

## La modelación computacional con diagrama AVM en la formación de profesores de física: un aporte al desarrollo de una visión crítica sobre la ciencia y la modelación científica

Sonia López<sup>1</sup>, Eliane Angela Veit<sup>2</sup>, Ives Solano Araujo<sup>2</sup>

[slopez@fisica.udea.edu.co](mailto:slopez@fisica.udea.edu.co); [eav@if.ufrgs.br](mailto:eav@if.ufrgs.br); [ives@if.ufrgs.br](mailto:ives@if.ufrgs.br)

<sup>1</sup>*Departamento de Enseñanza de las Ciencias y las Artes, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-108, Medellín, Colombia.*

<sup>2</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.*

### Resumen

La formación integral de un profesor de ciencias implica, más allá del dominio de su campo disciplinar, una concepción crítica sobre la ciencia y su enseñanza. A partir de esta reflexión elaboramos una propuesta didáctica cuyo principal objetivo fue valorar aspectos disciplinares, epistemológicos y didácticos, que propiciasen al estudiante una mejor comprensión del proceso de construcción del conocimiento científico. Tal propuesta se fundamenta en la implementación de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (TASC) y en el proceso de modelación científica con fines didácticos, haciendo uso del diagrama AVM (Adaptación de la V de Gowin a la Modelación Computacional). En este artículo son presentados resultados de investigación en la enseñanza de la mecánica con alumnos que ya cursaron asignaturas de Física General (siete estudiantes del programa de Física de la Universidad de Antioquia, Colombia, en un total de 36 horas de clase). Cada estudiante se constituye en un caso de estudio, investigado por medio de entrevistas, respuestas a test (sobre la concepción de ciencia y de modelación, y el FCI – Force Concept Inventory–) y el desarrollo de actividades de modelación computacional. Se encontró que era posible aplicar los principios de la TASC por medio de la modelación didáctica científica, lo que lleva a los estudiantes a enriquecer sus concepciones sobre ciencia, además de profundizar en su conocimiento disciplinar.

**Palabras clave:** Modelación Computacional, Diagrama AVM, Aprendizaje Significativo Crítico, enseñanza de Física

### The Computational Modeling with AVM diagram to train physics teachers: a contribution to the development of a critical view of science and scientific modeling

### Abstract

A comprehensive training of science teachers involves not only proficiency in their disciplinary field, but also a critical conception of science and its teaching. From this reflection we developed a didactical proposal, whose main goal is to value disciplinary, epistemological and didactical aspects, in order to provide a better understanding of the construction of scientific knowledge for the students. This proposal is based on the implementation of the principles of Moreira's Critical Meaningful Learning Theory (CMLT), and the process of scientific modeling with didactical purposes, the use of computational models and AVM diagram (Adaptation of the Gowin's V for Computational Modeling). This article presents results of a research involving students who have attended courses of General Physics (seven students from the Physics program at the University of Antioquia, Colombia, for a total of 36 h-class), enrolled in a Mechanics course. Each student constituted a case study, investigated through interviews and their responses for tests about conceptions of science, scientific modeling and Mechanics (FCI - Force Concept Inventory). Also, the student's results on computational modeling activities were analyzed. We found it is possible to

apply the principles of CMLT through didactical scientific modeling, leading students to enrich their conception of science, and to deepen their disciplinary knowledge.

**Keywords:** Computational modeling, AVM Diagram, Critical Meaningful Learning Theory, Physics Teaching.

## **La modélisation computationnelle avec le diagramme AVM dans la formation des professeurs de physique: une contribution au développement d'une vision critique de la science et de la modélisation scientifique**

### **Résumé**

La formation intégrale d'un professeur de science implique, au-delà du domaine de son champ disciplinaire, une conception critique de la science et de son enseignement. À partir de cette réflexion, nous avons élaboré une proposition didactique dont l'objectif principal était de renforcer les aspects disciplinaires, épistémologiques et didactiques, qui pourraient fournir à l'étudiant une meilleure compréhension de la construction de la connaissance scientifique. Cette proposition s'appuie sur l'application des principes de la Théorie de l'Apprentissage Significatif Critique (TASC) de Moreira et sur le processus de modélisation scientifique avec des objectifs didactiques, en utilisant des modèles computationnels et le diagramme AVM (adaptation du V de Gowin pour la modélisation computationnelle). Cet article présente les résultats de la recherche sur l'enseignement de la Mécanique, s'adressant à des étudiants qui ont déjà suivi des cours de Physique Générale (sept étudiants du programme de Physique à l'Université d'Antioquia, en Colombie, au total de 36 h-classe). Chaque étudiant est sur une étude de cas, qui a été enquêté au moyen d'entrevues, de réponses aux tests (sur la conception de la science et de la modélisation, et FCI - Force Concept Inventory) et du développement des activités de modélisation computationnelles. On a constaté qu'il était possible d'appliquer les principes de la TASC à travers la modélisation didactique scientifique, menant les étudiants à enrichir leurs conceptions de la Science, et en plus ils ont approfondi leurs connaissances disciplinaires.

**Mots clés:** Modélisation computationnelle, Diagramme AVM, Apprentissage Significatif Critique, enseignement de la Physique.

## **Modelagem computacional com diagrama AVM na formação de professoras de física: uma contribuição para o desenvolvimento de uma visão crítica da ciência e da modelagem científica**

### **Resumo**

A formação integral de um professor de Ciências implica, além do domínio de seu campo disciplinar, uma concepção crítica sobre a Ciência e seu ensino. A partir desta reflexão elaboramos uma proposta didática cujo principal objetivo foi valorizar aspectos disciplinares, epistemológicos e didáticos, que propiciassem ao estudante uma melhor compreensão do processo de construção do conhecimento científico. Tal proposta baseia-se na implementação dos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (TASC) e no processo de modelagem científica com fins didáticos, com o uso de modelos computacionais e do diagrama AVM (Adaptação do V de Gowin para a Modelagem Computacional). Neste artigo são apresentados resultados de pesquisa no ensino de Mecânica envolvendo alunos que já cursaram disciplinas de Física Geral (sete estudantes do programa de Física da Universidade de Antioquia, Colômbia, em um total de 36 h-aula). Cada estudante constitui-se em um caso de estudo, investigado por meio de entrevistas, respostas a testes (sobre a concepção de ciência e de modelagem, e o FCI – Force Concept Inventory) e desenvolvimento de atividades de modelagem computacionais. Verificou-se que foi possível aplicar os princípios da TASC por meio da modelagem didática científica, levando os estudantes a enriquecerem as suas concepções sobre Ciências, além de terem aprofundado seus conhecimentos disciplinares.

**Palavras chave:** Modelagem computacional, Diagrama AVM, Aprendizagem Significativa Crítica, Ensino de Física.

## 1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Física se ha convertido en un campo de investigación que adquiere cada vez una mayor relevancia, gracias a que investigadores y enseñantes de esta disciplina han empezado a tomar conciencia de que para enseñar Física, no es suficiente tener un gran dominio de los contenidos disciplinares; y que más allá de eso, el dominio de aspectos epistemológicos y didácticos relacionados con la disciplina entran a jugar un papel fundamental.

Existe un cierto consenso en relación con que un profesor de ciencias además de saber la ciencia que enseña, debe saber sobre y acerca de esa ciencia, de su génesis, de su historia, de las razones de su permanente evolución; pues sólo de esta manera puede asumirse una actitud crítica frente al conocimiento científico y su enseñanza. Es decir, afrontando el difícil reto de enseñar no solo la ciencia, sino acerca de la ciencia, con el propósito de que los estudiantes adquieran una visión crítica coherente con las concepciones epistemológicas contemporáneas.

La formación de profesores de ciencias con visiones más críticas en relación con el conocimiento científico, su construcción y evolución, forjará enseñantes de ciencias más idóneos para propiciar en las aulas de clase no solo un aprendizaje significativo de la ciencia, sino un aprendizaje significativo crítico de la misma. Y es esta perspectiva la que nos atrae y nos lleva a proponer la implementación de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (Moreira, 2005) en el aula de clase; lo que implica atender e incorporar en ella los principios facilitadores de la teoría relacionados con aspectos epistemológicos (principio del aprendizaje por error, del desaprendizaje y de la incertidumbre del conocimiento). Referente teórico altamente apropiado para ser implementado en actividades de aula y para favorecer la formación de estudiantes con visiones más críticas en relación con el mundo que les rodea.

De la misma manera, adquirir una actitud crítica frente al conocimiento en una época en la que la tecnología juega un papel preponderante, implica (sin llegar al punto de una idolatría tecnológica) no desconocer el aporte de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, específicamente de las tecnologías computacionales en la facilitación de procesos propios del conocimiento científico tales como: la recolección y análisis de datos, los cálculos numéricos, la graficación, la comunicación, la simulación y modelación de fenómenos, entre otros; así como su contribución al proceso de construcción de conocimiento por parte de los estudiantes.

En este orden de consideraciones, en el marco de este estudio se hace uso de la modelación computacional para la enseñanza de conceptos científicos, por constituirse en una herramienta cognitiva altamente promisoría para apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y de la Física en particular; abordándose aquí con el propósito de favorecer la formación de estudiantes más críticos y reflexivos, no solo en relación con el conocimiento científico sino también con el uso de las tecnologías computacionales en el aula de clase.

No obstante, la implementación de recursos computacionales en el aula de clase, debe estar orientada desde estrategias didácticas que permitan alcanzar los objetivos educativos propuestos con el uso de estas herramientas. Y desde esta perspectiva, este estudio se apoya en el uso del diagrama AVM (Araujo, 2005; Araujo, Veit y Moreira, 2012), el cual se constituye a partir de la adaptación de la V de Gowin a las actividades de modelación y simulación computacional, y fue creado con el propósito de que dichas actividades sean realizadas de una manera más reflexiva; posibilitando un mejor análisis y comprensión de los modelos computacionales mediante la percepción de las relaciones teórico-metodológicas que se manifiestan en el proceso de interacción o construcción de los mismos.

Y en el intento de generar una articulación que ponga de relieve la compatibilidad existente entre la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, se plantea un estudio que busca generar respuestas a la pregunta: ¿De qué manera la introducción de elementos fundamentales de la modelación científica a través del uso de modelos computacionales y del diagrama AVM favorece en los estudiantes la formación de visiones epistemológicas más acordes con las posturas actuales?

Y como posibles respuestas a dicha pregunta de investigación, se muestran en este artículo los principales resultados en relación con el desarrollo de una visión más crítica sobre la ciencia y la modelación científica, por parte de los participantes en el estudio; lo que consideramos se da como producto de la introducción de algunos elementos fundamentales de la modelación científica a través del uso de modelos computacionales y del diagrama AVM. Pues el uso de modelos computacionales para recrear modelos científicos y del diagrama AVM como estrategia heurística para organizar el conocimiento, tenían como propósito acercar a los estudiantes al proceso de producción de conocimiento científico, al considerar la modelación como un elemento fundamental en la construcción de éste (Bunge, 1972, 1985; Giere, 1988); considerando la modelación científica como un recurso didáctico potencialmente capaz de apoyar al estudiante en el aprendizaje de la ciencia (Hestenes, 1992; Brandão, Araujo y Veit, 2010) y de llevarlo a comprender aspectos relacionados con la epistemología de la ciencia.

## 2. MARCO TEÓRICO

### Acerca de los modelos y la modelación científica

En las últimas décadas, la incursión en el campo de los modelos y de la modelación científica orientada a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, y la posibilidad de que dicho campo sea abordado desde una perspectiva didáctica fundamentada en la modelación y la simulación computacional, sugieren la necesidad de asumir una visión crítica que implique la asunción de enfoques epistemológicos centrados en la concepción de modelos y modelación científica. Por lo que consideramos pertinente abordar visiones como la de Mario Bunge, en lo que a estos asuntos se refiere, para orientar una enseñanza de las ciencias centrada en los modelos y en la modelación. Y

considerando que un enfoque fundamental en la enseñanza de las ciencias es el uso de la modelación en el aula de clase, es imprescindible ayudar a los estudiantes a aprender acerca de la naturaleza de los modelos científicos, el proceso de construcción de dichos modelos y su utilidad en la predicción y la descripción de los fenómenos del mundo real (White, 1998).

En este sentido, se recurre en este estudio a Mario Bunge como referente epistemológico en relación concretamente con su visión acerca de la modelación científica y el papel que desempeñan los modelos científicos en la construcción de conocimiento, con la firme convicción de que estos últimos cumplen un rol fundamental en la enseñanza de las ciencias (Cupani & Pietrocola, 2002; Justi, 2006).

Desde la perspectiva de Bunge, la ciencia es un proceso creativo que resalta el papel activo del sujeto, quien pone en juego los conocimientos, las preferencias y aun la pasión intelectual en la construcción de modelos conceptuales y modelos teóricos como actividad creadora (Bunge, 1972). Los modelos a los que Bunge hace referencia se construyen como explicaciones del mundo y con el propósito expreso de apresar la realidad, y son asumidos como representaciones simplificadas e idealizadas de ésta y no como la realidad misma. Esta visión es compartida por autores como Greca y Moreira (1997), Justi y Gilbert (2000), Justi (2006) y Giere (1988, 2010).

El proceso de construcción de dichos modelos es lo que se entiende como *modelación científica* desde la concepción de Bunge, considerando que todo modelo científico contribuye a optimizar la comprensión de la realidad, la aprehensión del mundo.

Desde esta perspectiva, se espera que la incorporación de los elementos propios de la modelación científica en el aula de clase torne estudiantes con visiones cada vez más críticas y reflexivas en relación con el conocimiento científico, su construcción y su evolución. Así, de acuerdo con Pietrocola (1999, p. 226), “la posibilidad de comparar y tomar decisiones sobre la forma de representar la realidad volverá a los estudiantes más críticos y más capaces de disfrutar de los *insights* que han apasionado a los científicos a lo largo de los tiempos”.

### **La Teoría del aprendizaje Significativo Crítico: principios epistemológicos**

La Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (Ausubel, 2002) subyace a la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (Moreira, 2005) -referente teórico en el que se fundamenta este estudio-, que considera una serie de principios fundamentales que posibilitan el proceso de aprendizaje significativo desde una visión subversiva o crítica.

Desde la perspectiva ausubeliana existen dos condiciones fundamentales para que ocurra el aprendizaje significativo: la existencia de conocimientos previos en la estructura cognitiva del estudiante, que puedan ser relacionados con el nuevo material de aprendizaje y la predisposición del estudiante para aprender de manera significativa los contenidos que le son enseñados; es decir, que el estudiante esté lo suficientemente motivado para que se constituya en

un sujeto activo en el proceso de adquisición y construcción de conocimientos.

Una manera de facilitar esta segunda condición podría ser la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC), propuesta por Moreira (2005), basándose en las ideas de Postman y Weingartner (1969) expuestas en su libro *La enseñanza como una actividad subversiva*. Dicha teoría considera que el aprendizaje debe ser no sólo significativo, sino también subversivo o crítico, permitiendo al estudiante convertirse en un sujeto activo en la construcción de su conocimiento y asumir una posición crítica frente a éste y al entorno que lo rodea, de frente a una sociedad en permanente cambio y evolución.

Para lograr tal criticidad, Moreira (2005) propone nueve principios para orientar la realización de actividades educativas en el aula de clase; éstos son ideas o estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo crítico, susceptibles de ser implementadas en el aula de clase.

Estos principios son: 1) principio de la interacción social y del cuestionamiento; 2) principio de la no centralización en el libro de texto; 3) principio del aprendiz como perceptor/representador; 4) principio del conocimiento como lenguaje; 5) principio de la conciencia semántica; 6) principio del aprendizaje por error; 7) principio del desaprendizaje; 8) principio de incertidumbre del conocimiento y, 9) principio de la no utilización de la pizarra. No obstante, en el presente estudio haremos énfasis solamente en los principios 6, 7 y 8, a los que denominamos principios epistemológicos.

Algunos de los principios del aprendizaje significativo crítico son plenamente compatibles con la visión que tenemos del proceso de modelación en el contexto de este estudio; por lo que consideramos que al incorporar tales principios como eje fundamental de este trabajo, se proporcionan herramientas y condiciones apropiadas para que nuestros estudiantes construyan su conocimiento desde una perspectiva crítica que les permita percibir y representar un mundo que se encuentra en permanente transformación.

En este sentido, consideramos que a partir de la incorporación en el aula de clase de algunos elementos propios del proceso de modelación científica, mediante actividades de modelación computacional y haciendo uso del diagrama AVM, y apoyándonos en lo que denominamos principios epistemológicos facilitadores del aprendizaje significativo crítico; se permite al alumno acercarse a los procesos de producción de conocimiento científico, asumiendo el error y la incertidumbre del conocimiento como elementos fundamentales en el proceso de construcción de conocimiento.

### **Modelación computacional con diagrama AVM**

La modelación computacional se ha convertido en una potencial herramienta para la enseñanza de las ciencias, ya que permite dar cuenta de un fenómeno estudiado desde distintos puntos de vista de modo más simple y directo que la experimentación convencional en un laboratorio, convirtiéndose además en un valioso complemento para el trabajo experimental. Asimismo, la modelación computacional permite al estudiante construir una idea,

representación, imagen o modelo mental a partir de imágenes externas, necesarias para la comprensión del mundo físico.

No obstante, la incorporación de las actividades de modelación computacional en el aula de clase necesariamente debe estar orientada por una estrategia metodológica que permita visualizar el proceso de construcción de conocimiento a partir de modelos; por lo que se propone el diagrama AVM -desde sus dominios conceptual y metodológico- como una herramienta que permite explorar y/o construir modelos computacionales, abordando todos y cada uno de los componentes necesarios para su comprensión.

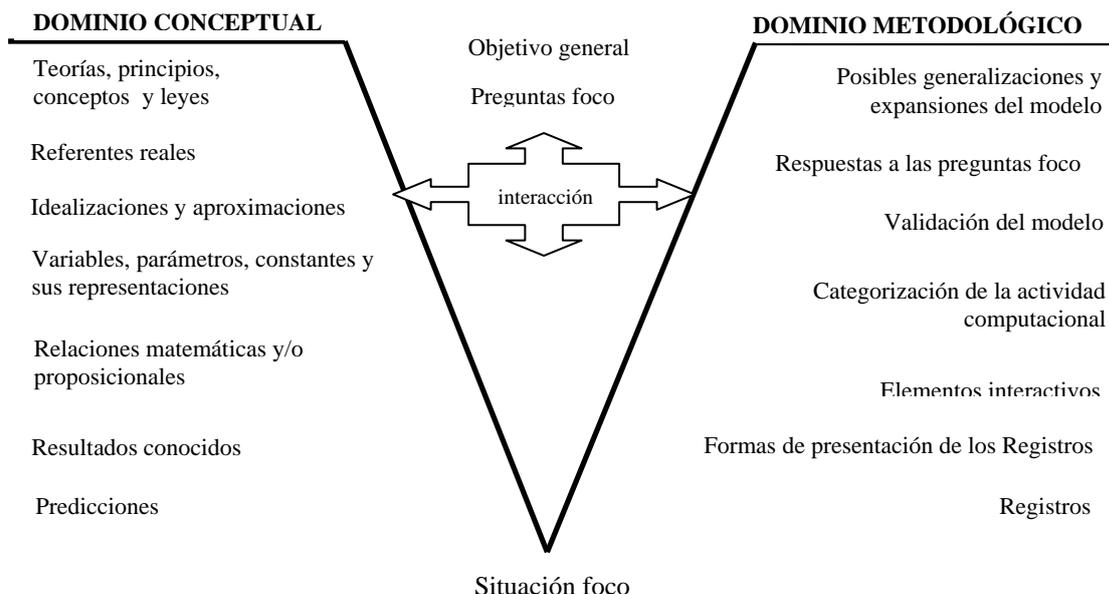
De acuerdo con Araujo, Veit y Moreira (2007), el diagrama AVM tiene como objetivo primordial fomentar la reflexión crítica por parte de los alumnos sobre los modelos físicos abordados, contribuyendo así a un aprendizaje significativo crítico.

Este diagrama es utilizado en el contexto del presente estudio como una estrategia de enseñanza-aprendizaje que apoya y orienta a los estudiantes en el proceso de interacción con actividades de modelación computacional y de las posibilidades brindadas para establecer relaciones

entre el dominio teórico y metodológico de un modelo computacional.

Así, Araujo (2005) presenta el diagrama AVM como un instrumento heurístico, elaborado a partir de la adaptación de la V de Gowin para actividades que involucran el uso de modelación computacional. El formato V es adoptado por evidenciar la interacción entre los dos dominios indispensables para la construcción de un modelo computacional dirigido a los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Física: el dominio teórico relacionado con la concepción del modelo computacional y el dominio metodológico asociado a la implementación y/o exploración de este modelo. La figura 1 muestra cada uno de los componentes de la última versión del diagrama AVM.

Es importante resaltar que hay una permanente interacción entre los dos lados del diagrama, de modo que todo lo que es hecho en el lado metodológico está guiado por los componentes del lado teórico o conceptual, con el objetivo de construir/analizar el modelo y dar respuesta a las preguntas foco.



**Figura 1.** Versión actualizada del diagrama AVM (Araujo, Veit y Moreira, 2012)

### Articulación entre la TASC y la modelación computacional con diagrama AVM

Este estudio parte del supuesto de que es posible atender los principios epistemológicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico en el aula de clase a partir de la implementación de actividades de modelación computacional apoyadas en el uso del diagrama AVM. En el cuadro 1 se muestra de manera sucinta un paralelo establecido entre los principios epistemológicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico abordados en este estudio y la manera de implementarlos y valorarlos en el aula de clase a partir de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.

### 3. METOLOGÍA

El presente estudio se fundamentó en un enfoque de investigación cualitativa-interpretativa, con estudio de caso colectivo (Stake, 1998), en el que se eligen varios casos porque se cree que éstos permitirán una mejor comprensión de una determinada situación o fenómeno. Los casos de análisis fueron siete estudiantes que para el período 2009-1 cursaban entre el octavo y décimo semestre del programa de Física de la Universidad de Antioquia; y dado que en el contexto colombiano el campo de acción más inmediato para los físicos es la docencia en la educación básica y media, en este programa se imparte la asignatura denominada Didáctica para Físicos, que tiene como propósitos brindarle a estos futuros profesores algunos

conocimientos y estrategias didácticas que se constituyan en herramientas para apoyar su acción docente. Y fue justamente en este curso en el que se llevó a cabo el presente estudio, en el que la profesora titular hizo las veces de investigadora y es una de las autoras del artículo.

En coherencia con el enfoque metodológico abordado, la recolección de información en este estudio contempla tres etapas consecutivas (recolección de la información inicial, aplicación de la propuesta didáctica y recolección de la información final), que se describen a continuación, haciendo énfasis en los instrumentos, técnicas y actividades implementadas.

Principios epistemológicos de la TASC	Modelación computacional con diagrama AVM
<i>Del aprendizaje por error:</i> de acuerdo con este principio, el hombre aprende corrigiendo sus errores, asumiendo que no hay verdades absolutas y que el conocimiento está en permanente cambio. Desde esta perspectiva, aprender críticamente implica buscar sistemáticamente el error considerándolo como algo natural en el proceso de aprendizaje.	<i>Valoración crítica de los modelos:</i> incentivar en los estudiantes la valoración crítica de los modelos computacionales de manera que les permita la detección de errores como estrategia para la validación y perfeccionamiento de dichos modelos, así como valorar el contexto de validez de los mismos.
<i>Del desaprendizaje:</i> para aprender significativamente es necesario que se dé un anclaje entre el nuevo conocimiento y el conocimiento previo (subsumidor); siempre y cuando éste último sea claro, diferenciado y pertinente. En caso contrario, es necesario no usar (desaprender) aquellos subsumidores que nos impiden captar los significados del nuevo conocimiento.	<i>El modelo como representación parcial y provisional:</i> favorecer en los estudiantes la comprensión del concepto de modelo y del papel que éste desempeña en la representación de un sistema/evento físico, en relación con los objetivos y el grado de precisión deseado.
<i>De la incertidumbre del conocimiento:</i> este principio asume las preguntas como instrumentos de percepción y las definiciones y metáforas como instrumentos para pensar. El conocimiento no está fundamentado en verdades absolutas, es incierto justamente porque depende de las preguntas que nos hacemos sobre el mundo y porque está expresado a través de definiciones que fueron inventadas con cierta finalidad.	<i>Concepción de modelo:</i> propiciar en los estudiantes la evolución de sus concepciones acerca de la ciencia y de los modelos conceptuales como representaciones parciales de la naturaleza susceptibles de ser mejoradas.

**Cuadro 1.** Articulación entre la TASC y la modelación computacional con diagrama AVM

### Proceso de intervención

En el cuadro 2 se muestra una síntesis de las etapas de recolección de la información (inicial y final y de aplicación de la propuesta didáctica), así como las actividades, instrumentos de recolección de información y sus objetivos. Las diferentes actividades que conformaron la propuesta didáctica se describen asignando a cada una de ellas, un número que permitirá una mejor identificación en la sección correspondiente al análisis de resultados.

Es importante aclarar que en las actividades 2 a la 9 de la propuesta didáctica se hizo uso de modelos computacionales; y el diagrama AVM fue introducido por la profesora a partir de la actividad número 4 de la propuesta didáctica, donde se hace una presentación y se explica el propósito y manera de diligenciarlo. Y es usado por los estudiantes con permanente orientación de la profesora, durante las actividades 6, 7, 8 y 9.

En las actividades 6, 7 y 9 de la propuesta didáctica, se implementan las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, de acuerdo con lo propuesto por Araujo, Veit y Moreira (2006, 2012), quienes proponen cuatro modos básicos de uso de este diagrama AVM:

1) Modo exploratorio dirigido: en el diagrama AVM, el objetivo general, las preguntas foco y la situación foco son

definidas por el profesor y un modelo computacional es presentado. La elaboración reflexiva del diagrama AVM servirá como una guía para la exploración del modelo de manera que se respondan las preguntas planteadas.

2) Modo exploratorio abierto: es presentado un modelo computacional y se pide al alumno que a través del diagrama AVM, explore de forma reflexiva el modelo, dando especial atención a la formulación de las preguntas foco.

3) Modo expresivo dirigido: en este caso el objetivo general, las preguntas foco y la situación foco son aportados previamente por el profesor, dejando a cargo del alumno la elaboración del resto del diagrama AVM y la construcción del modelo computacional correspondiente.

4) Modo expresivo abierto: son propuestas actividades en que el alumno debe construir el modelo computacional a partir de la elaboración reflexiva del diagrama AVM, definiendo él mismo el objetivo general, las preguntas foco y la situación foco que guiarán su trabajo. Este modo de uso del diagrama AVM puede guiar al profesor y a los alumnos en la construcción de sus propios modelos.

En este estudio fueron utilizados los modos exploratorio dirigido, exploratorio abierto y expresivo abierto, como se observa en el cuadro 2. Y en la actividad 8 aunque no se explicita, se hizo uso del modo exploratorio abierto.

**Cuadro 2.** Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio

Etapas	Actividades e instrumentos de recolección de información	Objetivo	Duración
Información	Test FCI (Hestenes, Wells y Swackhamer,	Conocer el dominio que tenían los estudiantes acerca	2 horas

<b>inicial</b>	1992), traducido al castellano como Cuestionario sobre el concepto de fuerza	de los principales conceptos de la dinámica Newtoniana.	
	<i>Pretest</i> sobre Imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias. Adaptación del cuestionario INPECIP (Porlán, 1989; Porlán, Rivero y Martín, 1997).	Conocer la visión de ciencia que tenían los estudiantes en este nivel de su formación.	40 minutos
	Entrevista inicial semi-estructurada	Detectar y complementar las concepciones epistemológicas de los estudiantes.	40 minutos
<b>Propuesta didáctica</b>	1. Lectura crítica y discusión del artículo "Aerodinámica da bola de futebol" de Aguiar y Rubini (2004).	Familiarizar a los estudiantes con elementos de la modelación científica, por medio del análisis de un fenómeno físico con herramientas computacionales.	4 horas (2 sesiones)
	2. Formulación de preguntas por parte de los estudiantes a partir de situaciones problema.	Promover la formulación de preguntas de interés para situaciones problema propuestas.	2 horas
	3. Modelación computacional de libre exploración.	Explorar modelos computacionales a partir de los diferentes elementos interactivos	4 horas (2 sesiones)
	4. Presentación de la profesora sobre algunas ideas y estrategias de la modelación computacional.	Brindar elementos para abordar de modo crítico la modelación computacional.	2 horas
	5. Manejo del programa de modelación computacional <i>Modellus 2.5</i> .	Familiarizar a los estudiantes con el manejo del programa <i>Modellus 2.5</i> .	2 horas
	6. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM.	Explorar modelos computacionales haciendo uso del diagrama AVM.	4 horas (2 sesiones)
	7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto con diagrama AVM.	Estimular la capacidad para formular preguntas a partir de las actividades computacionales.	4 horas (2 sesiones)
	8. Detección del error en un modelo computacional.	Buscar evidencias de una valoración crítica de los modelos que posibilite la detección de errores.	4 horas (2 sesiones)
	9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM.	Incentivar la habilidad para formular preguntas y diseñar modelos computacionales.	4 horas (2 sesiones)
<b>Información final</b>	<i>Postest</i> sobre Imagen de Ciencia y enseñanza de las ciencias.	Identificar alguna evolución en la visión de ciencia de los estudiantes.	40 minutos
	Entrevista final semi-estructurada.	Buscar indicios de modificaciones en las concepciones epistemológicas relacionadas con los principios de la TASC.	40 minutos

#### 4. RESULTADOS

Como ya se mencionó, este estudio fue realizado durante el primer semestre de 2009 con una intensidad de cuatro horas semanales divididas en dos sesiones (dos horas cada una), para un total de aproximadamente 36 horas. Al momento de la intervención, todos los estudiantes habían cursado todas las asignaturas de Física Clásica; e inclusive algunos de ellos habían cursado algunas asignaturas de Física Moderna. El estudio fue realizado con siete estudiantes, donde cada uno de ellos se constituyó en un caso de análisis, pero dada la limitación de este texto, se muestra aquí el análisis solo para tres de esos casos, considerados representativos del estudio.

Se presentan los resultados relativos a este estudio, mostrando inicialmente y de manera general los resultados del *test FCI* que fueron utilizados como punto de partida para el delineamiento de algunas de las actividades. Posteriormente se presentan los demás datos colectados haciendo una síntesis interpretativa de la información obtenida para cada uno de los casos estudiados.

La aplicación del *test FCI* que constaba de 30 preguntas, se aplicó al inicio de la intervención con el propósito de tener una visión general acerca del dominio que tenían los estudiantes del campo conceptual de la mecánica Newtoniana, sin pretender hacer inferencias estadísticas a partir de ello. Y con base en los resultados (tabla 1) definir/redefinir algunas de las actividades que hicieron parte de la propuesta didáctica de este estudio.

**Tabla 1.** Desempeño de los estudiantes en el cuestionario sobre el concepto de fuerza o *test FCI*.

Estudiante	Número de respuestas correctas	Media de respuestas correctas	Desviación estándar	Coefficiente de variación
1	26	23.71	4.61	19.43
2	24			
3	19			
4	29			
5	27			
6	25			
7	16			

A partir de la tabla 1 es posible considerar que el grupo de los siete estudiantes participantes en el estudio tiene un nivel aceptable de conocimientos sobre mecánica Newtoniana;

siendo 79.05% la media del porcentaje de respuestas correctas. Esto, si se tiene en cuenta que Hestenes y Halloun (1995) consideran que el nivel mínimo a partir del cual se da

un nivel de conocimientos de mecánica Newtoniana válido -*Entry threshold*- se sitúa en el 60% de respuestas correctas del *test FCI*. Nivel que no fue alcanzado por el estudiante 7; mientras los estudiantes 1, 4 y 5 superan inclusive el 85% de respuestas correctas al *test FCI*; límite propuesto por Hestenes y Halloun (1995) a partir del cual consideran que se da un nivel de conocimientos y de comprensión comparable a la concepción Newtoniana -*Mastery threshold*-.

El valor del coeficiente de variación sugiere que no existe mucha homogeneidad en la comprensión que tienen los estudiantes sobre la mecánica Newtoniana; sin embargo,

como ya fue mencionado, consideramos que el grupo tiene un dominio aceptable de este campo de conocimiento que le permite llevar a cabo actividades de modelación computacional de modo expresivo o de creación, en relación con determinado campo.

De otro lado, los principios epistemológicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico abordados en este estudio, los objetivos específicos relacionados con cada uno de estos principios y los instrumentos de recolección de información que permiten la valoración de cada uno de los objetivos, son mostrados en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Instrumentos de recolección de información y criterios de análisis usados para valorar el progreso de los estudiantes en relación con los principios epistemológicos de la TASC.

Principio de la TASC	Objetivo relacionado	Instrumentos de recolección de información	Criterios para el análisis de los principios epistemológicos
<b>Principio 6:</b> principio del aprendizaje por error	Buscar evidencias en los estudiantes de una valoración crítica de las simulaciones computacionales que les permita la detección de errores como estrategia para la validación y perfeccionamiento de los modelos.	<i>Pretest, postest,</i> entrevistas inicial y final.  Actividades de la propuesta didáctica: 8, 9.	Se buscó como principal evidencia que los estudiantes realizaran una valoración crítica de los modelos computacionales explorados y construidos, de tal manera que consiguiesen detectar los errores comprendidos en éstos y así corregirlos sistemáticamente en la búsqueda de la validación y el perfeccionamiento de dichos modelos. De este modo, la actividad 8, denominada “detección del error en un modelo computacional”, estuvo constituida por dos modelos computacionales proporcionados a los estudiantes; y en los cuales se introdujo de manera intencional un error en las ecuaciones de ambos modelos, sin alertar a los estudiantes sobre la existencia de éstos.
<b>Principio 7:</b> principio del desaprendizaje	Valorar la forma como los estudiantes conciben los modelos y el papel desempeñado por éstos en la representación de un sistema/evento físico, en relación con los objetivos y el grado de precisión deseado.	<i>Pretest, postest,</i> entrevistas inicial y final.  Actividades de la propuesta didáctica: 1, 9.	Este principio se refiere a desaprender (en el sentido de no utilizar como subsumidor) concepciones previas sobre el conocimiento científico que actúan como obstáculos epistemológicos imposibilitando internalizar la idea de modelo como una representación esquemática (siempre parcial y no exclusiva) y de multirepresentación. El propósito es que los estudiantes se den cuenta de que un modelo es una representación esquemática, que no tiene en cuenta todos los pormenores y que no necesariamente es la única representación existente para un fenómeno o sistema físico.
<b>Principio 8:</b> principio de incertidumbre del conocimiento	Determinar la contribución de la modelación científica en la evolución de las concepciones de ciencia de los estudiantes, relacionadas con los modelos conceptuales como representaciones parciales de la naturaleza susceptibles de ser mejoradas.	<i>Pretest, postest,</i> entrevistas inicial y final.  Actividades de la propuesta didáctica: 1, 8, 9.	En este principio se asumen las diferentes formas de conocimiento como invenciones o construcciones humanas inciertas y provisionales; y por lo tanto susceptibles de ser mejoradas. Así, a partir de este estudio se buscan evidencias acerca de la contribución de las actividades de modelación computacional en la evolución de las concepciones de los estudiantes, relacionadas con los modelos conceptuales como representaciones parciales de la naturaleza que pueden ser sistemáticamente perfeccionadas.

El análisis del *pretest* y *postest* sobre imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias se sintetiza en las tablas 2 y 3; de donde puede concluirse que existe una diferencia significativa entre *pretest* y *postest*, que se traduce en una evolución de las concepciones de los estudiantes en relación con su visión inicial de ciencia y enseñanza de las ciencias.

Y aunque los resultados de este *test* aportan información acerca de la imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias, por el interés específico de este estudio en los principios epistemológicos de la TASC, solamente son abordadas las respuestas de los estudiantes que se refieren a la visión o imagen de ciencia.

**Tabla 2.** Desempeño de los estudiantes en el *pretest* y *postest* para las categorías imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias

Categoría	Test	N	Media del puntaje total	Desviación estándar del puntaje total	Coefficiente de Variación (%)
Imagen de ciencia	<i>Pretest</i>	7	44,28	4,64	10.48
	<i>Postest</i>	7	58,14	5,27	9.06
Enseñanza de las ciencias	<i>Pretest</i>	7	43,28	2,28	5.28
	<i>Postest</i>	7	51,57	3,40	6.60

**Tabla 3.** Prueba de Wilcoxon para la diferencia significativa *pretest-postest*.

Categorías	N	T	Nivel de significancia (Wilcoxon) $\alpha$
Imagen de ciencia	7	0	0.02
Enseñanza de las ciencias	7	0	0.02

De esta manera, el análisis de la categoría imagen de ciencia, se valora a partir de dos visiones: una visión tradicional y una visión constructivista. La visión tradicional en relación con la imagen de ciencia hace referencia a una tendencia positivista, empirista-inductivista y atébrica; y la visión constructivista para esta misma categoría, hace alusión a un modelo más acorde con las actuales concepciones sobre el conocimiento científico y su construcción. Asimismo, el análisis de las entrevistas inicial y final, se lleva a cabo considerando la visión tradicional o constructivista de los estudiantes con respecto a la ciencia y su evolución.

Como procedimiento central que orientó el proceso de análisis de la información, se realizó una acción de triangulación ascendente y dialéctica, que permitió llevar a cabo confrontaciones entre las diferentes fuentes de información y de éstas con el marco teórico que orientó la investigación; buscando además garantizar la fiabilidad del análisis de la información y de las respectivas interpretaciones.

Se presenta entonces la valoración del progreso de tres de los estudiantes participantes en el estudio -estudiantes 4, 5 y 7-; teniendo como criterio fundamental para la elección de estos tres casos, su desempeño en las diferentes actividades del proceso de intervención; eligiendo un estudiante con desempeño bajo (Estudiante 7), un estudiante con desempeño medio (Estudiante 4) y un estudiante con desempeño alto (Estudiante 5). Otro criterio que posibilitó la elección de estos tres casos es el hecho de que estos estudiantes nunca coincidieron en un mismo grupo de

trabajo -con excepción de los estudiantes 4 y 7 que trabajaron conjuntamente en la actividad 9 de la propuesta didáctica-.

#### Estudiante 4

Con 23 años de edad, este estudiante cursaba el octavo nivel de su carrera; trabajaba como monitor del curso de instrumentación, con una gran habilidad para trabajar en programación. Para este momento de su carrera había reprobado los cursos: Física III, Electrónica, Física Estadística, Óptica y Física Matemática III. Este estudiante 4 estuvo particularmente interesado en las diferentes actividades de modelación computacional, mostrando una muy buena predisposición para el desarrollo satisfactorio de éstas. Aunque manifestó su inclinación por el trabajo individual, accedió fácilmente a trabajar en parejas en las actividades del curso que así lo requerían.

En relación con los principios epistemológicos de la TASC, existen indicios de que este estudiante logró fortalecer de manera satisfactoria su visión de ciencia, realizando una acertada validación de los modelos computacionales presentados, detectando y corrigiendo apropiadamente los errores contenidos en dichos modelos. Asimismo, podemos afirmar que este estudiante logra una internalización de la idea de modelo, asumiendo éste como una representación esquemática parcial y no exclusiva; y admitiendo que pueden existir varios modelos que representen una misma situación o fenómeno físico.

De la misma manera, en la etapa final de la intervención, el estudiante 4 admite que difícilmente una teoría científica puede aportar una visión exacta de la realidad; en este sentido, considera que éstas son imperfectas y que es necesario replantearlas de manera permanente, reevaluarlas y en algunos casos hasta reemplazarlas por otras nuevas.

En los cuadros 4 y 5 pueden encontrarse algunas evidencias del desempeño del estudiante 4 en las diferentes actividades de la intervención.

**Cuadro 4.** Respuestas del estudiante 4 al *pretest*, *postest*, entrevista inicial y entrevista final, en relación con los principios epistemológicos de la TASC

Principios de la TASC	Instrumentos de recolección de información			
	<i>Pretest</i>	<i>Postest</i>	Entrevista inicial	Entrevista final
principio del aprendizaje por error	“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”	“La metodología científica no garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad”  “La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”	“...le doy muchísimo valor a la experimentación porque para mí, es el aterrizaje de los teóricos o la espina de los teóricos; el experimento es lo que realmente les va a dar razón si es así o no, es lo que les va a decir si esa teoría que construyeron explica realmente la realidad”	“...es que el conocimiento científico está fuertemente influenciado por la historia y la sociedad, como lo decía ahora. Y si los humanos cometemos errores, ese conocimiento va a tener errores, pero estos tienen que ser siempre superados hasta que aporten explicaciones adecuadas...”
Principio del	“El	“La investigación	“...yo creo que no	“...es que en cualquier persona, sea un científico o

desaprendizaje	conocimiento humano no es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”	científica no comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia” “El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”	cualquiera puede hacer ciencia, es más, es que eso solo lo puede hacer un científico que cuente con todas las herramientas y la mentalidad para hacerlo”	no, siempre tienen que existir en su cabeza algunas ideas, que le permitan por ejemplo interpretar alguna cosa que esté observando, y dependiendo de lo que tenga en su cabeza va a dar o no una mejor interpretación... ..y así muchas personas pueden dar diferentes interpretaciones y todas pueden estar buenas...”
Principio de la incertidumbre del conocimiento	“La Ciencia no ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas”	“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”	“...una teoría científica tiene que explicar la realidad tal y como es o sino no sirve, y la experimentación es la que determina si esa teoría está buena o no”	“...se ha dado desde siempre, nunca vamos a encontrar una teoría que explique todo adecuadamente, la realidad; pues explicará fenómenos a cierta escala pero es incapaz de explorar la realidad totalmente”  “...cada vez tienen que surgir más y más teorías nuevas porque con el paso de los años las personas se van dando cuenta que las teorías que creíamos perfectas no son tan perfectas...”

A continuación se describen en el cuadro 5 los comentarios más relevantes del estudiante 4 en el desarrollo de las actividades 1, 8 y 9 de la intervención, y que aportan

información valiosa acerca de los principios epistemológicos de la TASC.

**Cuadro 5.** Actividades de la propuesta didáctica realizadas por el estudiante 4, relacionadas con los principios epistemológicos de la TASC.

Actividades asociadas a los principios epistemológicos de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	Al igual que para los demás estudiantes, para el estudiante 4, conceptos como la crisis de arrastre y el efecto Magnus abordados en esta actividad eran completamente desconocidos; y en la discusión del artículo se refirió al análisis de esta situación con los siguientes comentarios: “...yo creo que definitivamente no sabemos nada de Física; pues uno echa mano de los conocimientos que tiene para intentar con eso explicar una cosa que le muestren o que uno observe; pues yo por ejemplo no pasaría de las leyes de Newton y de la cinemática para explicar la situación esa de la jugada...”  “...es que uno lo que puede ver con esto es que hay tantas maneras diferentes de explicar un fenómeno y que a medida que uno va aprendiendo más, pues va teniendo como más bases para explicar un cierto fenómeno...y seguramente que si nosotros hubiéramos sabido más de estos conceptos, hubiéramos tenido otra forma de explicar el fenómeno”
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	<u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u> Para el análisis de este modelo, el estudiante 4 fue el primero en detectar que había un error y se lo hizo saber de inmediato a la profesora investigadora que dirigía la actividad. Este estudiante realiza completamente la actividad de exploración abierta del modelo; pero en las relaciones escribe la ecuación con el error y una nota que dice: “debe ser modificada”. En la validación del modelo escribe lo siguiente: “El modelo no se valida, pues la ecuación que gobierna el movimiento real no es correcta; el modelo inicial no consideró que la fuerza resistiva del aire siempre es opuesta al movimiento; si la ecuación es $F = -mg - bv^2$ , entonces cuando el objeto cae, el aire empuja el objeto hacia abajo”  A pesar de que el estudiante 4 solo estuvo presente en la primera parte de esta actividad, detectó fácil y rápidamente el error existente en el modelo computacional, corrigiéndolo de manera inmediata y realizando una validación acertada de dicho modelo.
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	El estudiante 4 trabajó en compañía del estudiante 7 y construyeron un solo modelo computacional para un péndulo amortiguado. El ejercicio de construcción de este modelo tardó cuatro horas, ya que fue permanentemente perfeccionado y diseñado posteriormente el respectivo diagrama AVM.  A pesar de obtener varias versiones del modelo computacional, que en principio eran adecuadas para representar la situación física presentada, el estudiante 4 no se mostraba a gusto con las versiones obtenidas del modelo, modificándolo permanentemente hasta lograr un modelo que considerase apropiado y que lograra una mejor aproximación a la situación física representada. Al respecto, este estudiante expresa: “...es que yo lo que quería era un modelo lo más preciso posible, que aunque sé que nunca va a ser exacto, pero que fuera lo más bien hecho que se pudiera; pues ya habíamos logrado unos buenos, pero queríamos mejorarlo”

### Estudiante 5

A los 21 años de edad, este estudiante se encontraba realizando el octavo nivel de su carrera, trabajaba como monitor del curso de óptica y fotónica y no había reprobado

ninguna asignatura; además se caracterizaba por tener un excelente rendimiento académico. Y en relación con la intervención, demostró una gran disposición para realizar todas y cada una de las diversas actividades que hacían parte de la propuesta didáctica; y de manera particular, mostró gran satisfacción con el proceso de corrección de los modelos computacionales en la actividad relacionada con la detección del error; afirmando que este ejercicio le permitía profundizar aún más en la comprensión de las situaciones físicas planteadas. Además muestra una muy buena disposición para el trabajo en grupo.

En lo que se refiere a los principios epistemológicos de la TASC, puede valorarse el progreso en la concepción de ciencia que logra este estudiante, se obtienen indicios de un progreso significativo en su visión de ciencia; de tal manera que al comparar sus respuestas al *postest* y a la entrevista final con las respuestas aportadas en el *pretest* y en la entrevista inicial, se observa la consideración del error como un elemento propio del conocimiento científico y de su construcción; así como la idea de los modelos científicos como explicaciones aproximadas del mundo que deben ser permanentemente corregidas y mejoradas.

De manera particular, el estudiante 5 asume el modelo como una aproximación a la situación física real, consciente de

que algunas aproximaciones son mejores que otras, en el sentido de que tienen en cuenta detalles y pormenores que otras no. Sin duda alguna, esta es una importante evidencia de que este estudiante ha comprendido el concepto de multirepresentación.

Aunque todo lo anterior permite afirmar de un modo global que este estudiante ha logrado un aprendizaje significativo crítico, sigue visualizándose una postura muy tradicional en relación con la ciencia como construcción humana, donde considera que el científico no debe dejarse influenciar por aspectos subjetivos y emocionales.

Es importante resaltar que el estudiante 5 hace una especial valoración del diagrama AVM, considerando que esta herramienta le permitía profundizar aún más en la comprensión del fenómeno y que sin lugar a dudas el hecho de realizar dicho diagrama había posibilitado en buena parte la detección del error en las actividades dirigidas a este propósito.

En los cuadros 6 y 7 se muestran algunas evidencias del desempeño del estudiante 5 en las diferentes actividades de la intervención.

**Cuadro 6.** Respuestas del estudiante 5 al *pretest*, *postest*, entrevista inicial y entrevista final, en relación con los principios epistemológicos de la TASC

Principios de la TASC	Instrumentos de recolección de información			
	<i>Pretest</i>	<i>Postest</i>	Entrevista inicial	Entrevista final
principio del aprendizaje por error	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas.”</i>	<i>“Cuando se construye conocimiento científico... creo que no hay posibilidad para errores, pues si hablo de construcción de conocimiento científico es un conocimiento que para mí ya sobrevivió a todo el método, es un conocimiento que ya fue verificado experimentalmente, ahí ya no caben errores, de pronto cabían a la hora de hacer una hipótesis, pero estamos hablando de conocimiento científico y eso ya es resultado”</i>	<i>“Yo creo que las cosas que se hacen tienen que ser demasiado pulidas y hay mucha gente pendiente de eso como para uno decir que hay cabida para los errores. Sin embargo, yo no puedo decir que mi teoría es perfecta y durable y que nada la va a tumbar, no porque de pronto aparece una teoría mejor, entonces ya veo que no era tan rígida. Por eso creo que no son indefinidamente perfectas e intocables, yo creo que siempre están propensas a ser modificadas, a ser ampliadas”</i>
Principio del desaprendizaje	<i>“El pensamiento de los seres humanos no está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i>	<i>“El pensamiento de los seres humanos no está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i>	<i>“...si mi modelo se ajusta perfectamente a la verdad de la naturaleza, que yo la veo por experimentación, funciona, de lo contrario no; además, ese modelo de la naturaleza tiene que ser único, pues solo va a haber un caso para el que la experimentación muestre el resultado correcto...”</i>	<i>“Los científicos lo que hacen son aproximaciones para tratar de explicar algo y seguramente tienen que hacer muchos muchos intentos hasta dar con lo que querían encontrar”</i>  <i>“Cuando uno intenta construir un modelo, de estos computacionales, uno como que se pone en el lugar de los científicos y piensa que uno no hace más que aproximaciones para explicar algo y que a ellos les debe pasar lo mismo, solamente se aproximan a algo”</i>
Principio de la incertidumbre del conocimiento	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la</i>	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la</i>	<i>“...esa preocupación del hombre, del científico por explicar los fenómenos que lo rodean, es lo que hace que se vaya acumulando cierto conocimiento y esa acumulación pues ya sea todo</i>	<i>“... creo que las teorías no son indefinidamente perfectas e intocables, yo creo que siempre están propensas a ser modificadas, a ser ampliadas...”</i>  <i>“Yo creo que la ciencia evoluciona en la medida en que los científicos bajo una</i>

	realidad”	realidad.”	lo que hoy tenemos y produce nueva ciencia; es gracias al método científico”	mirada crítica son capaces de explicar la naturaleza y usar todo lo que ya se ha hecho anteriormente, usar todo el conocimiento previo que ya se tenga...”
--	-----------	------------	--	--

Seguidamente son descritos en el cuadro 7 los comentarios del estudiante 5 en relación con el desarrollo de las actividades 1, 8 y 9 de la propuesta didáctica, que aportan

información acerca de los principios epistemológicos de la TASC.

**Cuadro 7.** Actividades de la propuesta didáctica realizadas por el estudiante 5, relacionadas con los principios epistemológicos de la TASC.

Actividades asociadas a los principios epistemológicos de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	El estudiante 5 afirma haber escuchado mencionar los conceptos utilizados en el artículo para explicar el movimiento del balón de fútbol, aunque sostiene que nunca había visto su aplicabilidad. Al respecto dice: “...es que a mí me parece que en ese artículo lo que hacen es una descripción muy pero muy profunda, por no decir que exacta de ese fenómeno y se pegan hasta del detalle más mínimo para analizarlo ...”; “...si nosotros tuviéramos que hacer un modelo computacional sobre ese fenómeno, lo analizaríamos desde la cinemática y si acaso la dinámica y ya”
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	<p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u></p> <p>Para el análisis de este modelo, el estudiante 5 realiza completamente la actividad de exploración abierta, detectando el error y expresando como resultados conocidos: “La resistencia del aire produce una fuerza que se opone siempre al movimiento”. Con base en esto, en la validación del modelo escribe lo siguiente: “El modelo no genera los resultados conocidos, mientras la piedra cae el aire no opone resistencia sino que la empuja. Por esta razón es necesario cambiar la ecuación <math>F = -mg - bv^2</math>, por la ecuación <math>F = -mg - bv</math>, donde <math>v</math> es <math>-v</math> si la piedra cae y <math>+v</math> si la piedra asciende”. Este estudiante realizó diferentes modificaciones en este modelo, no solo en la ecuación que presentaba el error, sino que introdujo representaciones como vectores y gráficas.</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>Con base en la exploración de este modelo, el estudiante 5 describe todos los elementos del diagrama AVM. En el componente relativo a la validación del modelo, expresa lo siguiente: “El modelo representa los resultados conocidos, sin embargo, la aceleración fue siempre igual a <math>g</math>, ya que el modelo matemático estaba mal escrito; pero este modelo se corrigió cambiando la ecuación <math>a = g*(m_1+m_2)/(m_1+m_2)</math> por la ecuación <math>a = g*(m_1-m_2)/(m_1+m_2)</math> y corriendo nuevamente el modelo para arrojar los resultados satisfactorios”.</p> <p>En esta actividad, el estudiante 5 detecta el error en los modelos sin ningún inconveniente; asimismo, procede a realizar la corrección de los mismos y a generar ciertas modificaciones con el propósito de hacer más comprensible el modelo computacional. Al respecto manifiesta: “Me gustan estas actividades donde uno puede ver las ecuaciones del modelo y además puede corregirlas si de pronto no están bien, pero además uno le puede hacer muchos cambios al modelo, ponerle gráficas, vectores, en fin; uno puede hacerle cositas para que sea más fácil de entenderlo ...”</p>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	El estudiante 5 construyó un modelo computacional en el que podía estudiarse tanto el oscilador armónico amortiguado como el oscilador forzado. La construcción de dicho modelo fue un proceso lento que requirió de permanentes correcciones y modificaciones. A pesar de que este estudiante mostró tener una gran habilidad con la actividad de modelación expresiva, varias propuestas de modelos fueron realizadas antes de obtener el modelo que finalmente consideró adecuado para representar las situaciones físicas propuestas; sin embargo, afirmó que este modelo requería seguir siendo mejorado y perfeccionado. Al respecto expresó: “...ahh no, por más que uno quiera lograr un modelo bien perfecto, uno se da cuenta que esos modelos no describen todo lo que uno quiere, siempre hay por ahí cositas que a uno se le escapan, pero uno trata de aproximarse lo más que pueda...”

### Estudiante 7

Con 29 años de edad, este estudiante se encontraba laborando en una empresa y realizaba el séptimo nivel de su carrera, durante la cual había perdido los cursos: Cálculo III, Física III y Física Estadística. Este estudiante se mostró comprometido con las diferentes actividades que hicieron parte de la intervención; sin embargo, la poca familiaridad que tenía con las actividades computacionales y sus grandes dificultades conceptuales en torno a la temática que estaba siendo abordada, poco le permitieron contribuir al desarrollo de las actividades de modelación computacional; valorando el trabajo en grupo en términos de que su compañero de

trabajo asumiera el manejo del programa computacional que él no estaba en capacidad de manejar.

A partir del análisis de los resultados obtenidos para el estudiante 7, es posible afirmar que éste obtuvo un cierto progreso en la visión de ciencia relacionada con los principios epistemológicos de la TASC; lo que se pone de manifiesto al hacer explícita la concepción de ciencia como una construcción humana provisional, temporal y susceptible de errores y confusiones; percibiendo el error como un elemento constitutivo de la ciencia; y poniendo así en evidencia la incertidumbre del conocimiento científico.

También es importante destacar que este estudiante estuvo de acuerdo con cada una de las versiones del modelo construido en la actividad de creación, lo que consideramos un indicio de que ha comprendido la idea de modelo como representación esquemática parcial y no exclusiva y por supuesto, la idea de multirepresentación; al asumir que

pueden ser construidos múltiples modelos para explicar una misma situación física.

En los cuadros 8 y 9 son presentadas algunas evidencias del desempeño del estudiante 7 en las diferentes actividades de la intervención.

**Cuadro 8.** Respuestas del estudiante 7 al *pretest*, *posttest*, entrevista inicial y entrevista final, en relación con los principios epistemológicos de la TASC

Principios de la TASC	Instrumentos de recolección de información			
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	Entrevista inicial	Entrevista final
principio del aprendizaje por error	“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”	“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”	“...a uno no le cabe en la cabeza, que un físico bien bueno, mejor dicho un genio; pueda cometer errores, cuando está formulando una teoría física, sabiendo que es un proceso tan riguroso...”	“...yo creo que las personas del corriente, también pueden hacer ciencia de igual manera que la hace un científico; y seguramente que se van a equivocar muchas veces y que van a tener que repetir las cosas muchas veces, pero también lo pueden hacer...”
Principio del desaprendizaje	“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”	“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”	“...yo creo que las teorías que conocemos se acomodan bastante bien al comportamiento de la naturaleza y lo explican a la perfección...”	“...yo creo que la creatividad es fundamental, nuevos métodos para resolver cosas, nuevas ideas, hay muchas cosas que uno ignora, uno cree que ya todo está construido porque las teorías que conocemos son muy bellas, pero uno puede tranquilamente imaginar situaciones nuevas y tratar de resolverlas por medio de la creatividad que uno tenga, aunque otros también estén imaginando las mismas cosas...”
Principio de la incertidumbre del conocimiento	“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”	“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”	“...por ejemplo, ahora podemos decir que la mecánica cuántica es una teoría hermosa y perfecta y que difícilmente será derrocada por otra...”	“...yo pienso que la ciencia es temporal, se acomoda al momento, a las circunstancias y a la construcción de nuevos hombres, que de alguna manera la hacen más avanzada, la mejoran, pero siempre, siempre es temporal. Yo pienso que por ejemplo Newton nunca se hubiera imaginado lo que está pasando en estos momentos, que le estuviéramos rebatiendo su teoría...”

**Cuadro 9.** Actividades de la propuesta didáctica realizadas por el estudiante 7, relacionadas con los principios epistemológicos de la TASC.

Actividades asociadas a los principios epistemológicos de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	Este estudiante no estuvo presente en la actividad de discusión del artículo.
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	<p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u> En el análisis de este modelo, el estudiante 7 realiza completamente la actividad de exploración abierta, escribiendo la ecuación incorrecta en el componente relaciones del diagrama AVM y sin detectar error alguno en el modelo explorado.</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u> Con base en la exploración de este modelo, el estudiante 7 describe todos los elementos del diagrama AVM y al igual que en el modelo anterior, valida completamente el modelo sin percatarse de la existencia del error.</p> <p>Este estudiante no se percató en absoluto de la existencia de errores en los modelos computacionales, describiendo inclusive las ecuaciones incorrectas en el campo de relaciones del diagrama AVM; asimismo, realizó de manera mecánica la validación del modelo computacional, asumiendo que los resultados conocidos eran completamente reproducidos por dicho modelo.</p>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 7 trabajó en compañía del estudiante 4 construyendo un solo modelo computacional para un péndulo amortiguado. El ejercicio de construcción de este modelo tardó cuatro horas, ya que fue permanentemente perfeccionado y diseñado posteriormente el respectivo diagrama AVM.</p> <p>Fueron obtenidas varias versiones del modelo computacional construido por estos estudiantes. Sin embargo, el</p>

estudiante 7 se mostraba conforme con cada una de las versiones obtenidas, considerando innecesario hacer modificaciones en ellas; manifestando lo siguiente: “...A mí me parece que uno no le tiene que dar tantas vueltas al asunto; si el modelo ya explica lo que uno quiere no hay necesidad de hacer más; pues es que si uno se pone a perfeccionarlo nunca va a terminar...”
---

Los principios epistemológicos de la TASC en los que se concentra este estudio, referidos al aprendizaje por error, al desaprendizaje y a la incertidumbre del conocimiento; son atendidos en el contexto de la modelación científica (y específicamente de la modelación computacional con diagrama AVM), y se nombran como principios orientadores relativos a: la valoración crítica de los modelos, la concepción de modelo y la incertidumbre del conocimiento, respectivamente; presentando a continuación los principales resultados obtenidos para cada uno de estos principios:

En relación con **la valoración crítica de los modelos**, los estudiantes 4 y 5 hacen una valoración adecuada de los modelos computacionales (proporcionados y construidos), detectando fácilmente los errores contenidos en los modelos, corrigiéndolos y posteriormente validándolos; así como modificando y perfeccionando permanente los modelos construidos en las actividades expresivas; considerando el error como un elemento propio del conocimiento científico y de su construcción. Sin embargo, es importante resaltar que en los casos en que los estudiantes detectaron el error en el modelo computacional referente a la resistencia en caída vertical, lo que hicieron fue cambiar la ecuación cuadrática  $F = -mg - bv^2$ , por la ecuación lineal  $F = -mg - bv$ ; y aunque esta última es consecuente con sus razonamientos, no es apropiada para representar la fuerza de viscosidad a altas velocidades, como es el caso del fenómeno estudiado. En este caso la ecuación correcta sería  $F = -mg - b(v/|v|)v^2$ . El estudiante 7 subvaloró los modelos computacionales; primero, porque no llevó a cabo un análisis riguroso de estos modelos, lo que no le permitió detectar los errores contenidos en ellos; y segundo, porque en el proceso de construcción de modelos, se mostró reacio a realizar las correcciones necesarias para mejorar el modelo computacional.

En relación con **la concepción de modelo**, los estudiantes 4, 5 y 7, lograron una concepción favorable; mostrando evidencias de haber internalizado la idea de modelo como una representación parcial y no exclusiva y la idea de multirepresentación, asumiendo la existencia de múltiples representaciones para un mismo fenómeno observado, dependiendo de los objetivos que se pretenden lograr y del grado de precisión deseado.

En relación con **la incertidumbre del conocimiento**, los estudiantes 4 y 5 muestran indicios de haber adquirido una visión constructivista en relación con la concepción del conocimiento científico, su construcción y su evolución. Dado que contemplan la falibilidad y provisionalidad del conocimiento científico y la necesidad de formular nuevas teorías y modelos cuando éstos sean incompletos; admitiendo que el conocimiento debe ser permanentemente mejorado y perfeccionado en búsqueda de explicaciones cada vez más acertadas en el análisis de fenómenos físicos; asumiendo que lo que en este momento se considera un buen modelo, no necesariamente será un buen modelo en el futuro. El estudiante 7 mientras tanto, mostró indicios

importantes de no haber adquirido suficiente claridad acerca de la idea de la incertidumbre del conocimiento, debido a actitudes como la negación a corregir los modelos computacionales construidos en la actividad de modelación expresiva, simplemente porque lo consideraba innecesario. Sin embargo, expresiones como ésta: “...yo pienso que la ciencia es temporal, se acomoda al momento, a las circunstancias y a la construcción de nuevos hombres, que de alguna manera la hacen más avanzada, la mejoran, pero siempre, siempre es temporal...” llevan a considerar que es posible imputarle una visión que se inclina al constructivismo en lo que a la incertidumbre del conocimiento se refiere.

## 5. CONCLUSIONES

La incorporación en el aula de clase de elementos fundamentales de la modelación científica abordados desde las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, posibilitó la implementación en el aula de clase, de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico que a nuestro juicio atienden asuntos de corte epistemológico, permitiendo que los estudiantes enriquecieran sus concepciones acerca de la ciencia y de la modelación científica como un proceso fundamental en la construcción de conocimiento científico.

Asimismo, la implementación de estos principios de la TASC en esta propuesta de enseñanza permitió además, que la exploración y/o construcción de modelos computacionales se convirtiera en una actividad crítica y reflexiva por parte de los estudiantes; quienes adquirieron una mejor comprensión en relación con los modelos como elementos fundamentales del conocimiento científico, concibiéndolos como construcciones humanas falibles y susceptibles de ser permanentemente mejoradas y modificadas. Y este hecho sugiere la importancia de abordar aspectos relacionados con la modelación científica en el aula de clase, dado que los libros de texto poco informan al estudiante acerca de la necesidad de este proceso fundamental de la ciencia, impidiéndole percibir el hacer científico y mostrando los modelos como simples representaciones simplificadas de los fenómenos (Brockington y Pietrocola, 2005).

Como principales perspectivas de continuidad del trabajo, a manera de conclusión del artículo, pueden señalarse en primera instancia la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM en estudios que tengan como propósito abordar los procesos de enseñanza y aprendizaje de diferentes campos conceptuales de la Física, llevando a cabo una valoración cualitativa del aprendizaje de los alumnos; pudiendo ser abordados campos de conocimiento de la Física contemporánea, en donde se tendría un contexto mucho más real de aplicación de los principios de la TASC.

Y adicional a esto, consideramos que la implementación de actividades de modelación computacional en el aula de clase puede ser abordada desde otros referentes teóricos

ampliamente compatibles, como por ejemplo, la teoría de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983), a la luz de la cual, los modelos computacionales serían vistos como una externalización de los modelos mentales, que se pretende sean cercanos a los modelos conceptuales científicamente aceptados.

## 6. REFERENCIAS

Aguiar, C. E., & Rubini, G. (2004). A aerodinâmica da bola de futebol, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26 (4), pp. 297-306.

Araujo, I. S. (2005). Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de Física Geral. *Tese (Doutorado em Ciências)* –Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Araujo, I. S., Veit, E. A., & Moreira, M. A. (2006). Adapting Gowin's V diagram to computational modelling and simulation applied to physics education. In: *GIREP Conference, Amsterdam. Proceedings of the GIREP 2006*, pp. 319-324.

Araujo, I. S., Veit, E. A., & Moreira, M. A. (2007). Um estudo exploratório sobre as potencialidades do diagrama AVM na aprendizagem significativa de tópicos de Física. *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación, Monografía VIII*, pp. 503-514.

Araujo, I. S., Veit, E. A., & Moreira, M. A. (2012). Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de Física: referencial de trabalho. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17 (2), pp. 341-366.

Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós Ibérica, S. A.

Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2010). Concepções e dificuldades dos professores de Física no campo conceitual da modelagem científica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), pp. 669-695.

Brockington, G., & Pietrocola, M. (2005). Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (3), pp. 387-404.

Bunge, M. (1972). *Teoría y Realidad*. Barcelona: Ediciones Ariel.

Bunge, M. (1985). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.

Cupani, A., & Pietrocola, M. (2002). A relevancia da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciencias. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19 (número especial), pp. 96-120.

Giere, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. University of Chicago Press, Chicago, USA.

Giere, R. N., (2010). An agent-based conception of models and scientific Representation. *Synthese*, 172 (2), pp. 269-281.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1997). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15 (2), pp. 107-120.

Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, 60 (8), pp. 732-748.

Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. A response to Huffman and Heller. *Physics Teacher*, 33 (8), pp. 502-506.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30 (3), pp. 141-158.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Harvard University Press. Cambridge, MA.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), pp. 173-184.

Justi, R., & Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". *International Journal of Science Education*, 22 (9), pp. 993-1009.

Moreira, M. A. (2005). *Aprendizaje Significativo Crítico*. Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre.

Pietrocola, M. (1999). Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4 (3), pp. 213-227.

Porlán, R. (1989). *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional. Las concepciones epistemológicas de los profesores*. Tesis Doctoral inédita. Sevilla.

Porlán, R., Rivero, A., & Martín, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores-I: teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), pp. 155-171.

Postman, N., & Weingartner, C. (1969). *Teaching as a subversive activity*. New York: Dell Publishing Co.

Stake, R. E. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Eds. Morata S. L.

White, B. Y. (1998), "Computer Microworlds and Scientific Inquiry: An alternative approach to Science Education", en Fraser, B. J. y Tobin, K. G., *International Handbook of Science Education*, 295-315, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

**Sonia Yaneth López Ríos**

Licenciada en Matemáticas y Física, Universidad de Antioquia, 2001.

Magíster en Educación, Universidad de Antioquia, 2005.

Doctora en Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, 2012.

**Posición Actual**

Profesora asociada de tiempo completo, desde 2006.

Departamento de Enseñanza de las Ciencias y las Artes, Universidad de Antioquia.