



La actividad experimental apoyada en las TIC desde la teoría de los campos conceptuales

Daniel Pabón Rúa^a, Sonia Yaneth López Ríos^a

^aFacultad de Educación, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-108, Medellín, Colombia.

ARTICLE INFO

Received: Marzo 6, 2018
Accepted: Noviembre 14, 2018
Available on-line: Mayo 1, 2019

Keywords: Actividad experimental, sistemas de adquisición de datos, enseñanza de la física.

E-mail addresses:
daparu0227@gmail.com
slopez@ayura.udea.edu.com

ISSN 2007-9842

© 2019 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

The convenience of experimental activity in science education has been the focus of debate for several decades, and currently the discussion has been permeated by the role of ICTs in this learning environment, which is usually used to check theories, lacking epistemological and methodological foundations that allow the subject to assume an active role in the construction of knowledge. Given this situation, we intend to analyze the relevance of Vergnaud's theory of conceptual fields for the study of cognitive development in experimental activity in physics supported by Data Acquisition Systems (SAD), based on the Arduino platform. This study is carried out in a physics class with a group of science teachers in training. In the literature review, it has been found that the theory of conceptual fields is an appropriate reference to identify difficulties in conceptualization, to study cognitive development in experimental activity, and to propose didactic sequences with problem situations that enhance this development. On the other hand, in terms of SAD, these are positioned as an important alternative to support the experimental activity since they allow to relate variables in real time, facilitate the collection of data, and favor conceptualization processes. In conclusion, it is considered that the theory of conceptual fields allows to base and direct experimental activity in physics, which, when being supported by technological resources, is presented as an important line of research in scientific education.

La conveniencia de la actividad experimental en la educación en ciencias ha sido foco de debate hace varias décadas y actualmente la discusión se ha visto permeada por el papel de las TIC en este ambiente de aprendizaje, al cual usualmente se recurre para comprobar teorías, careciendo de fundamentos epistemológicos y metodológicos que permitan al sujeto asumir un papel activo en la construcción de conocimiento. Ante esta situación, se pretende analizar la pertinencia de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud para el estudio del desarrollo cognitivo en la actividad experimental en física apoyada en los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), basados en la plataforma Arduino. Dicho estudio se lleva a cabo en un curso de física, con un grupo de maestros de ciencias en formación. En la revisión de literatura se ha encontrado que la teoría de los campos conceptuales es un referente apropiado para identificar dificultades en la conceptualización, estudiar el desarrollo cognitivo en la actividad experimental, y para plantear secuencias didácticas con situaciones problema que potencien dicho desarrollo. Por otro lado, con referencia a los SAD, estos se posicionan como una alternativa importante para apoyar la actividad experimental, pues permiten relacionar variables en tiempo real, facilitan la toma de datos y favorecen los procesos de conceptualización. En conclusión, se considera que la teoría de los campos conceptuales permite fundamentar y direccionar la actividad experimental en física, la cual, apoyada en recursos tecnológicos, se presenta como una importante línea de investigación en la educación científica.

I. INTRODUCCIÓN

El constante cambio de las configuraciones sociales demanda ciudadanos con competencias concretas para fundamentar sus decisiones y maneras de actuar; características esenciales en el desarrollo del pensamiento científico. En este sentido, varios sectores a nivel local como el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y de orden global como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) pretenden promover en los diferentes centros de formación a nivel escolar y profesional, competencias científicas en los sujetos que den respuesta oportuna a estos requerimientos sociales.

En este contexto cobra importancia la formación del profesorado, dado el papel que desempeñan los maestros en los índices de calidad educativa y por ende en el cumplimiento de los objetivos de la educación en ciencias, que para el caso del Ministerio de Educación Colombiano significa “contribuir a la formación de ciudadanos y ciudadanas capaces de razonar, debatir, producir, convivir y desarrollar al máximo su potencial creativo (MEN, 2004, p. 6).

Este tipo de habilidades pueden ser desarrolladas a través de diferentes espacios educativos en el contexto de la enseñanza de las ciencias. Uno de ellos es la actividad experimental. López y Tamayo (2012) refiriéndose a los trabajos realizados por Hodson y Wellington (2000) afirman que este ambiente de aprendizaje cobra gran importancia en la enseñanza de las ciencias al ofrecer condiciones para

potenciar objetivos relacionados con el conocimiento conceptual y procedimental, aspectos relacionados con la metodología científica, la promoción de capacidades de razonamiento, concretamente de pensamiento crítico y creativo, y el desarrollo de actitudes de apertura mental y de objetividad y desconfianza ante aquellos juicios de valor que carecen de las evidencias necesarias (p. 146).

Diversas investigaciones muestran que la actividad experimental, con una adecuada orientación pedagógica, permite el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior y favorece la construcción de conceptos (Alís, Gil, Peña & Valdez, 2006; Golombek, 2015; Gracia & De La Gándara, 2007; Hodson, 1994, 2000, 2015; López & Tamayo, 2012; Malagón, Sandoval & Ayala, 2013; Pavón, Soto, Prieto & Araque, 2009; Romero & Aguilar, 2013). Sin embargo, algunos programas de licenciatura en Ciencias Naturales, a través de las actividades experimentales, transmiten una imagen de ciencia permeada de una corriente positivista en la cual estas cumplen únicamente la función de verificar, mediante un experimento, la teoría que se ha trabajado expositivamente en el aula (Pavón, Soto, Prieto & Araque, 2009). Esta manera de asumir la actividad experimental presenta una clara división entre la teoría y la práctica y por tanto una visión inadecuada de la construcción conceptual en la actividad científica (Romero & Aguilar, 2013).

En consonancia con el planteamiento anterior, Gracia y De La Gándara (2007) afirman que diferenciar “un tiempo para pensar y un tiempo para actuar, como si fueran cosas separables, es contraproducente. En el caso de la formación inicial de maestros, esta separación tiene todavía menos sentido” (p. 447). La distinción clásica entre teoría y práctica se fundamenta desde la filosofía de la ciencia. Por un lado, el falsacionismo de Popper considera que el experimento es el juez de las teorías en la medida que permite verificarlas, y por otro, el positivismo lógico que, basado en el inductivismo, concibe el experimento como fuente de conocimiento de la cual se pueden extraer conceptos. Ambas miradas permean los procesos de enseñanza y aprendizaje y han traído consigo importantes implicaciones. Se ha observado que “en algunos currículos el experimento y la teoría tienen espacios diferentes e incluso, en ocasiones, profesores diferentes” (Malagón, Sandoval & Ayala, 2013, p. 127).

La actividad experimental presenta dificultades no solo en la carencia de sustentos pedagógicos que le otorguen sentido en los procesos de enseñanza y aprendizaje, sino también, en los fundamentos filosóficos, ontológicos y epistemológicos puesto que asumen el sujeto ajeno a una realidad y sin experiencias que afecten sus maneras de observar y de proceder. Como consecuencia de lo anterior, se le atribuye a éste una actitud pasiva en la construcción del conocimiento científico. Alís, et al. (2006) concluyen diciendo que

en definitiva, el trabajo experimental, no sólo tiene una pobre presencia en la enseñanza de las ciencias, sino que la orientación de las escasas prácticas que suelen realizarse contribuye a una visión distorsionada y empobrecida de la actividad científica. Es preciso, pues, proceder a una profunda reorientación (p. 163).

Ante esta situación, se requiere de un referente cognitivo que permita fundamentar tanto teórica como metodológicamente la actividad experimental, específicamente en el área de la física. La teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud se posiciona como un referente con gran potencial para tal fin en la medida que “se constituye como un marco coherente para el estudio del desarrollo y del aprendizaje de competencias complejas, especialmente las que se refieren a las actividades científicas y técnicas en el ámbito del laboratorio” (Pesa & Bravo, 2016, p. 69-70). En este mismo sentido, Jaime y Escudero (2011) resaltan la necesidad de brindar orientaciones en este ambiente de aprendizaje puesto que “frecuentemente ha sido concebido como un espacio ausente de enseñanza intencional” (p. 378).

En la actividad experimental el sujeto requiere de esquemas teóricos y metodológicos para actuar de manera eficiente ante las situaciones que se planteen en el desarrollo del trabajo práctico. Por tanto, es relevante enfocar el interés en complejizar dichos esquemas, usualmente la enseñanza en este ambiente de aprendizaje no está orientado de esta manera; se reduce a seguir detalladamente guías pautadas que llevan a objetivos predeterminados y no a la resolución de problemas por parte del sujeto.

Dado que en la actividad experimental se utilizan diversos instrumentos, son necesarios esquemas específicos para su adecuada manipulación, lo cual también podría promover procesos de aprendizaje. Los instrumentos utilizados en la actividad experimental traen consigo cargas culturales que dan cuenta de construcciones teóricas en un determinado campo científico. Suárez (2009) resalta en este sentido que estas herramientas “no pueden distinguirse sólo como simples artilugios tecnológicos u objetos impolutos culturalmente, sino que deben estimarse como auténticas estructuras de acción externa, pero además, como modelos para la reconfiguración de los marcos de pensamiento del sujeto” (p. 1).

Dicha reconfiguración de las organizaciones mentales del sujeto interviene en la actividad, que es la manifestación explícita de sus esquemas. En este sentido, el papel de los instrumentos en los procesos de aprendizaje se torna como un campo relevante para investigar en la actividad experimental en física.

Los planteamientos anteriores dan cuenta de la necesidad de construir propuestas de enseñanza en la actividad experimental en física que estén sustentadas tanto teórica como metodológicamente, que potencien el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior, que permitan analizar la evolución cognitiva de los sujetos y el papel que desempeñan los actuales dispositivos tecnológicos en este ambiente de aprendizaje. Para ello inicialmente se abordan los elementos estructurantes de la teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud, luego se describen las bases ontológicas, epistemológicas y metodológicas de la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias y por último se hace referencia a los dispositivos tecnológicos que pueden ser implementados en este ambiente de aprendizaje.

Posteriormente se muestran los resultados de la revisión de la literatura en la que se expone el análisis de la pertinencia de la teoría de los campos conceptuales como un referente teórico metodológico para la actividad experimental en la enseñanza de la física.

II. MARCO TEÓRICO

II.1 La teoría de los campos conceptuales

El cerebro es uno de los órganos más complejos del cuerpo humano y no deja de modificarse durante el transcurso de la vida. Ello se debe a que ante cada experiencia establece nuevas conexiones neuronales que se traducen en construcciones cada vez más complejas de lo que se percibe. Estas nuevas relaciones en el cerebro permiten al sujeto ampliar el espectro

de posibilidades de actuación, en la medida que dispone de más elementos para hacer frente a las diferentes situaciones que se le presentan.

Estudiar los procesos de razonamiento no es una tarea fácil si se tienen en cuenta los múltiples factores que están implicados; dar cuenta de los procesos cognitivos de un sujeto requiere de un riguroso y arduo seguimiento. Palmero y Moreira (2004) dicen al respecto que “el conocimiento en sí ya es una idea compleja y como tal ha sido objeto de múltiples consideraciones filosóficas, epistemológicas y educativas a lo largo de la historia (p. 56).

La teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud se sustenta en elementos que retoma de los planteamientos teóricos de Piaget como el concepto de esquema y desde Vygotsky del cual recupera el sentido de la mediación a través del lenguaje. Su interés está focalizado principalmente en analizar la forma en que los sujetos construyen conceptos. Palmero y Moreira (2004) puntualizan diciendo que “se trata de una teoría psicológica cognitivista que se ocupa del estudio del desarrollo y del aprendizaje de conceptos y competencias complejas, lo que permite explicar en este marco el modo en que se genera el conocimiento” (p. 56).

Considerar al ser humano como una especie más entre las múltiples existentes en el planeta, implica afirmar que desempeña funciones determinadas en un ecosistema y que, como cualquier otro organismo vivo, está sujeto a procesos de adaptación. Esta forma de adaptarse a los diferentes cambios se da a nivel psicológico mediante procesos de conceptualización; una idea biológica de la cognición heredada de Piaget. El conocimiento desde esta perspectiva se concibe con una construcción racional o competencia que le permite al sujeto responder a las situaciones que se le presentan. Dicho proceso de adaptación es denominado conceptualización y en términos cognitivos se constituye en el núcleo del desarrollo del pensamiento (Sureda & Otero, 2011; Palmero & Moreira, 2004).

Usualmente en el ámbito de la educación en ciencias se concibe que la apropiación de un concepto se refiere a la capacidad que tiene el sujeto para definirlo en términos científicos o en el mejor de los casos de relacionarlo con sus concepciones previas. Desde esta teoría cognitiva, el proceso de conceptualización trasciende notablemente esta noción de aprendizaje. Los conceptos cobran sentido para el sujeto sólo cuando son puestos en situación. (Palmero & Moreira, 2004, p. 67).

Estudiar los procesos de conceptualización es una tarea pretenciosa, teniendo en cuenta que se intenta analizar la forma en que piensan los seres humanos. Desde la teoría de los campos conceptuales, comprender e interpretar esta actividad cognitiva requiere aludir a un conjunto de conceptos que ayudan a dar cuenta de dichos procesos. Vergnaud (1990) concibe el concepto como un triplete de tres conjuntos: referencia, significado y significante.

La referencia o referente contempla aquellas situaciones en las que el concepto está implicado; en esta teoría el concepto sólo adquiere sentido para el sujeto si se pone en juego a través de situaciones en las que sea necesario su uso. El significado tiene que ver con los invariantes operatorios constituidos por conceptos en acción y teoremas en acción. Estos organizan la conducta del sujeto al momento de llevar a cabo la acción y le permiten, entre otras cosas, seleccionar la información pertinente para dar respuesta a una determinada situación. Específicamente los conceptos en acción se refieren a objetos que el sujeto considera relevantes en el análisis de una determinada situación y los teoremas en acción remiten a aquellas proposiciones que son consideradas verdaderas y adecuadas. En ambos elementos (teoremas en acción y conceptos en acción) reposa la operacionalidad de los esquemas, los cuales son elementos que le posibilitan al sujeto movilizar sus organizaciones mentales atendiendo a los requerimientos del entorno. Por último, el significante hace referencia a las representaciones simbólicas por medio de las cuales el sujeto expresa semióticamente el concepto y explicita las propiedades, situaciones, procedimientos y relaciones que le atribuye.

Los diferentes conjuntos mencionados son de vital importancia en los procesos de conceptualización. No obstante, Vergnaud (1997) señala que los esquemas en la teoría de campos conceptuales adquieren especial relevancia:

El concepto de esquema es esencial para cualquier teoría de la cognición porque articula en una unidad rasgos conductuales y representacionales: reglas de acción e invariantes operatorios. Los esquemas están en el corazón de la cognición y en el corazón de los procesos de asimilación – acomodación (Palmero & Moreira, 2004, p. 66).

Atendiendo a las circunstancias, los sujetos pueden activar esquemas específicos a fin de dar solución oportuna a situaciones determinadas. Se consideran importantes en la medida que los procesos cognitivos y las respuestas del sujeto están en función de las situaciones a las cuales se enfrentan. Los esquemas se adecuan y dan respuesta a dichas situaciones según las características de éstas; es un medio de adaptación que le permite al sujeto organizar su conducta de manera pertinente. Vergnaud (1994) señala que un esquema es “una organización invariante de la acción para cierta clase de situaciones. Esta totalidad dinámica introducida por Piaget (después de Kant) representa conjuntamente las habilidades sensorio-motoras y las habilidades intelectuales” (Palmero & Moreira, 2004, p. 53).

La teoría de los campos conceptuales contempla que los esquemas están conformados por cuatro componentes que les otorgan características especiales en los procesos de conceptualización: los invariantes operatorios, las anticipaciones, las reglas de acción y las inferencias o razonamientos.

Los invariantes operatorios compuestos por conceptos en acción y teoremas en acción están en la base de la función operativa del esquema. Le permiten al sujeto delimitar la información y seleccionar aquella que considera relevante para confrontar una determinada situación. Sureda y Otero (2011) señalan que los invariantes operatorios forman la parte más epistémica del esquema, la que tiene la función de identificar y reconocer los objetos, sus propiedades, sus relaciones, y sus transformaciones. La función principal de los invariantes operatorios es tomar y seleccionar la información pertinente, e inferir luego, las consecuencias útiles para la acción, el control y la toma de información (p. 129).

Las anticipaciones por su parte, establecen una meta que organiza la conducta al focalizarla en torno a un fin específico. La anticipación permite considerar incluso las etapas que se pueden presentar en el transcurso de la actividad. Las reglas en acción por su parte, hacen referencia a los condicionales de tipo “si...entonces”. A ellas acude el sujeto para analizar la situación y actuar en consecuencia.

Las inferencias o razonamientos vinculan los conceptos anteriores pues permiten calcular y secuenciar las reglas de acción y las anticipaciones partiendo del sistema de invariantes operatorios de los que dispone el sujeto. Las inferencias están fundamentadas en esquemas que se han consolidado mediante la confrontación del sujeto con situaciones pasadas. Es decir, hacen parte de la experiencia y ofrecen elementos en la solución de nuevas situaciones.

II.2 La actividad experimental en la enseñanza de las ciencias

La actividad experimental en la enseñanza de las ciencias ha sido objeto de múltiples discusiones (Caamaño, 2004; Barbera & Valdés, 1996; Carrascosa, Gil, Vilches & Valdés, 2006; Ferreiros & Ordóñez, 2002; Gracia & De la Gándara, 2007; Hodson 1994; Malagón, Sandoval & Ayala, 2013; Sere, 2002). Los fundamentos ontológicos, epistemológicos y metodológicos de este ambiente de aprendizaje han ido cambiando a través de las épocas atendiendo al papel que se le ha atribuido en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Como representantes históricos del papel de la experimentación en la ciencia se encuentra Galileo Galilei considerado el principal representante del empirismo pues concebía la experiencia como base para el desarrollo del conocimiento científico. Por su parte, Newton creía que si se tenía el suficiente cuidado y rigor en el experimento, mediante un método detallado se podía garantizar el alcance de conocimientos objetivos y reproducibles.

No obstante, Popper y Lakatos (Chalmers, 2000) critican la linealidad con que se plantea la experimentación y afirman que las experiencias prácticas están permeadas por la subjetividad del sujeto, poniendo de esta manera en tela de juicio la neutralidad del experimento y de la observación. Por lo anterior consideran que ninguna de las dos debería ser considerada como fuentes objetivas de conocimiento.

Por su parte, el reconocido científico Albert Einstein presentaba inconformidad con el hecho de asumir que las leyes o los axiomas se podían extraer de un experimento y argumentaba que no existe un método lineal y detallado para tal fin. Einstein se convierte en uno de los representantes del racionalismo crítico, corriente de pensamiento liderada por Popper, el cual propuso como concepto central de esta teoría el falsacionismo mediante el cual el conocimiento queda sometido a la crítica o al cambio (Andrés, 2004).

Una de las corrientes de pensamiento que más influyó en el papel que se le asigna al experimento en la ciencia fue el teoreticismo dado que le atribuía a este una función subsidiaria de la teoría. Ferreiros y Ordoñez (2002) señalan que “fue un enfoque promovido por científicos como Mach, Boltzmann o Einstein, algunos de ellos grandes experimentadores, pero que hurtaron cualquier discusión sobre las peculiaridades metodológicas y epistemológicas de la actividad experimental (p. 50). Esta perspectiva en la cual el experimento cumple un papel secundario, contribuyó a que se generará una visión distorsionada de la ciencia.

Diversas investigaciones (Ferreiros & Ordoñez 2002; Gracia & De la Gándara, 2007; Sere, 2002; Malagón, Sandoval & Ayala, 2013) sustentan que resulta contraproducente y epistemológicamente inadecuado separar los procesos de teorización y experimentación ya que ambos ocupan un nivel de igual importancia en la construcción del conocimiento. El experimento se encuentra enmarcado en una teoría y la teoría orienta la manera de proceder del sujeto en la actividad experimental. Sere (2002) señala que para alcanzar una comprensión holística de un fenómeno es perentorio que el mundo de los objetos y el de las ideas sean interdependientes. Esta relación es tan fuerte que los experimentos sólo tienen sentido a la luz de la teoría de la cual dan cuenta pues son diseñados con fines específicos y traen consigo cargas teóricas de las que no se pueden desligar. En este orden de ideas Carrascosa, et al. (2006) añaden que “los experimentos vienen cargados conceptualmente y tienen sentido solo en un marco teórico determinado con formas determinadas de explicar el mundo, en este sentido carece de sentido distinguir entre teoría y práctica (p. 177).

Es importante aclarar que la actividad experimental es orientada atendiendo a la concepción de ciencia que se asuma. A continuación se describen dos cosmovisiones de ciencia y la manera en que determinan las características de los trabajos prácticos. Las posturas se retoman de las descripciones realizadas por Andrés (2004) acerca de la concepción estándar y no estándar de la ciencia en la actividad experimental.

II.2.1 Concepción estándar de la ciencia en la actividad experimental

Se denomina concepción estándar a aquella que asume la ciencia como una empresa que produce conocimientos absolutos mediante métodos rigurosos guiados por una lógica formal. Desde esta perspectiva, el experimento se entiende como la única forma de conferir validez a las teorías. La ciencia es un acumulado de leyes y axiomas que se organizan jerárquicamente y siguen una lógica hipotético-deductiva o inductivo-deductiva; a través del experimento se pueden extraer leyes y las teorías pueden ser verificadas mediante experimentos. En este sentido el progreso científico está determinado, entre otras cosas, por los avances tecnológicos en los instrumentos que se utilizan, en la medida que confieren mayor precisión en las mediciones y por tanto garantizan cada vez más la objetividad de los datos. De igual manera, desde la concepción estándar de la ciencia, se evitan perturbaciones por factores subjetivos como las creencias o cosmovisiones de los sujetos y aspectos contextuales de tipo social o cultural que puedan contaminar la pureza de los datos empíricos.

El método científico es quien garantiza la fiabilidad y validez de los resultados que se obtengan. Dicho método consiste en un conjunto de reglas lógicas de carácter universal, lo cual permite que los datos encontrados adquieran valor por sí mismos y no necesiten ser avalados por una comunidad científica ni por factores de orden social.

II.2.2 Concepción no estándar de la ciencia en la actividad experimental

La concepción no estándar de la ciencia considera que los experimentos requieren de procesos de validación social y cultural. Desde esta postura se reconoce una profunda relación de interdependencia entre el dominio teórico y experimental, por tanto, no se establece un orden jerárquico entre ellos. Adquieren la misma relevancia en la construcción del conocimiento pues no se posicionan como herramientas de la ciencia si no como los pilares en las que ésta se encuentra cimentada.

En cuanto a los datos y evidencias, se asume que estos solo tienen sentido a la luz de una determinada teoría. Por lo anterior, los resultados pueden ser interpretados de diversas maneras atendiendo al modelo teórico que se esté

utilizando. La experiencia está orientada por las creencias y significados del sujeto y dado que las circunstancias y la carga subjetiva del sujeto afectan la observación, los datos son provisorios y no conocimientos absolutos. Por último, se rescata el papel que desempeña la creatividad como proceso cognitivo que permite al sujeto utilizar su intuición e imaginación en la resolución de problemas y la comprensión de determinados fenómenos.

Para la presente investigación se asume una concepción no estándar por estar en consonancia con los paradigmas actuales de la educación científica en los cuales la ciencia se entiende como un constructo social en donde la realidad está en función de la subjetividad de los sujetos, de los contextos en los que se desarrolla y del marco teórico desde el cual es interpretada.

Ahora bien, descrita la postura epistemológica que se asume en esta investigación, es importante aclarar que las actividades experimentales pueden variar atendiendo a los objetivos que se pretendan alcanzar mediante su implementación. Caamaño (2004) concibe que este ambiente de aprendizaje puede llevarse a cabo bajo las siguientes modalidades: experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones. Las experiencias se caracterizan por permitir percibir el fenómeno mediante la interacción sensorial, en ellas el maestro orienta la experiencia indicando al estudiante lo que debe realizar. Los experimentos ilustrativos son realizados por el maestro y tienen como propósito representar el fenómeno y mostrar las variables que intervienen en este; se conocen comúnmente como demostraciones. Los ejercicios prácticos por su parte son utilizados principalmente cuando se pretenden desarrollar ciertas destrezas técnicas, intelectuales o de comunicación en el laboratorio o para validar teorías que se han expuesto previamente en clase. En esta modalidad el maestro elabora una guía pautaada y direcciona las acciones de los estudiantes. Por último, los trabajos prácticos como investigaciones, no requieren de una guía secuenciada de pasos. Está enmarcada en la solución de problemas ya sean teóricos o prácticos que se abordan mediante el diseño y construcción de experimentos; lo cual contribuye entre otras cosas a la comprensión de los procesos de la ciencia.

La modalidad de actividad experimental como investigación es valorada positivamente por varios autores (Caamaño, 2004; Carrascosa, et al. 2006; Gracia & De la Gándara, 2007) en la medida que permite al estudiante trabajar en torno a la solución de problemas específicos y no mediante una guía predeterminada como suele plantearse normalmente. Además, llevar a cabo la actividad experimental de esta manera permite al estudiante ser autónomo en su proceso de aprendizaje ya que está implicado en la elaboración de diseños experimentales y en la planificación de la actividad. El maestro en este caso, actúa como orientador tanto de las decisiones teóricas como metodológicas que el estudiante debe asumir durante el proceso. Por otro lado, para hacer más atractivo y eficiente este ambiente de aprendizaje se pueden incorporar elementos tecnológicos que pueden generar auténtico interés en los estudiantes por el aprendizaje de las ciencias.

En este trabajo se asume esta última modalidad de actividad experimental pues el referente cognitivo seleccionado considera que los procesos de aprendizaje se llevan a cabo cuando los sujetos se someten a situaciones problema en las que deben poner en juego sus esquemas para actuar de manera pertinente en la solución de dichas situaciones. Además, reconoce una profunda relación de interdependencia entre los aspectos teóricos y procedimentales en la medida que los conocimientos condicionan y orientan la actividad del sujeto.

II.3 El papel de los instrumentos tecnológicos en la actividad experimental

En la actividad experimental el sujeto requiere de esquemas teóricos y metodológicos para actuar de manera eficiente ante las situaciones que se planteen en el desarrollo del trabajo práctico. Por tanto, es relevante trabajar en complejizar dichos esquemas, usualmente la enseñanza en este ambiente de aprendizaje no está orientado de esta manera; se reduce a seguir detalladamente guías pautaadas que llevan a objetivos predeterminados y no a la resolución de problemas por parte del sujeto. Dado que en la actividad experimental se utilizan diversos instrumentos, son necesarios esquemas específicos para su adecuada manipulación, lo cual también podría promover procesos de aprendizaje. Los instrumentos utilizados en la actividad experimental traen consigo cargas culturales que dan cuenta de construcciones teóricas en un determinado campo científico (Suárez, 2009).

Para una adecuada apropiación de un campo conceptual Andrés, Pesa y Moreira (2006) resaltan que en la actividad experimental los instrumentos que se utilizan desempeñan un papel importante en los procesos de aprendizaje. Indican que es posible que en el proceso de conceptualización “se requieran conocimientos de otros campos conceptuales demandados por procedimientos experimentales más generales propios del TL, como es el caso de los principios de funcionamiento inherentes a los equipos e instrumentos de medición (p. 135). Estos principios inherentes a los instrumentos se refieren al acumulado cultural del cual se debe ir apropiando paulatinamente el sujeto para poder interactuar con ellos y darle sentido a la realidad mediante dicha interacción. Los instrumentos se convierten en herramientas fundamentales en los procesos de aprendizaje ya que median la relación con los fenómenos del mundo y permiten ampliar el espectro de posibilidades de observación y análisis de los mismos. Suárez (2009) con relación a lo anterior plantea que el “marco de la teoría sociocultural, nos lleva a entender que la cognición, nuestra mente, no funciona sólo como una reacción biológica, sino que pasa a ser una entidad ampliada por el elemento cultural que modifica y conforma su estructura interna” (p. 4-5). La evolución de estas organizaciones mentales obedece a procesos de aprendizaje en los que el sujeto moviliza y complejiza sus estructuras cognitivas.

Actualmente los avances tecnológicos han permeado significativamente la educación científica en diferentes niveles educativos y ambientes de aprendizaje. El contexto de la actividad experimental en física no ha sido la excepción. En ella, el sujeto debe apropiarse de los instrumentos tecnológicos que dispone para realizar mediciones, relacionar variables y demás procedimientos que se requieran. Pérez, Zaldivar y Queipo (2015) manifiestan la pertinencia de la incorporación de la tecnología en el ámbito educativo al afirmar que “el valor pedagógico de las TIC está en su potencialidad mediadora que posibilita promover, desencadenar y acompañar el aprendizaje (p. 158). Como se planteó en párrafos anteriores, los instrumentos traen consigo una carga teórica, para el presente trabajo dichos instrumentos corresponden a dispositivos tecnológicos que fueron construidos con finalidades específicas y por tanto dan cuenta de un determinado campo conceptual. Suárez (2009) resalta en este sentido que estas herramientas “no pueden distinguirse sólo como simples artilugios tecnológicos u objetos impolutos culturalmente, sino que deben estimarse como auténticas estructuras de acción externa, pero además, como modelos para la reconfiguración de los marcos de pensamiento del sujeto” (p. 1).

En la presente investigación cobran interés aquellas herramientas tecnológicas que actualmente dinamizan la actividad experimental, ya que en este ambiente de aprendizaje el sujeto tiene la oportunidad de manipular diversos instrumentos físicos para dar cuenta de los fenómenos de estudio y de evolucionar sus esquemas mentales a partir de la interacción con dichos instrumentos.

Los recursos tecnológicos que pueden ser utilizados en la enseñanza de las ciencias son variados y tienen características específicas atendiendo a los propósitos para los que fueron diseñados. Por ejemplo, las simulaciones y laboratorios virtuales se caracterizan por representar sistemas dinámicos y permitir la manipulación de variables en un determinado fenómeno físico, lo cual favorece los ambientes de aprendizaje en ciencias en los cuales las idealizaciones juegan un papel fundamental para efectos de análisis e interpretación. No obstante, los laboratorios asistidos por ordenador utilizados como apoyo tecnológico en la actividad experimental mediante el uso de sensores de magnitudes físicas, son menos recurrentes en las prácticas llevadas a cabo por los maestros.

Las TIC, en particular el Laboratorio Asistido por Ordenador (LAO) se posiciona como una alternativa importante para apoyar la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias. Este recurso tecnológico (LAO) ofrece un amplio espectro de posibilidades que permite, entre otras cosas, agilizar el proceso de la toma de datos que suele ser una tarea ardua y que exige de mucho tiempo; el cual podría ser utilizado en otras actividades enfocadas a promover procesos de pensamiento complejos como la interpretación y el análisis de los fenómenos (Cardona & López, 2016; Pontes, 2005a).

El hecho de que en la actualidad los sujetos se desenvuelvan en ambientes permeados por la tecnología en sus múltiples manifestaciones, demanda que los espacios formativos sean coherentes con las dinámicas sociales. Pontes (2005a) plantea al respecto que en la enseñanza experimental de la física “ésta aplicación de los ordenadores puede ser muy útil (...) a nivel básico y avanzado, ya que puede servir de introducción al interesante dominio de la automatización

que tiene tanta importancia en la vida moderna” (p. 13). Resalta de igual manera la necesidad de realizar estudios al respecto: “las herramientas de laboratorio asistido por ordenador (LAO) constituyen un área de trabajo cada vez más importante, dentro de las aplicaciones de la informática educativa en la enseñanza de las ciencias experimentales” (p. 14).

Como se planteó en párrafos anteriores, la presente investigación considera relevantes aquellas herramientas y programas que puedan ser utilizados como apoyo en la actividad experimental en la enseñanza de la física. Lo anterior parte del interés por indagar acerca del papel que desempeñan estos instrumentos tecnológicos como mediadores en los procesos de conceptualización. Los laboratorios asistidos por ordenador, también llamados Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) La incorporación de los SAD en la actividad experimental adquiere gran importancia en la enseñanza de la física pues “permiten que los estudiantes se relacionen con su propio aprendizaje, desarrollen habilidades metacognitivas, resuelvan situaciones aplicables al contexto al que pertenecen, construyan una interpretación del mundo real, entre otras cosas (Cardona & López, 2017, p. 2).

III. METODOLOGÍA

La presente investigación fundamenta su marco teórico en la teoría de campos conceptuales de Gérard Vergnaud. Este referente determina en cierta medida la metodología que se va a implementar pues contempla unos principios de aquello que considera que puede ser conocido y las formas en que puede ser analizado.

Palmero y Moreira (2004) hacen una caracterización de los elementos estructurantes de esta teoría afirmando que lo que procura Vergnaud con ella es “la comprensión sobre los modos de razonamiento de las personas (p. 73). Se asume un enfoque de investigación cualitativo en la medida que permite explicitar esos razonamientos que son las formas en que los sujetos significan su mundo y que determinan sus formas de actuar en contextos particulares. La teoría de campos conceptuales contempla dentro de sus fundamentos que los conceptos adquieren sentido para los sujetos sólo cuando se ponen en juego en situaciones problemáticas que los lleva a actuar de maneras específicas en busca de la solución de dichas situaciones. Dado que el presente estudio está interesado en analizar los procesos de conceptualización durante una actividad experimental en física apoyada en los SAD, los análisis cualitativos se consideran los más adecuados; pues como afirma Maxwell (1996) permiten “comprender un contexto particular en el que los participantes actúan y la influencia que ese contexto ejerce sobre sus acciones” (Vasilachis, 2006, p. 6).

En la investigación se propondrán diversas situaciones problemáticas enmarcadas en el campo conceptual del movimiento ondulatorio, en las que los participantes tendrán que activar esquemas conceptuales específicos para resolverlas. Palmero y Moreira (2004) proponen que los procesos de conceptualización podrían estudiarse “observando las conductas y los esquemas de los sujetos, de manera que pueda determinarse en qué consisten esos conceptos para los mismos desde el punto de vista cognitivo” (p. 73). Como puede observarse la manera en que los actores significan su mundo es perentorio en esta teoría, por tanto, para su análisis serían poco pertinentes estudios cuantitativos ya que estos se caracterizan por dejar de lado elementos subjetivos de los sujetos, los cuales en el presente trabajo podrían dar un sentido más amplio al fenómeno de estudio.

En esta investigación se selecciona el estudio de caso como el método que permitirá analizar la manera en que los participantes llevan a cabo los procesos de conceptualización. Stake (2010) define este método como “el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (p. 11). Los estudios de caso atendiendo a sus objetos de indagación se pueden clasificar en tres: intrínseco, instrumental y colectivo. Dado que se pretende analizar los procesos de conceptualización, el estudio de caso instrumental se considera el más pertinente, teniendo en cuenta que el interés en este tipo de estudio no está centrado en el caso en sí mismo, es decir, en el participante. El sujeto actúa como instrumento en el sentido de que mediante sus expresiones verbales y no verbales se estudia el fenómeno.

III.1 Contexto y participantes

La presente investigación se llevará a cabo con un grupo de maestros de ciencias en formación que estén realizando el curso de física III en el cual se aborda la temática de interés correspondiente al movimiento ondulatorio. Dicho curso hace parte del componente disciplinar de la Licenciatura en Ciencias Naturales de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, Colombia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que el presente trabajo se encuentra en sus primeras etapas, en este apartado se presentan los resultados de la revisión de literatura en la cual se resaltan investigaciones que han llevado a cabo actividades experimentales en física teniendo como referente teórico - metodológico la teoría de los campos conceptuales, se discuten los elementos teóricos que son analizados, las principales estrategias de enseñanza que se pueden implementar en el marco de este referente cognitivo y los enfoques actuales de la educación científica bajo el marco de esta teoría.

En la revisión de literatura se consultaron 31 revistas encontradas en las principales bases de datos: Scielo, Dialnet y Google Scholar en el ámbito de la educación en general, de la educación en ciencias, y de la enseñanza de la física, en un rango de 10 años, entre 2008 y 2017. No obstante, se trajeron a colación tres artículos por fuera de este límite temporal pues contenían elementos teóricos y metodológicos de importancia para este estudio.

IV.1 Pertinencia de la teoría de los campos conceptuales en la actividad experimental

En la revisión de literatura realizada se ha encontrado que, por tener en cuenta en el proceso de aprendizaje los conocimientos teóricos, metodológicos y epistemológicos, la teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud se sitúa como un referente con gran potencial para estudiar el desarrollo cognitivo de los estudiantes en la actividad experimental en física y para plantear secuencias didácticas que favorezcan dicho desarrollo. Esta teoría permite identificar las dificultades que presentan los estudiantes en la comprensión de ciertos conceptos y por tanto, ofrece al maestro la posibilidad de obtener los insumos para seleccionar situaciones problema que potencien el aprendizaje en acción de los sujetos mediante la activación de esquemas mentales que les permitan hacer frente a dichas situaciones (Andrés & Pesa, 2004; Andrés, Pesa & Meneses, 2006; Andrés, Pesa & Villagra, 2008; Andrés, 2011; Jaime & Escudero, 2011; Chávez & Andrés, 2016; Culzoni, Alegre, Fornari, Aimé & Schreier, 2014; Jaime & Escudero, 2011, 2013; Heidemann, Araujo & Veit, 2016; Bravo & Pesa, 2016; Pesa, Bravo, Pérez & Villafuerte, 2014; Silva & De Souza, 2014; Huerta & Pantoja, 2018).

A partir del análisis de las investigaciones se puede considerar la pertinencia de la teoría de los campos conceptuales en la actividad experimental desde dos puntos de vista. El primero, radica en su potencial para el desarrollo de habilidades cognitivas al tener como principio que el aprendizaje se logra cuando se somete al sujeto ante situaciones a las que debe adaptarse paulatinamente. La segunda razón por la cual se considera un referente oportuno para la actividad experimental es la posibilidad que presenta al maestro de identificar dificultades en el aprendizaje de algunos conceptos en física y en esta medida obtener los insumos necesarios para construir actividades con sentido para sus estudiantes.

En el marco de esta teoría el aprendizaje se lleva a cabo mediante situaciones que le exigen al sujeto un proceso de adaptación constante mediante la activación de esquemas. Los esquemas se entienden como aquellas organizaciones invariantes de la conducta que determinan la eficiencia de la actuación de un individuo frente a una situación determinada. Andrés, 2011; Andrés et al. 2008; Silva & De Souza, 2014) resaltan la importancia de las situaciones problema para promover los procesos de conceptualización ya que se encuentran enmarcadas en un dominio teórico del que debe apropiarse el sujeto, lo cual incentiva la evolución sus esquemas mentales pues en ocasiones los sujetos no disponen de un esquema que les permita dar una solución oportuna y adecuada. Deben desarrollar competencias tanto teóricas como metodológicas para dar respuesta a las distintas situaciones que se les vayan presentando en la actividad experimental. Dichas situaciones demanda del sujeto la apropiación de los significados del campo conceptual en cuestión y el desarrollo

habilidades metodológicas. Aspectos que se ven fortalecidos al enfrentar a los sujetos a circunstancias en las cuales deben utilizar sus conocimientos en acción ante las diferentes tareas que implica emprender la solución de la situación planteada (Chávez & Andrés, 2011, 2013; Andrés, Pesa & Meneses, 2006; Jaime & Escudero, 2013)

Por otra parte, varios autores (Andrés & Pesa, 2004; Andrés, Pesa & Meneses, 2006; Andrés, 2011) señalan que plantear la actividad experimental a partir de situaciones problema exige poner en juego tanto conocimientos teóricos como procedimentales y en este sentido la misma acción del sujeto hace que avance en su desarrollo conceptual. De esta manera se reconoce que la actividad experimental requiere de una relación indisoluble y dialéctica entre el dominio metodológico y teórico.

La teoría de los campos conceptuales asume que el conocimiento es moldeado a través de situaciones problema, esto hace que la clásica separación entre teoría y práctica en la construcción del conocimiento se empiece a desdibujar y que los estudiantes puedan tener acercamientos a las dinámicas científicas en las que se trabaja alrededor de situaciones. Lo anterior se relaciona directamente con los supuestos del referente teórico en el cual se considera que el desarrollo cognitivo es moldeado por las acciones de los sujetos en situaciones concretas y por las conceptualizaciones subyacentes a ellas (Vergnaud, 1990). A continuación se muestran los campos conceptuales abordados en las investigaciones revisadas, la población en la que se llevó a cabo, el elemento teórico analizado desde este referente cognitivo, los autores y en orden ascendente el año de la respectiva investigación.

TABLA I. Autores, campos conceptuales abordados, población y elemento teórico analizado.

Autores y año de publicación	Campo conceptual	Población	Elemento analizado desde la TCC
Andrés y Pesa (2004)	Oscilaciones armónicas	Profesores de ciencias en formación	Esquemas teóricos y metodológicos
Andrés, Pesa y Meneses (2006)	Ondas Mecánicas	Profesores de ciencias en formación	Invariantes operatorios
Andrés, Pesa y Villagra (2008)	Ondas Mecánicas	Profesores de ciencias en formación	Invariantes Operatorios
Jaime y Escudero (2011)	Movimiento bidimensional Movimiento en plano vertical	Estudiantes de Ingeniería	Invariantes operatorios
Andrés (2011)	Superconductividad	Profesores de física en formación	Esquemas
Chávez y Andrés (2013)	Mecánica Newtoniana	Estudiantes del curso Laboratorio I en mecánica clásica	No se especifica
Silva y De Souza (2014)	Ondas Electromagnéticas	Curso de nivel medio (Secundaria)	Invariantes operatorios
Pesa, Bravo, Pérez y Villafuerte (2014)	Electromagnetismo Conducción eléctrica	Estudiantes de ingeniería	Esquemas
Culzoni, Alegre, Fornari, Aimé y Schreier (2014)	Ondas mecánicas (Sonido)	Secundaria (Media)	No se especifica
Jaime y Escudero (2015)	Conservación de la energía Ímpetu Lineal	Estudiantes de ingeniería	No se especifica
Pesa y Bravo (2016)	Óptica ondulatoria interferencia y difracción de la luz	Estudiantes de licenciatura en física e ingeniería	Esquemas
Huerta y Pantoja (2018)	Electromagnetismo Inducción electromagnética	Estudiantes de secundaria (Visita al museo)	Invariantes operatorios

Según la tabla previamente presentada en el 42% de las investigaciones el elemento teórico que fue analizado desde la teoría de los campos conceptuales corresponde a invariantes operatorios y el 33% a los esquemas en general. Dichos resultados están en consonancia con los fundamentos que la teoría contempla; los procesos de conceptualización se estudian mediante el análisis de la evolución de los esquemas que hacen parte de la estructura cognitiva del sujeto y de los cuales, los invariantes operatorios desempeñan un papel fundamental. Por otra parte, se encontró que el campo conceptual en física abordado con mayor frecuencia es el de ondas. El 33% corresponde a tres investigaciones en ondas mecánicas, una sola a ondas electromagnéticas y el 16% al campo conceptual del electromagnetismo. En el 44 % de las investigaciones participaron profesores de ciencias en formación. No obstante, se debe tener en cuenta que dos de estas investigaciones corresponden al análisis de un mismo estudio por tanto el porcentaje real es del 33%. Lo cual coincide con el porcentaje de participación de los estudiantes de ingeniería. De igual manera se encontró que en sólo el 16% de las investigaciones la población estaba conformada por estudiantes de secundaria. Cabe aclarar que uno de estos estudios (Huerta y Pantoja, 2018) fue realizado en un museo con exposiciones interactivas y no en la escuela. Estos resultados permiten deducir que este referente teórico puede ser utilizado también en contextos no formales de educación como los museos y que la mayor parte de estudios se concentra en niveles de educación superior. Lo anterior quizá podría explicarse por el incipiente estado de la investigación en este campo y da cuenta de una posible trascendencia a contextos escolares.

Diversas investigaciones (Andrés & Pesa, 2004; Andrés, 2011; Pesa, Bravo, Pérez & Villafuerte, 2014; Bravo & Pesa, 2016) identifican los esquemas mentales y analizan su evolución en el transcurso de la actividad experimental. En estos estudios se ha encontrado que los esquemas iniciales de los estudiantes se fueron complejizando a medida que interactuaban con el profesor y con sus pares y que buscaban en diferentes fuentes información relacionada con los modelos teóricos que estaban abordando. Durante este proceso se evidencia una paulatina incorporación de nuevos conceptos y teoremas que modifican y enriquecen sus esquemas, lo cual les confiere a los estudiantes un mayor grado de abstracción y la capacidad de organizar su conducta a partir de la identificación de las metas a alcanzar en cada actividad. El incremento de las reglas de acción que organizan la actividad conlleva a que los sujetos activen mecanismos de adaptación cognitiva cada vez más pertinentes en los que retoma elementos relevantes para responder a las diferentes situaciones experimentales que se les presentan. A partir de lo anterior pueden observarse la relevancia que adquieren los esquemas en la teoría de los campos conceptuales. Vergnaud (1997) señala en este sentido que estos “están en el corazón de la cognición y en el corazón de los procesos de asimilación – acomodación (Palmero & Moreira, 2004, p. 66).

En otras investigaciones (Jaime & Escudero, 2011; Andrés, Pesa & Villagra, 2008; Huerta & Pantoja, 2018; Silva & De Souza, 2014) se analizan de manera específica los invariantes operatorios, que hacen parte de los elementos constituyentes de los esquemas y contemplan teoremas en acción y conceptos en acción.

Los autores manifiestan que las tareas propias de la actividad experimental como la búsqueda de información y la realización de observaciones ayudan a precisar, modificar y enriquecer los invariantes operatorios. En consecuencia, el sujeto logra identificar con mayor facilidad conceptos y teoremas propios de la situación que este abordando. Además, la capacidad de hacer inferencias se ve favorecida cuando se complejizan los invariantes operatorios, haciendo que el sujeto logre dar prioridad a ciertas tareas y que organice su conducta en función de los objetivos que se ha trazado. Los autores coinciden en que es posible dar cuenta de la evolución del pensamiento, como resultado de la experiencia, a partir de los invariantes operatorios.

VI. 2 Estrategias de enseñanza en la actividad experimental desde la teoría de los campos conceptuales

En cuanto a las estrategias de enseñanza que se utilizan en la actividad experimental para promover los procesos de conceptualización se encontró que todas las modalidades están organizadas en diversas fases. Es un elemento a resaltar pues muestra que no es suficiente con realizar un experimento demostrativo para generar procesos significativos de aprendizaje en los estudiantes. Si bien las estrategias de enseñanza difieren en la forma que se estructuran, se pueden

identificar tres momentos que orientan su desarrollo. En el primero se presentan algunas situaciones para identificar los esquemas iniciales y para familiarizarse con los elementos estructurantes del campo conceptual que se esté abordando. Un segundo momento en el que se realizan las actividades experimentales mediante situaciones problema que se complejizan conforme avanza la práctica. Por último, hay una fase de discusión, análisis y comunicación de los resultados. Si bien el desarrollo cognitivo transversaliza todas las fases, en esta última se pueden detectar de manera especial la evolución de los conocimientos en acción y de las representaciones de los sujetos.

Se encontraron dos modalidades que guardan coherencia con la teoría de los campos conceptuales en la medida que fundamentan la actividad experimental en su entramado conceptual. La continuación se describirá de manera general los aspectos más importantes de ambas propuestas, una llamada laboratorio modalidad innovadora de Jaime y Escudero (2011) y otra MATLaF, descrita por Andrés y Pesa (2004).

En el laboratorio modalidad innovadora las diversas tareas que implica la actividad experimental son planteadas en términos de resolución de problemas, desde el inicio hasta el final del proceso. Se estructura en torno a un ciclo de actividades grupales donde hay una interacción permanente entre estudiantes y de estos con el profesor. Jaime y Escudero (2011) señalan que los estudiantes “no contaron con una guía experimental escrita. Se les solicitó la elaboración de un informe grupal, bajo un formato flexible, que incluyera conclusiones, respuestas a preguntas surgidas, justificaciones y otros aspectos oportunos (p. 373). En la actividad experimental tradicional se les entrega a los estudiantes una guía con pasos finamente detallados para que los lleven a cabo. Por el contrario, en esta modalidad, señalan Jaime y Escudero (2011), se les suministra a los estudiantes una guía que contiene un breve marco teórico sobre el campo conceptual en cuestión, aspectos referentes a la metodología del trabajo experimental y un cuestionario a responder.

La otra estrategia de enseñanza es el MATLaF. Consta de diferentes fases y se considera hasta ahora, el modelo mejor elaborado por la coherencia que tiene con los elementos estructurantes de la teoría de los campos conceptuales. Por esta razón, es útil tanto como guía para el diseño de secuencias didácticas en la actividad experimental como para la investigación acerca de los procesos de conceptualización en este ambiente de aprendizaje.

El laboratorio guiado por el modelo de aprendizaje MATLaF para el desarrollo conceptual asociado a tareas experimentales consta principalmente de cuatro fases. La primera está focalizada en la identificación de los invariantes operatorios de los estudiantes al enfrentarlos ante una situación específica del campo que se esté abordando. Andrés y Pesa (2004) señalan que, en este punto “se propone que cada estudiante se enfrente inicialmente a la situación y exprese por escrito sus ideas acerca del problema, posteriormente, el estudiante las presenta y argumenta en el grupo de trabajo pudiendo incluir información externa (p. 63). Se proponen además como instrumentos para la recolección de datos situaciones presentadas a los estudiantes de manera escrita mediante el planteamiento de preguntas y entrevistas.

La segunda fase consiste en identificar los invariantes operatorios y esquemas que los estudiantes ponen en juego en el desarrollo de la actividad experimental al asumir las tareas que implica la solución de las situaciones problema que se plantean. En esta fase se analizan los conocimientos en acción y su efectividad, las situaciones que resultan ser novedosas y la manera en que complejizan sus esquemas para abordarlas. También se estudian las representaciones que van elaborando los estudiantes en relación al campo conceptual abordado y las situaciones experimentales presentadas. En tercer lugar se evalúan en los reportes finales y en las respuestas a las nuevas situaciones el nivel de conceptualización alcanzado. Por último se comparan las expectativas de los estudiantes y de los maestros con los logros obtenidos. En esta fase se valoran los objetivos alcanzados en función de las expectativas que se habían planteado inicialmente como grupo.

Andrés y Pesa (2004) después de utilizar el modelo MATLAF como orientador de un trabajo de laboratorio enmarcado en el campo conceptual de las oscilaciones armónicas resaltan su pertinencia al afirmar que este permitió dar cuenta de los esquemas que conformaron los estudiantes para abordar la situación en sus diferentes etapas, discriminando entre los aspectos relacionados con lo teórico y lo relacionado con lo metodológico, así como la conexión que establecían entre ellos. La comparación entre los esquemas iniciales a la tarea central y a las subtareas, con lo expresado en los reportes finales, permite dar cuenta del aprendizaje de los estudiantes (p. 73). Posteriormente, en otra investigación Andrés, Pesa y Meneses (2008) llegaron a conclusiones similares al aplicar este modelo en una actividad experimental en el campo conceptual de las ondas mecánicas llevada a cabo con profesores de ciencias en formación.

VI. 3 La teoría de los campos conceptuales en la actividad experimental y los paradigmas actuales de la educación científica

La potencialidad de la teoría de los campos conceptuales en la actividad experimental radica, entre otras cosas, en la forma que concibe el aprendizaje. Permite identificar las estructuras mentales internas de los sujetos a partir del análisis de sus formas de proceder ante determinadas circunstancias. Andrés (2011) señala que este referente cognitivo además de “considerar el trabajo de laboratorio como un espacio para el aprendizaje en los dominios metodológico y epistemológico, permite darle identidad propia dentro de la enseñanza (p. 41). Además, valiéndose de su entramado teórico, el maestro puede diseñar secuencias didácticas en el marco de la actividad experimental, acordes con las dinámicas propias del quehacer científico. Andrés y Pesa (2004) manifiestan que la actividad experimental en la enseñanza debe estar enmarcada en una visión actual de la construcción del conocimiento “donde a partir de situaciones problemáticas se recorre un camino indagatorio para la producción de declaraciones de conocimiento y de valor que serán sometidas a la crítica entre pares (p. 61).

Jaime y Escudero (2011) realizan una comparación con un laboratorio tradicional en el cual a los estudiantes se les entrega una guía que deben seguir paso a paso a fin de cumplir con objetivos predeterminados. Se encontró que para ellos

experimentar, al parecer, se reduce a proveer los valores y los errores que den el resultado previsto. No se integra la experimentación a la interpretación de la realidad. Se quedan en los aspectos sintácticos, no avanzan hacia los significados. El trabajo de laboratorio se torna, entonces, inaccesible; y desde la perspectiva de los estudiantes se constituye en inmotivado, fútil y arbitrario (p. 377).

Los laboratorios tradicionales promueven una imagen distorsionada de ciencia en la que el sujeto asume un rol pasivo en la construcción del conocimiento. En consecuencia, los estudiantes desarrollan habilidades de menor grado como memorizar y seguir instrucciones detalladas.

Por el contrario, la actividad experimental sustentada en la teoría de campos conceptuales permite que este ambiente de aprendizaje se adecue a los paradigmas actuales de la educación en ciencias. Pesa, et al. (2014) señalan que con el

surgimiento del constructivismo como un enfoque alternativo al aprendizaje de las ciencias se produce un cambio importante en los objetivos y propósitos del trabajo de laboratorio y las actividades se orientan así a la construcción y/o reconstrucción por parte del alumno de su propia comprensión a partir de sus conocimientos previos (p. 646).

Estos conocimientos previos se refieren a los esquemas que deben ser identificados por el profesor o investigador puesto que actúan como insumos para la elaboración de situaciones. El hecho de que las situaciones estén relacionadas con los esquemas iniciales de los sujetos permite que los objetivos de la actividad experimental a realizar sean claros y alcanzables.

Adquirir un papel activo en el proceso de aprendizaje se convierte en un factor motivacional para en el proceso de aprendizaje, esencial en el desarrollo de procesos cognitivos. Andrés y Pesa (2004) señalan que los estudiantes manifestaron que una de las cosas que hizo diferente el trabajo de laboratorio con respecto a sus experiencias pasadas “radica en el rol protagónico que tuvieron en el proceso; percibieron que eran ellos los que discutían, sintetizaban, diseñaban las acciones a realizar, consideraron que tenían metas (preguntas claves) establecidas por ellos (p. 72).

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud presenta un gran potencial para fundamentar y orientar los procesos de enseñanza y aprendizaje que se llevan a cabo en la actividad experimental en física. Andrés (2011) expresa que este referencial cognitivo adquiere relevancia por reconocer una relación indisoluble entre los aspectos de orden teórico y metodológico. A diferencia de los laboratorios tradicionales en que son concebidos de manera separada y en los que los sujetos realizan de manera automatizada una serie de acciones que suelen carecer de relación con sus esquemas

mentales y con los elementos teóricos del campo conceptual abordado. Desde este referente esto es contraproducente en el proceso de aprendizaje.

V. CONCLUSIONES

La revisión y el análisis de las investigaciones permite concluir que la teoría de los campos conceptuales es un referente sumamente potente para fundamentar y orientar la actividad experimental en física dado que permite: adecuar este ambiente de aprendizaje a enfoques actuales en la educación como el constructivismo; analizar los aprendizajes de los sujetos en términos de su actividad ante determinadas situaciones; dar sustento metodológico a la actividad experimental al valorar en el proceso de aprendizaje los esquemas que le permiten a los estudiantes secuenciar sus acciones en el marco de una determinada teoría; identificar los elementos que subyacen a la cognición y reconocerlos como insumos para la elaboración de propuestas de enseñanza que permitan precisar, modificar y complejizar dichos elementos; trascender las tradicionales guías experimentales en las que el estudiante debe seguir unos pasos detallados y pasar a unas diseñadas en torno a situaciones problema que promuevan en el sujeto procesos de adaptación cognitiva para responder de manera adecuada y oportuna a dichas situaciones.

Algunas investigaciones (Pesa y Bravo, 2016; Chávez y Andrés, 2013) manifiestan la necesidad de estudiar la manera en que evolucionan las estructuras mentales del sujeto con las interacciones discursivas entre pares y entre el estudiante con el maestro durante el desarrollo de una actividad experimental. Además, se sugiere elaborar estrategias didácticas en el contexto de la actividad experimental que permita a los estudiantes concatenar los elementos teóricos y el diseño experimental.

La teoría de los campos conceptuales enmarcada en paradigmas actuales de la educación en ciencias se posiciona como un importante referente teórico para orientar, estudiar y fundamentar la actividad experimental en física en la medida que ofrece importantes soluciones a las diferentes problemáticas y críticas que ha tenido este ambiente de aprendizaje hace varias décadas.

REFERENCIAS

Alís, J. C., Gil-Pérez, D., Peña, A. V., & Valdez, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.

Andrés, M. (2004). *Diseño del trabajo de laboratorio con bases epistemológicas y cognitivas: caso carrera profesorado de física*. Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, España. Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil.

Andrés, M. (2011). Visión acerca de la actividad experimental construida en cursos de laboratorio desde un campo conceptual. In *I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática y II Encuentro Nacional de Enseñanza de la Matemática*. Tandil. Argentina.

Andrés, M. M., & Pesa, M. (2004). Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción en un trabajo de laboratorio de física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(1), 59-75.

Andrés, M. M., Pesa, M. A., & Villagrà, J. Á. M. (2008). Efectividad de un laboratorio guiado por el modelo de aprendizaje matlaf para el desarrollo conceptual asociado a tareas experimentales. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(3), 343-358.

Andrés, M. M., Pesa, M., & Meneses, J. (2006). Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción de estudiantes del Profesorado de Física: Ondas Mecánicas. *Revistas de Investigación*, 30(59), 221-247.

- Andrés, M., Pesa, M., & Moreira, M. (2006). El trabajo de laboratorio en cursos de física desde la teoría de los campos conceptuales. *Ciência & educação*, 12 (2), 129-142.
- Barbera, O., & Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 14(3), 365-379.
- Bravo, S., & Pesa, M. A. (2016). Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en el laboratorio de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 68-104.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos?. *Alambique*, 39(8), 19.
- Capuano, V. (2011). El uso de las TIC en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 2(2), 79-88.
- Cardona, M., & López S. (2017). Una revisión de literatura sobre el uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la educación básica, media y en la formación de profesores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(4), 1-11.
- Carrascosa, J., Gil, D., Vilches, A., & Valdés, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-165.
- Chalmers, A. F., Villate, J. A. P., Máñez, P. L., & Sedeño, E. P. (2000). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (No. Q175 C3218 2000). Madrid: siglo XXI.
- Chávez, J. L., & Andrés, M. M. (2016). El Uso De Videos Para La Eficiencia En El Aprendizaje-En-Acción De La Física En El Laboratorio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 18(1), 43-54.
- Culzoni, C., Alegre, L., Fornari, J., Aimé, L., & Schreier, C. (2014). Una experiencia multimedial en la enseñanza de la física. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Argentina.
- De Aquino Silva, J., & de Sousa, C. M. S. G. (2014). O modelo ondulatório como estratégia de promoção da evolução conceitual em tópicos sobre a luz em nível Médio. *Ciência & Educação*, 20(1), 23-41.
- De Gialdino, I. V. (2006). *La investigación cualitativa. Estrategias de investigación cualitativa*, 23-64.
- Ferreirós, J., & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación (Towards a Philosophy of Experiment). *Crítica: revista hispanoamericana de filosofía*, 47-86.
- Golombek, D. (2015, 7 de julio). "La educación debería fomentar la curiosidad": Diego Golombek. *El Espectador*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/entretenimiento/unchatcon/educacion-deberia-fomentar-curiosidad-diego-golombek-articulo-571028>.
- Gracia, Á. L. C., & De la Gándara Gómez, M. (2007). La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: una experiencia didáctica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(3), 435-450.
- Heidemann, L. A., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2016). Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(1), 3-32.
- Hernández, R, Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.

- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Hodson, D. (2000). The place of practical work in science education. *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*, 29-42.
- Hodson, D. (2015). Trabajo de laboratorio como método científico: tres décadas de confusión y distorsión. *Perspectivas Docentes*, (27).
- Huerta, L., & Cohen-Pantoja, G. (2018, June). A cognitive approach to the museography of an interactive science museum: a worked example. *Journal of Physics: Conference Series*, 1043, 1, 012054.
- Jaime, E. A., & Escudero, C. (2011). El trabajo experimental como posible generador de conocimiento en enseñanza de la física. *Enseñanza de las ciencias*, 29(3), 0371-380.
- Jaime, E., & Escudero, C. (2011). Nuevas prácticas para los aprendizajes en el aula de ciencias con tecnologías. Una propuesta de trabajo experimental. Sexto seminario internacional de educación a distancia. Argentina.
- López, A., & Tamayo, A. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 8(1), 145-166.
- Malagón Sánchez, J. F., Sandoval Osorio, S., & Ayala Manrique, M. M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis filosófica*, (36).
- Ministerio de Educación Nacional. (2014). Lineamientos de Calidad para las Licenciaturas en Educación. Bogotá.
- Palmero, M., & Moreira, M. (2004). La teoría de los campos conceptuales de Gerard Vergnaud. Texto de apoyo del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC).
- Pérez, Y. G., Zaldívar, I. E. R., & Queipo, E. A. B. (2015). La mediación con las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la educación superior. *Revista Didasc@ lia: Didáctica y Educación*. 6(6), 155-164.
- Pavón, Z., Soto, J., Prieto, C., & Araque, J. (2009). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de Química. Un primer acercamiento. *Diálogos*, 9, 18, 139-161.
- Bravo, S., & Pesa, M. A. (2016). Evaluación del aprendizaje de interferencia y difracción de la luz en el laboratorio de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 68-104.
- Pesa, M. A., del Valle Bravo, S., Pérez, S., & Villafuerte, M. (2014). Las actividades de laboratorio en la formación de ingenieros: propuesta para el aprendizaje de los fenómenos de conducción eléctrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(3), 642-665.
- Pontes-Pedrajas, A. (2005). Aplicaciones de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación en la educación científica. Primera parte: funciones y recursos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 2(1), 330-343.
- Romero, A., & Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Suárez Guerrero, C. (2003). Los entornos virtuales de aprendizaje como instrumento de mediación. *Revista electrónica: Teoría de la educación: Educación y cultura de la sociedad de la información*, 4, 1, 1-9.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos* (5ª ed.). España: Ediciones Morata.

Séré, M. G. (2002). La Enseñanza en el laboratorio: ¿qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.

Sureda, P., & Otero, M. (2011). Nociones fundamentales de la Teoría de los Campos Conceptuales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 6(1), 124-138.

Vergnaud, G. (1990). La teoría de los campos conceptuales. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10(2), 3.

Wellington, J. (2000). Re-thinking the role of practical work in science education. In Sequeira, M. et al. (Org.). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências* (pp. 75-89). Braga: Universidade do Minho.