avance de la ciencia en el curriculum. *Alambique*, 7-9.
- Ostermann, F. & Moreira, M. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 391-392.
- Pereyra, C. (1980). *Historia, para qué?* Siglo XXI.
- Pérez, A. (1999). Kuhn y "la naturalización" de la filosofía de la ciencia. *Ciencias* (53).
- Pérez, G. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias I* (1), 26-33.
- Phillips, P. (2004). *¿ Son los días del Génesis de más de 24 horas? La Biblia dice que " SÍ"*. Wenham, Massachusetts: Gordon College.
- Pickering, A. (1995). The mangle of practice. Time, agency and science. *The University of Chicago Press*.
- Pineau, P. (2001). *¿ Por qué triunfó la escuela? O la modernidad dijo: "Esto es educación", y la escuela respondió: "Yo me ocupo" La escuela como máquina de educar. Tres escritos sobre un proyecto de la modernidad*. Buenos Aires: Paidós.
- Polo, M. (2016). *Libro de las maravillas del mundo*. Ediciones Cátedra.
- Popper, K. (1958). *The Logic of Scientific Discovery*.
- Putnam, H. (1981). *Reason, truth and history, Vol.3*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Putnam, H. (1992.). *Realism with a human face*. Harvard University Press.
- Quintanilla, M. (2006). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista-prágmatica de la enseñanza de las ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, vol. XVIII, núm. 45, 9-23.
- Quintanilla, M., Solar, H. & Vidal, R. (2007). Algunas Reflexiones Para Considerar La Historia De La Ciencia En La Formacion Inicial Y Continua Del Profesorado De Matematica. En M. Quintanilla, *Historía de la ciencia. Aportes para la formación del profesorado* (págs. 121-142). Chile: Arrayan Editores.
- Rairán, D. (1999). Levitación magnética el sistema de transporte del futuro. *Revista Tecnura*, 3(5), 4-10.

- Reichenbach, H. (1973). *The rise of scientific philosophy*. Univ of California Press.
- Restrepo, F. (2007). La ciudad, los estudiantes y la astronomía. *Magazín Aula Urbana*, (66), 8-9.
- Rodríguez, G. (1995). El Universo: La construcción de un conocimiento. *Quinta Conferencia Internacional de Enseñanza de Astronomía*. Barcelona: Vilanova i la Geltrú.
- Romero, G. & Poy, J. (2011). *Introducción a la astrofísica relativista*. Barcelona: Edicions Universitat Barcelona.
- Ros, R. (2009). Ros, R. M (2009). Abrir los ojos a la ciencia: una razón para enseñar astronomía. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 15(61), 9-17 .
- Rué, J. (2003). Qué enseñar y por qué. Elaboración y desarrollo de proyectos de formación. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, vol.17, 221.
- Sampieri, R. (2008). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Sánchez, E. (2017). ¿Materia y antimateria tiene las mismas interacciones? La violación de CP en el modelo estándar de relaciones fundamentales. *Jóvenes en la ciencia*, 2(1), 299-303.
- Sarmiento, J. (2015). *Diseño e implementación de una herramienta didáctica para la enseñanza de los principios de astronomía a niños mediante realidad aumentada, en la fundación colegio cristiano de Cartagena*. Cartagena.
- Schmitt, C. (1961). La tiranía de los valores. . *Revista de estudios políticos*, (115), 65-82.
- Serway, R. & Jewett, J. (2005). Efecto fotoeléctrico. En R. A. Serway, & J. W. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería (Vol. 6)* (pág. 587). Thomson.
- Shabajee, P. (2004). What happened to modern physics? *School Science Review*, 81, 53.
- Solbes, J. & Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de enseñanza de la física*, 23(1 y 2), 57-84.
- Solsona, N. (2014). Las mujeres en la historia de la ciencia. En M. Quintanilla, S. Daza, & H. Cabrera, *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (págs. 155-177).
- Stake, R. (2007). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: EDICIONES MORATA, S.L.
- Stannard, R. (1990). Modern physics for the young. *Physics Education*, 25(3), 133.
- Stannard, R. (1999). The relativity translator. *Times Educational Supplement*, 20.

- Stefanel, A. (1998). Una experiencia en el marco de la introducción de la Física cuántica en la escuela secundaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol. 11 N°2, 36-43.
- Tambutti, R. & Víctor, C. (1991). Didáctica y formación científica. Reflexiones desde la normativa crítica. *Revista Mexicana de Sociología*, 107-131.
- Tixaire, A. (2007). Einstein: Espacio-Tiempo y energía. Relato de una revolución inacabada. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 149-160.
- Toledo, B., Arriaseg, I., & Santos, G. (1997). Análisis de la transición de la física clásica a la relativista desde la perspectiva del "cambio conceptual". *Enseñanza de las ciencias*, 15(1), 79-90.
- Toulmin, S. (1953). *La filosofía de la ciencia*. London: Hutchinson.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana*. Madrid.
- Vázquez, Á., Acevedo, J., Manassero, M. & Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica* (4), 137.
- Vázquez, Á. & Manassero-Mas, M. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 9(1), 3.
- Veglia, S. (2007). Didáctica de las ciencias naturales: Una reflexión crítica del área. En S. Veglia, *Ciencias naturales y aprendizaje significativo* (pág. 19). Buenos Aires: Noveduc Libros.
- Vernant, J. (1983). Mito y pensamiento en la Grecia Antigua. *Ariel*.
- Vicario, J. & Venier, F. (2010). La enseñanza de la física moderna, en debate en latinoamerica. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 56.
- Vignolo, P. (2007). Una nación de monstruos. Occidente, los cinocéfalos y las paradojas del lenguaje. *Revista de estudios sociales* 27.
- Vilar, J. (1994). Ciencia e historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia. *Universitat de València*.
- Zapata, J. (2012). Tiempo e Incertidumbre en la Física Cuántica. *Katharsis - Institución Universitaria de Envigado*, 37-49.

ANEXOS

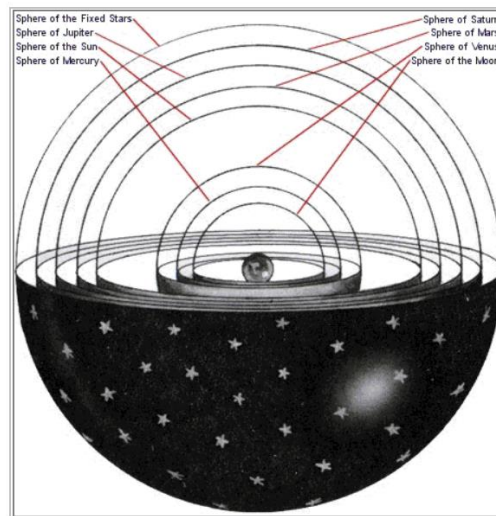
Anexo A: Breve historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros: Primer capítulo.

Un conocido científico (algunos dicen que fue Bertrand Russell) daba una vez una conferencia sobre astronomía. En ella describía cómo la Tierra giraba alrededor del Sol y cómo éste, a su vez, giraba alrededor del centro de una vasta colección de estrellas conocida como nuestra galaxia. Al final de la charla, una simpática señora ya de edad se levantó y le dijo desde el fondo de la sala: «Lo que nos ha contado usted no son más que tonterías. El mundo es en realidad una plataforma plana sustentada por el caparazón de una tortuga gigante». El científico sonrió ampliamente antes de replicarle, «¿y en qué se apoya la tortuga?». «Usted es muy inteligente, joven, muy inteligente -dijo la señora-. ¡Pero hay infinitas tortugas una debajo de otra!».

La mayor parte de la gente encontraría bastante ridícula la Imagen de nuestro universo como una torre infinita de tortugas, pero ¿en qué nos basamos para creer que lo conocemos mejor? ¿Qué sabemos acerca del universo, y cómo hemos llegado a saberlo? ¿De dónde surgió el universo, y a dónde va? ¿Tuvo el universo so un principio, y, si así fue, que sucedió con anterioridad a él? ¿Cuál es la naturaleza del tiempo? ¿Llegará éste alguna vez a un final? Avances recientes de la física, posibles en parte gracias a fantásticas nuevas tecnologías, sugieren respuestas a algunas de estas preguntas que desde hace mucho tiempo nos preocupan. Algún día estas respuestas podrán parecernos tan obvias como el que la Tierra gire alrededor del Sol, o, quizás, tan ridículas como una torre de tortugas. Sólo el tiempo (cualquiera que sea su significado) lo dirá.

Ya en el año 340 a.C. el filósofo griego Aristóteles, en su libro De los Cielos, fue capaz de establecer dos buenos argumentos para creer que la Tierra era una esfera redonda en vez de una plataforma plana. En primer lugar, se dio cuenta de que los eclipses lunares eran debidos a que la Tierra se situaba entre el Sol y la Luna. La sombra de la Tierra sobre la Luna era siempre redonda. Si la Tierra hubiera sido un disco plano, su sombra habría sido alargada y elíptica a menos que el eclipse siempre ocurriera en el momento en que el Sol estuviera directamente debajo del centro del disco. En segundo lugar, los griegos sabían, debido a sus

viajes, que la estrella Polar aparecía más baja en el cielo cuando se observaba desde el sur que cuando se hacía desde regiones más al norte. (Como la estrella Polar está sobre el polo norte, parecería estar justo encima de un observador situado en dicho polo, mientras que para alguien que mirara desde el ecuador parecería estar justo en el horizonte.) A partir de la diferencia en la posición aparente de la estrella Polar entre Egipto y Grecia, Aristóteles incluso estimó que la distancia alrededor de la Tierra era de 400.000 estadios. No se conoce con exactitud cuál era la longitud de un estadio, pero puede que fuese de unos 200 metros, lo que supondría que la estimación de Aristóteles era aproximadamente el doble de la longitud hoy en día aceptada. Los griegos tenían incluso un tercer argumento en favor de que la Tierra debía de ser redonda, ¿por qué, si no, ve uno primero las velas de un barco que se acerca en el horizonte, y sólo después se ve el casco?



Aristóteles creía que la Tierra era estacionaria y que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas se movían en órbitas circulares alrededor de ella. Creía eso porque estaba convencido, por razones místicas, de que la Tierra era el centro del universo y de que el movimiento circular era el más perfecto. Esta idea fue ampliada por Ptolomeo en el siglo ii d.C. hasta constituir un modelo cosmológico completo. La Tierra permaneció en el centro, rodeada por ocho esferas que transportaban a la Luna, el Sol, las estrellas y los cinco planetas conocidos en aquel tiempo, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (figura 1. 1). Los planetas se movían en círculos más pequeños engarzados en sus respectivas esferas para que así se pudieran explicar sus relativamente complicadas trayectorias celestes. La esfera más externa transportaba a las llamadas estrellas fijas, las cuales siempre permanecían en las mismas

posiciones relativas, las unas con respecto de las otras, girando juntas a través del cielo. Lo que había detrás de la última esfera nunca fue descrito con claridad, pero ciertamente no era parte del universo observable por el hombre.

El modelo de Ptolomeo proporcionaba un sistema razonablemente preciso para predecir las posiciones de los cuerpos celestes en el firmamento. Pero, para poder predecir dichas posiciones correctamente, Ptolomeo tenía que suponer que la Luna seguía un camino que la situaba en algunos instantes dos veces más cerca de la Tierra que en otros. ¡Y esto significaba que la Luna debería aparecer a veces con tamaño doble del que usualmente tiene! Ptolomeo reconocía esta inconsistencia, a pesar de lo cual su modelo fue amplia, aunque no universalmente, aceptado. Fue adoptado por la Iglesia cristiana como la imagen del universo que estaba de acuerdo con las Escrituras, y que, además, presentaba la gran ventaja de dejar, fuera de la esfera de las estrellas fijas, una enorme cantidad de espacio para el cielo y el infierno.

Un modelo más simple, sin embargo, fue propuesto, en 1514, por un cura polaco, Nicolás Copérnico. (Al principio, quizás por miedo a ser tildado de hereje por su propia iglesia, Copérnico hizo circular su modelo de forma anónima.) Su idea era que el Sol estaba estacionario en el centro y que la Tierra y los planetas se movían en órbitas circulares a su alrededor. Pasó casi un siglo antes de que su idea fuera tomada verdaderamente en serio. Entonces dos astrónomos, el alemán Johannes Kepler y el italiano Galileo Galilei, empezaron a apoyar públicamente la teoría copernicana, a pesar de que las órbitas que predecía no se ajustaban fielmente a las observadas. El golpe mortal a la teoría aristotélico/ptolemaica llegó en 1609. En ese año, Galileo comenzó a observar el cielo nocturno con un telescopio, que acababa de inventar. Cuando miró al planeta Júpiter, Galileo encontró que éste estaba acompañado por varios pequeños satélites o lunas que giraban a su alrededor. Esto implicaba que no todo tenía que girar directamente alrededor de la Tierra, como Aristóteles y Ptolomeo habían supuesto. (Aún era posible, desde luego, creer que las lunas de Júpiter se movían en caminos extremadamente complicados alrededor de la Tierra, aunque daban la impresión de girar en torno a Júpiter. Sin embargo, la teoría de Copérnico era mucho más simple.) Al mismo tiempo, Johannes Kepler había modificado la teoría de Copérnico, sugiriendo que los

planetas no se movían en círculos, sino en elipses (una elipse es un círculo alargado). Las predicciones se ajustaban ahora finalmente a las observaciones.

Desde el punto de vista de Kepler, las órbitas elípticas constituían meramente una hipótesis ad hoc, y, de hecho, una hipótesis bastante desagradable, ya que las elipses eran claramente menos perfectas que los círculos. Kepler, al descubrir casi por accidente que las órbitas elípticas se ajustaban bien a las observaciones, no pudo reconciliarlas con su idea de que los planetas estaban concebidos para girar alrededor del Sol atraídos por fuerzas magnéticas. Una explicación coherente sólo fue proporcionada mucho más tarde, en 1687, cuando sir Isaac Newton publicó su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, probablemente la obra más importante publicada en las ciencias físicas en todos los tiempos. En ella, Newton no sólo presentó una teoría de cómo se mueven los cuerpos en el espacio y en el tiempo, sino que también desarrolló las complicadas matemáticas necesarias para analizar esos movimientos. Además, Newton postuló una ley de la gravitación universal, de acuerdo con la cual cada cuerpo en el universo era atraído por cualquier otro cuerpo con una fuerza que era tanto mayor cuanto más masivos fueran los cuerpos y cuanto más cerca estuvieran el uno del otro. Era esta misma fuerza la que hacía que los objetos cayeran al suelo. (La historia de que Newton fue inspirado por una manzana que cayó sobre su cabeza es casi seguro apócrifa. Todo lo que Newton mismo llegó a decir fue que la idea de la gravedad le vino cuando estaba sentado «en disposición contemplativa», de la que «únicamente le distrajo la caída de una manzana».) Newton pasó luego a mostrar que, de acuerdo con su ley, la gravedad es la causa de que la Luna se mueva en una órbita elíptica alrededor de la Tierra, y de que la Tierra y los planetas sigan caminos elípticos alrededor del Sol.

El modelo copernicano se despojó de las esferas celestiales de Ptolomeo y, con ellas, de la idea de que el universo tiene una frontera natural. Ya que las «estrellas fijas» no parecían cambiar sus posiciones, aparte de una rotación a través del cielo causada por el giro de la Tierra sobre su eje, llegó a ser natural suponer que las estrellas fijas eran objetos como nuestro Sol, pero mucho más lejanos.

Newton comprendió que, de acuerdo con su teoría de la gravedad, las estrellas deberían atraerse unas a otras, de forma que no parecía posible que pudieran permanecer esencialmente en reposo. ¿No llegaría un determinado momento en el que todas ellas se

aglutinarían? En 1691, en una carta a Richard Bentley, otro destacado pensador de su época, Newton argumentaba que esto verdaderamente sucedería si sólo hubiera un número finito de estrellas distribuidas en una región finita del espacio. Pero razonaba que si, por el contrario, hubiera un número infinito de estrellas, distribuidas más o menos uniformemente sobre un espacio infinito, ello no sucedería, porque no habría ningún punto central donde aglutinarse.

Este argumento es un ejemplo del tipo de dificultad que uno puede encontrar cuando se discute acerca del infinito. En un universo infinito, cada punto puede ser considerado como el centro, ya que todo punto tiene un número infinito de estrellas a cada lado. La aproximación correcta, que sólo fue descubierta mucho más tarde, es considerar primero una situación finita, en la que las estrellas tenderían a aglutinarse, y preguntarse después cómo cambia la situación cuando uno añade más estrellas uniformemente distribuidas fuera de la región considerada. De acuerdo con la ley de Newton, las estrellas extra no producirían, en general, ningún cambio sobre las estrellas originales, que por lo tanto continuarían aglutinándose con la misma rapidez. Podemos añadir tantas estrellas como queramos, que a pesar de ello las estrellas originales seguirán juntándose indefinidamente. Esto nos asegura que es imposible tener un modelo estático e infinito del universo, en el que la gravedad sea siempre atractiva.

Un dato interesante sobre la corriente general del pensamiento anterior al siglo xx es que nadie hubiera sugerido que el universo se estuviera expandiendo o contrayendo. Era generalmente aceptado que el universo, o bien había existido por siempre en un estado inmóvil, o bien había sido creado, más o menos como lo observamos hoy, en un determinado tiempo pasado finito. En parte, esto puede deberse a la tendencia que tenemos las personas a creer en verdades eternas, tanto como al consuelo que nos proporciona la creencia de que, aunque podamos envejecer y morir, el universo permanece eterno e inmóvil.

Incluso aquellos que comprendieron que la teoría de la gravedad de Newton mostraba que el universo no podía ser estático, no pensaron en sugerir que podría estar expandiéndose. Por el contrario, intentaron modificar la teoría suponiendo que la fuerza gravitacional fuese repulsiva a distancias muy grandes. Ello no afectaba significativamente a sus predicciones sobre el movimiento de los planetas, pero permitía que una distribución infinita de estrellas pudiera permanecer en equilibrio, con las fuerzas atractivas entre estrellas cercanas

equilibradas por las fuerzas repulsivas entre estrellas lejanas. Sin embargo, hoy en día creemos que tal equilibrio sería inestable: si las estrellas en alguna región se acercaran sólo ligeramente unas a otras, las fuerzas atractivas entre ellas se harían más fuertes y dominarían sobre las fuerzas repulsivas, de forma que las estrellas, una vez que empezaran a aglutinarse, lo seguirían haciendo por siempre. Por el contrario, si las estrellas empezaran a separarse un poco entre sí, las fuerzas repulsivas dominarían alejando indefinidamente a unas estrellas de otras.

Otra objeción a un universo estático infinito es normalmente atribuida al filósofo alemán Heinrich Olbers, quien escribió acerca de dicho modelo en 1823. En realidad, varios contemporáneos de Newton habían considerado ya el problema, y el artículo de Olbers no fue ni siquiera el primero en contener argumentos plausibles en contra del anterior modelo. Fue, sin embargo, el primero en ser ampliamente conocido. La dificultad a la que nos referíamos estriba en que, en un universo estático infinito, prácticamente cada línea de visión acabaría en la superficie de una estrella. Así, sería de esperar que todo el cielo fuera, incluso de noche, tan brillante como el Sol. El contraargumento de Olbers era que la luz de las estrellas lejanas estaría oscurecida por la absorción debida a la materia intermedia. Sin embargo, si eso sucediera, la materia intermedia se calentaría, con el tiempo, hasta que iluminara de forma tan brillante como las estrellas. La única manera de evitar la conclusión de que todo el cielo nocturno debería de ser tan brillante como la superficie del Sol sería suponer que las estrellas no han estado iluminando desde siempre, sino que se encendieron en un determinado instante pasado finito. En este caso, la materia absorbente podría no estar caliente todavía, o la luz de las estrellas distantes podría no habernos alcanzado aún. Y esto nos conduciría a la cuestión de qué podría haber causado el hecho de que las estrellas se hubieran encendido por primera vez.

El principio del universo había sido discutido, desde luego, mucho antes de esto. De acuerdo con distintas cosmologías primitivas y con la tradición judeo-cristianamusulmana, el universo comenzó en cierto tiempo pasado finito, y no muy distante. Un argumento en favor de un origen tal fue la sensación de que era necesario tener una «Causa Primera» para explicar la existencia del universo. (Dentro del universo, uno siempre explica un acontecimiento como causado por algún otro acontecimiento anterior, pero la existencia del universo en sí, sólo

podría ser explicada de esta manera si tuviera un origen.) Otro argumento lo dio san Agustín en su libro *La ciudad de Dios*. Señalaba que la civilización está progresando y que podemos recordar quién realizó esta hazaña o desarrolló aquella técnica. Así, el hombre, y por lo tanto quizás también el universo, no podía haber existido desde mucho tiempo atrás. San Agustín, de acuerdo con el libro del Génesis, aceptaba una fecha de unos 5.000 años antes de Cristo para la creación del universo. (Es interesante comprobar que esta fecha no está muy lejos del final del último periodo glacial, sobre el 10.000 a.C., que es cuando los arqueólogos suponen que realmente empezó la civilización.)

Aristóteles, y la mayor parte del resto de los filósofos griegos, no era partidario, por el contrario, de la idea de la creación, porque sonaba demasiado a intervención divina. Ellos creían, por consiguiente, que la raza humana y el mundo que la rodea habían existido, y existirían, por siempre. Los antiguos ya habían considerado el argumento descrito arriba acerca del progreso, y lo habían resuelto diciendo que había habido inundaciones periódicas u otros desastres que repetidamente situaban a la raza humana en el principio de la civilización.

Las cuestiones de si el universo tiene un principio en el tiempo y de si está limitado en el espacio fueron posteriormente examinadas de forma extensiva por el filósofo Immanuel Kant en su monumental (y muy oscura) obra, *Crítica de la razón pura*, publicada en 1781. Él llamó a estas cuestiones antinomias (es decir, contradicciones) de la razón pura, porque le parecía que había argumentos igualmente convincentes para creer tanto en la tesis, que el universo tiene un principio, como en la antítesis, que el universo siempre había existido. Su argumento en favor de la tesis era que si el universo no hubiera tenido un principio, habría habido un período de tiempo infinito anterior a cualquier acontecimiento, lo que él consideraba absurdo. El argumento en pro de la antítesis era que si el universo hubiera tenido un principio, habría habido un período de tiempo infinito anterior a él, y de este modo, ¿por qué habría de empezar el universo en un tiempo particular cualquiera? De hecho, sus razonamientos en favor de la tesis y de la antítesis son realmente el mismo argumento. Ambos están basados en la suposición implícita de que el tiempo continúa hacia atrás indefinidamente, tanto si el universo ha existido desde siempre como si no. Como veremos, el concepto de tiempo no tiene significado antes del comienzo del universo. Esto ya había sido señalado en primer

lugar por san Agustín. Cuando se le preguntó: ¿Qué hacía Dios antes de que creara el universo?, Agustín no respondió: estaba preparando el infierno para aquellos que preguntaran tales cuestiones. En su lugar, dijo que el tiempo era una propiedad del universo que Dios había creado, y que el tiempo no existía con anterioridad al principio del universo.

Cuando la mayor parte de la gente creía en un universo esencialmente estático e inmóvil, la pregunta de si éste tenía, o no, un principio era realmente una cuestión de carácter metafísico o teológico. Se podían explicar igualmente bien todas las observaciones tanto con la teoría de que el universo siempre había existido, como con la teoría de que había sido puesto en funcionamiento en un determinado tiempo finito, de tal forma que pareciera como si hubiera existido desde siempre. Pero, en 1929, Edwin Hubble hizo la observación crucial de que, donde quiera que uno mire, las galaxias distantes se están alejando de nosotros. O en otras palabras, el universo se está expandiendo. Esto significa que en épocas anteriores los objetos deberían de haber estado más juntos entre sí. De hecho, parece ser que hubo un tiempo, hace unos diez o veinte mil millones de años, en que todos los objetos estaban en el mismo lugar exactamente, y en el que, por lo tanto, la densidad del universo era infinita. Fue dicho descubrimiento el que finalmente llevó la cuestión del principio del universo a los dominios de la ciencia.

Las observaciones de Hubble sugerían que hubo un tiempo, llamado el big bang [gran explosión o explosión primordial], en que el universo era infinitésimamente pequeño e infinitamente denso. Bajo tales condiciones, todas las leyes de la ciencia, y, por tanto, toda capacidad de predicción del futuro, se desmoronarían. Si hubiera habido acontecimientos anteriores a este no podrían afectar de ninguna manera a lo que ocurre en el presente. Su existencia podría ser ignorada, ya que ello no extrañaría consecuencias observables. Uno podría decir que el tiempo tiene su origen en el big bang, en el sentido de que los tiempos anteriores simplemente no estarían definidos. Es señalar que este principio del tiempo es radicalmente diferente de aquellos previamente considerados. En un universo inmóvil, un principio del tiempo es algo que ha de ser impuesto por un ser externo al universo; no existe la necesidad de un principio. Uno puede imaginarse que Dios creó el universo en, textualmente, cualquier instante de tiempo. Por el contrario, si el universo se está expandiendo, pueden existir poderosas razones físicas para que tenga que haber un principio.

Uno aún se podría imaginar que Dios creó el universo en el instante del big bang, pero no tendría sentido suponer que el universo hubiese sido creado antes del big bang. ¡Universo en expansión no excluye la existencia de un creador, pero sí establece límites sobre cuándo éste pudo haber llevado a cabo su misión!

Para poder analizar la naturaleza del universo, y poder discutir cuestiones tales como si ha habido un principio o si habrá un final, es necesario tener claro lo que es una teoría científica. Consideremos aquí un punto de vista ingenuo, en el que una teoría es simplemente un modelo del universo, o de una parte de él, y un conjunto de reglas que relacionan las magnitudes del modelo con las observaciones que realizamos. Esto sólo existe en nuestras mentes, y no tiene ninguna otra realidad (cualquiera que sea lo que esto pueda significar). Una teoría es una buena teoría siempre que satisfaga dos requisitos: debe describir con precisión un amplio conjunto de observaciones sobre la base de un modelo que contenga sólo unos pocos parámetros arbitrarios, y debe ser capaz de predecir positivamente los resultados de observaciones futuras. Por ejemplo, la teoría de Aristóteles de que todo estaba constituido por cuatro elementos, tierra, aire, fuego y agua, era lo suficientemente simple como para ser calificada como tal, pero fallaba en que no realizaba ninguna predicción concreta. Por el contrario, la teoría de la gravedad de Newton estaba basada en un modelo incluso más simple, en el que los cuerpos se atraían entre sí con una fuerza proporcional a una cantidad llamada masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos, a pesar de lo cual era capaz de predecir el movimiento del Sol, la Luna y los planetas con un alto grado de precisión.

Cualquier teoría física es siempre provisional, en el sentido de que es sólo una hipótesis: nunca se puede probar. A pesar de que los resultados de los experimentos concuerden muchas veces con la teoría, nunca podremos estar seguros de que la próxima vez el resultado no vaya a contradecirla. Sin embargo, se puede rechazar una teoría en cuanto se encuentre una única observación que contradiga sus predicciones. Como ha subrayado el filósofo de la ciencia Karl Popper, una buena teoría está caracterizada por el hecho de predecir un gran número de resultados que en principio pueden ser refutados o invalidados por la observación. Cada vez que se comprueba que un nuevo experimento está de acuerdo con las predicciones, la teoría sobrevive y nuestra confianza en ella aumenta. Pero si por el contrario se realiza alguna vez

una nueva observación que contradiga la teoría, tendremos que abandonarla o modificarla. O al menos esto es lo que se supone que debe suceder, aunque uno siempre puede cuestionar la competencia de la persona que realizó la observación.

En la práctica, lo que sucede es que se construye una nueva teoría que en realidad es una extensión de la teoría original. Por ejemplo, observaciones tremendamente precisas del planeta Mercurio revelan una pequeña diferencia entre su movimiento y las predicciones de la teoría de la gravedad de Newton. La teoría de la relatividad general de Einstein predecía un movimiento de Mercurio ligeramente distinto del de la teoría de Newton. El hecho de que las predicciones de Einstein se ajustaran a las observaciones, mientras que las de Newton no lo hacían, fue una de las confirmaciones cruciales de la nueva teoría. Sin embargo, seguimos usando la teoría de Newton para todos los propósitos prácticos ya que las diferencias entre sus predicciones y las de la relatividad general son muy pequeñas en las situaciones que normalmente nos incumben. (¡La teoría de Newton también posee la gran ventaja de ser mucho más simple y manejable que la de Einstein!)

El objetivo final de la ciencia es el proporcionar una única que describa correctamente todo el universo. Sin embargo, el método que la mayoría de los científicos siguen en realidad es el de separar el problema en dos partes. Primero, están las leyes que nos dicen cómo cambia el universo con el tiempo. (Si conocemos cómo es el universo en un instante dado, estas leyes físicas nos dirán cómo será el universo en cualquier otro posterior.) Segundo, está la cuestión del estado inicial del universo. Algunas personas creen que la ciencia se debería ocupar únicamente de la primera parte: consideran el tema de la situación inicial del universo como objeto de la metafísica o la religión. Ellos argumentarían que Dios, al ser omnipotente, podría haber iniciado el universo de la manera que más le hubiera gustado. Puede ser que sí, pero en ese caso él también haberlo hecho evolucionar de un modo totalmente arbitrario. En cambio, parece ser que eligió hacerlo evolucionar de una manera muy regular siguiendo ciertas leyes. Resulta, así pues, igualmente razonable suponer que también hay leyes que gobiernan el estado inicial.

Es muy difícil construir una única teoría capaz de describir todo el universo. En vez de ello, nos vemos forzados, de momento, a dividir el problema en varias partes, inventando un cierto número de teorías parciales. Cada una de estas teorías parciales describe y predice una cierta

clase restringida de observaciones, despreciando los efectos de otras cantidades, o representando éstas por simples conjuntos de números. Puede ocurrir que esta aproximación sea completamente errónea. Si todo en el universo depende de absolutamente todo el resto de él de una manera fundamental, podría resultar imposible acercarse a una solución completa investigando partes aisladas del problema. Sin embargo, este es ciertamente el modo en que hemos progresado en el pasado. El ejemplo clásico es de nuevo la teoría de la gravedad de Newton, la cual nos dice que la fuerza gravitacional entre dos cuerpos depende únicamente de un número asociado a cada cuerpo, su masa, siendo por lo demás independiente del tipo de sustancia que forma el cuerpo. Así, no se necesita tener una teoría de la estructura y constitución del Sol y los planetas para poder determinar sus órbitas.

Los científicos actuales describen el universo a través de dos teorías parciales fundamentales: la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica. Ellas constituyen el gran logro intelectual de la primera mitad de este siglo. La teoría de la relatividad general describe la fuerza de la gravedad y la estructura a gran escala del universo, es decir, la estructura a escalas que van desde sólo unos pocos kilómetros hasta un billón de billones (un 1 con veinticuatro ceros detrás) de kilómetros, el tamaño del universo observable. La mecánica cuántica, por el contrario, se ocupa de los fenómenos a escalas extremadamente pequeñas, tales como una billonésima de centímetro. Desafortunadamente, sin embargo, se sabe que estas dos teorías son inconsistentes entre sí: ambas no pueden ser correctas a la vez. Uno de los mayores esfuerzos de la física actual, y el tema principal de este libro, es la búsqueda de una nueva teoría que incorpore a las dos anteriores: una teoría cuántica de la gravedad. Aún no se dispone de tal teoría, y para ello todavía puede quedar un largo camino por recorrer, pero sí se conocen muchas de las propiedades que debe poseer. En capítulos posteriores veremos que ya se sabe relativamente bastante acerca de las predicciones que debe hacer una teoría cuántica de la gravedad.

Si se admite entonces que el universo no es arbitrario, sino que está gobernado por ciertas leyes bien definidas, habrá que combinar al final las teorías parciales en una teoría unificada completa que describirá todos los fenómenos del universo. Existe, no obstante, una paradoja fundamental en nuestra búsqueda de esta teoría unificada completa. Las ideas anteriormente perfiladas sobre las teorías científicas suponen que somos seres racionales, libres para

observar el universo como nos plazca y para extraer deducciones lógicas de lo que veamos. En tal esquema parece razonable suponer que podríamos continuar progresando indefinidamente, acercándonos cada vez más a las leyes que gobiernan el universo. Pero si realmente existiera una teoría unificada completa, ésta también determinaría presumiblemente nuestras acciones. ¡Así la teoría misma determinaría el resultado de nuestra búsqueda de ella! ¿Y por qué razón debería determinar que llegáramos a las verdaderas conclusiones a partir de la evidencia que nos presenta? ¿Es que no podría determinar igualmente bien que extrajáramos conclusiones erróneas? ¿O incluso que no extrajáramos ninguna conclusión en absoluto?

La única respuesta que puedo dar a este problema se basa en el principio de la selección natural de Darwin. La idea estriba en que en cualquier población de organismos autorreproductores, habrá variaciones tanto en el material genético como en educación de los diferentes individuos. Estas diferencias supondrán que algunos individuos sean más capaces que otros para extraer las conclusiones correctas acerca del mundo que rodea, y para actuar de acuerdo con ellas. Dichos individuos tendrán más posibilidades de sobrevivir y reproducirse, de forma que su esquema mental y de conducta acabará imponiéndose. En el pasado ha sido cierto que lo que llamamos inteligencia y descubrimiento científico han supuesto una ventaja en el aspecto de la supervivencia. No es totalmente evidente que esto tenga que seguir siendo así: nuestros descubrimientos científicos podrían destruirnos a todos perfectamente, e, incluso si no lo hacen, una teoría unificada completa no tiene por qué suponer ningún cambio en lo concerniente a nuestras posibilidades de supervivencia. Sin embargo, dado que el universo ha evolucionado de un modo regular, podríamos esperar que las capacidades de razonamiento que la selección natural nos ha dado sigan siendo válidas en nuestra búsqueda de una teoría unificada completa, y no nos conduzcan a conclusiones erróneas.

Dado que las teorías que ya poseemos son suficientes para realizar predicciones exactas de todos los fenómenos naturales, excepto de los más extremos, nuestra búsqueda de la teoría definitiva del universo parece difícil de justificar desde un punto de vista práctico. (Es interesante señalar, sin embargo, que argumentos similares podrían haberse usado en contra de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica, las cuales nos han dado la energía

nuclear y la revolución de la microelectrónica.) Así pues, el descubrimiento de una teoría unificada completa puede no ayudar a la supervivencia de nuestra especie. Puede incluso no afectar a nuestro modo de vida. Pero siempre, desde el origen de la civilización, la gente no se ha contentado con ver los acontecimientos como desconectados e inexplicables. Ha buscado incesantemente un conocimiento del orden subyacente del mundo. Hoy en día, aún seguimos anhelando saber por qué estamos aquí y de dónde venimos. El profundo deseo de conocimiento de la humanidad es justificación suficiente para continuar nuestra búsqueda. Y ésta no cesará hasta que poseamos una descripción completa del universo en el que vivimos.

Tomado de Hawking, S. (1988). *Breve historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros*. Bantam Books.