

**EL USO DEL DIAGRAMA AVM COMO INSTRUMENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO CRÍTICO EN ACTIVIDADES DE MODELACIÓN COMPUTACIONAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA<sup>+</sup>**

---

*Sonia López Ríos*

Facultad de Educación – Universidad de Antioquia

Colombia

*Ives Solano Araujo*

*Eliane Angela Veit*

Instituto de Física – UFRGS

Porto Alegre – RS

**Resumen**

*Teniendo en consideración que la formación integral de un profesor de Física implica que éste tenga un dominio de su campo disciplinar, una concepción crítica sobre la ciencia que enseña y su enseñanza; presentamos en este trabajo el diseño de una propuesta didáctica que tiene como principal propósito considerar los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira en el aula de clase, a partir de la implementación de actividades de modelación computacional. Estas actividades están apoyadas en el uso del diagrama AVM (Adaptación de la V de Gowin a la Modelación Computacional) y tienen como propósito favorecer el aprendizaje significativo de conceptos físicos y la*

---

<sup>+</sup> The use of AVM diagram as a tool for implementing the principles of the Critical Meaningful Learning Theory in computational modeling activities for Physics teaching

\* *Recebido: janeiro de 2012.  
Aceito: julho de 2012.*

*formación de futuros profesores de Física con visiones más críticas y reflexivas en relación con el conocimiento científico, la modelación científica y la enseñanza de las Ciencias.*

**Palabras clave:** *Aprendizaje Significativo Crítico. Modelación Científica. Modelación Computacional. Diagrama AVM.*

### **Abstract**

*This paper presents a didactical proposal that aims to help the mastery of Physics contents and the developing of critical thinking on Physics and its learning by pre-service teachers. The proposal was designed to embed the principles of Moreira's Critical Meaningful Learning Theory into computational modeling activities through the use of a heuristic instrument known as AVM diagram (Adaptation of Gowin's V for Computational Modeling). A detailed description of the proposal and some of its possible implications for Physics teaching are discussed.*

**Keywords:** *Critical Meaningful Learning. Scientific Modeling. Computational Modeling. AVM diagram.*

## **I. Introdução**

Dentro de los diferentes usos de las tecnologías computacionales para la enseñanza de conceptos científicos, es importante resaltar la modelación computacional como una herramienta cognitiva altamente promisoría para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias y de la Física en particular. Dado que la modelación computacional es en ocasiones confundida con la simulación computacional, es importante establecer una diferencia entre estos dos términos. Al respecto, Araujo, Veit y Moreira (2007) afirman que “estos dos tipos de actividades se distinguen por el acceso que el alumno tiene al modelo matemático o icónico subyacente a la implementación de la actividad”. Es decir, desde la visión de estos autores, en una simulación computacional que representa un modelo físico, el alumno puede insertar valores iniciales para variables, alterar parámetros y, de forma limitada, modificar las relaciones entre las variables; pero no tiene autonomía para modificar la estructura de la simulación (modelo matemático o icónico pre-especificado); o sea, acceso a los elementos más básicos

que la constituyen. La interacción del estudiante con la simulación tiene un carácter eminentemente exploratorio; mientras que en la modelación computacional el estudiante tiene acceso a los primitivos que constituyen el modelo computacional, pudiendo construirlos desde el principio y reconstruirlos conforme desee. De tal manera que la modelación computacional se refiere al proceso de análisis y/o construcción de modelos conceptuales que puedan ser implementados en el computador, permitiendo a su constructor el acceso a los primitivos que constituyen el modelo computacional, pudiendo modificarlos, construirlos y reconstruirlos, si así se requiere.

La propuesta didáctica que aquí se presenta fue implementada y valorada a lo largo de tres estudios de caso consecutivos (LÓPEZ, 2012; LÓPEZ; VEIT; ARAUJO, 2011, 2012) 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; razón por la cual se propone valorar los principios básicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC), aplicándolos en el aula de clase a partir de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM (ARAUJO, 2005; ARAUJO; VEIT; MOREIRA, 2011). Este diagrama es una adaptación de la V de Gowin a las actividades de modelación y simulación computacional, creado con el propósito de que dichas actividades sean realizadas de una manera más crítica y 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.

En pocas palabras, esta propuesta didáctica fue formulada con el objetivo de propiciar en el estudiante un aprendizaje significativo crítico mediante la introducción de elementos fundamentales de la modelación científica a través del uso de modelos computacionales y del diagrama AVM, intentando así acercarlo a una mejor comprensión del proceso de producción de conocimiento científico, al considerar la modelación como un elemento fundamental en la construcción de éste (TOULMIN, 1977; BUNGE, 1972, 1985; GIÉRE, 1988; BACHELARD, 1982). En lo que se refiere a la concepción del proceso de modelación científica y al papel que desempeñan los modelos en la construcción del conocimiento científico, es abordada la postura epistemológica de Mario Bunge (BUNGE, 1972), debido a que dicha postura es ampliamente compatible con los elementos subyacentes a la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y con los principales componentes del diagrama AVM, siendo estos dos últimos referentes altamente compatibles entre sí.

Creemos que la adaptación y uso de esta propuesta didáctica puede ser perfectamente implementada con estudiantes de educación superior, específicamente en cursos de formación inicial y continua de profesores de Física; dado que es absolutamente pertinente para favorecer una formación integral de docentes; atendiendo aspectos de carácter disciplinar, epistemológico y didáctico. Lo cual fue valorado a partir de su implementación con un grupo de estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental y dos grupos de estudiantes del programa de Física de la Universidad de Antioquia, Colombia (LÓPEZ, 2012; LÓPEZ; VEIT; ARAUJO, 2011, 2012).

En lo que sigue se describen brevemente la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y la Modelación computacional con diagrama AVM, como referentes teórico-metodológicos en los que se sustenta la propuesta didáctica; así como la articulación entre dichos referentes. Asimismo, se describe la propuesta didáctica a la luz de la Teoría del aprendizaje Significativo Crítico y sus posibles implicaciones para la enseñanza de la Física.

## **II. La Teoría del Aprendizaje significativo Crítico (TASC)**

El Aprendizaje Significativo Crítico es una teoría propuesta por Moreira (2005), basándose en las ideas de Postman y Weingartner (1969) expuestas en su libro *la enseñanza como una actividad subversiva*; y en la que se considera que el aprendizaje debe ser no sólo significativo, sino también subversivo o crítico; a partir de lo cual, Moreira (2005) propone nueve principios, ideas o estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo crítico susceptibles de ser implementadas en el aula de clase. Estos principios son brevemente descritos:

*Principio 1. De la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas:* el hecho de permitirle a los estudiantes cuestionarse de un modo sistemático acerca de los diferentes fenómenos y hechos que les rodean, fomenta un aprendizaje significativo que les permite recurrir a un conocimiento previo de forma no arbitraria y no literal.

*Principio 2. De la no centralización en el libro de texto. Del uso de documentos, artículos y otros materiales educativos. De la diversidad de materiales educativos:* combatir la idea de que el libro de texto es el gran poseedor de conocimientos. El conocimiento es hoy documentado en diversas fuentes de información cada vez más accesibles; dentro de las cuales el libro de texto sigue siendo una de ellas, pero no la única.

*Principio 3. Del aprendiz como perceptor/representador:* es preciso ver al estudiante no como un mero receptor de información; pues éste al recibir una nueva información la percibe y la representa mentalmente con base en sus percepciones previas. La información que el aprendiz recibe es percibida por éste y a partir de ella representa el mundo.

*Principio 4. Del conocimiento como lenguaje:* el lenguaje está necesariamente implicado en cualquier intento humano de percibir la realidad. La comprensión de un área disciplinar implica comprender su lenguaje; es decir, sus palabras, signos, instrumentos y procedimientos. Aprender el lenguaje propio de un área de conocimiento es aprender otra manera de percibir y representar el mundo.

*Principio 5. De la conciencia semántica:* el significado está en las personas y no en las palabras. Las personas atribuyen significado a las palabras con base en sus conocimientos previos, pero estos significados no son permanentes en el tiempo, cambian. La palabra es un símbolo que representa una cosa, que significa esa cosa, pero no es la cosa en sí.

*Principio 6. Del aprendizaje por error:* 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.

*Principio 7. Del desaprendizaje:* debido a que vivimos en un mundo en permanente cambio y transformación, nos encontraremos en algunos casos en los que conceptos aprendidos previamente se vuelven obsoletos, razón por la cual, el sujeto debe aprender a identificar cuáles de esos conocimientos son relevantes para dotar de significado los nuevos conocimientos.

*Principio 8. De la incertidumbre del conocimiento:* en este principio se pone de relieve que el conocimiento no está fundamentado en verdades absolutas, que 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.

*Principio 9. De la no utilización de la pizarra, de la participación activa del alumno, de la diversidad de estrategias de enseñanza:* al igual que el libro de texto, la pizarra sigue siendo vista por algunos como portadora de respuestas ciertas, de verdades absolutas. Es preciso hacer énfasis en la necesidad de utilizar

diversas estrategias instruccionales o didácticas que posibiliten la participación activa de los estudiantes; lo que sin duda alguna facilita un aprendizaje significativo crítico a partir del intercambio de significados entre éstos y el profesor como mediador.

La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico es una teoría actual y poco difundida; y es abordada para la propuesta didáctica aquí descrita, por considerar que los nueve principios en los que está fundamentada, pueden ser perfectamente implementados en el aula de clase para abordar elementos propios de la modelación científica a partir de actividades de modelación computacional apoyadas en el uso del diagrama AVM.

### **III. 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; y que de acuerdo con Araujo, Veit y Moreira (2007), 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.

El diagrama AVM es una estrategia de enseñanza-aprendizaje que apoya a los estudiantes en el proceso de interacción con actividades de modelación computacional y que permite al profesor o investigador valorar la contribución de estas actividades al aprendizaje. 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 al proceso de enseñanza-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 Fig. 1 muestra cada uno de los componentes de la versión más reciente 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.

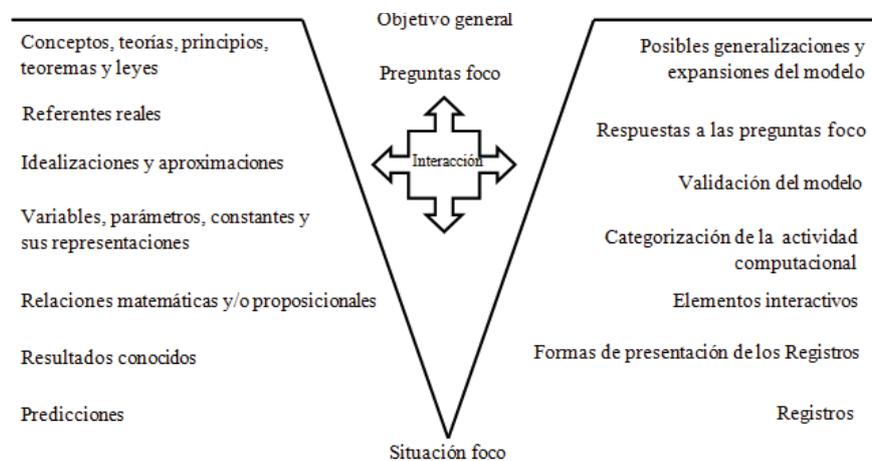


Fig. 1 – Diagrama AVM: Adaptación de la V de Gowin para la modelación computacional (ARAUJO; VEIT; MOREIRA, 2011).

Para la implementación en el aula de clase de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, Araujo, Veit y Moreira (2006, 2011) proponen cuatro modos básicos de uso del 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 una simulación computacional es presentada. 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 presentada una simulación 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.

#### **IV. Articulación entre la TASC y la modelación computacional con diagrama AVM**

Esta propuesta didáctica parte de la idea de que es posible atender los principios 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 de la teoría del Aprendizaje Significativo Crítico 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 (LÓPEZ, 2012).

#### **V. Una propuesta didáctica para la modelación computacional con diagrama AVM a la luz de la Teoría del Aprendizaje significativo Crítico**

Se presenta brevemente la propuesta didáctica para implementar y valorar los principios de la Teoría del aprendizaje Significativo Crítico en el aula de clase, a partir de actividades de modelación computacional, haciendo uso del diagrama AVM. Dicha propuesta está diseñada para la formación de futuros profesores de Física; es decir, que esta propuesta puede ser implementada con estudiantes de Licenciatura en Ciencias o en Ciencias Físicas; así como con estudiantes de

programas de Física, quienes en su gran mayoría optan por ejercer la docencia. (Ver López, 2012).

En el cuadro 2 se presentan las actividades de la propuesta didáctica con una breve descripción, así como las etapas de su implementación, el objetivo que se pretende alcanzar con cada actividad; y por último un tiempo estimado para su realización. No obstante, consideramos que sería supremamente valioso contar con un mayor tiempo para su implementación; pues es difícil imaginar que con un menor tiempo y alguna otra metodología se pudiesen lograr los propósitos aquí formulados.

Cuadro 1 – Articulación entre los principios de la TASC y la modelación computacional con diagrama AVM.

<b>Principios de la TASC</b>	<b>Modelación computacional con diagrama AVM</b>
Del cuestionamiento	<i>Formulación de preguntas foco:</i> Estimular a los estudiantes a formular preguntas, cuyas respuestas pueden ser facilitadas con el uso de un modelo computacional.
De la diversidad de materiales educativos	<i>Actividades de modelación computacional con diagrama AVM:</i> incentivar en los estudiantes el uso de actividades de modelación computacional en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.
Del aprendiz como perceptor/representador	<i>Relación percepción-representación:</i> promover la reflexión de los estudiantes sobre el papel de la relación percepción-representación en el proceso de construcción de modelos.
Del conocimiento como lenguaje	<i>Comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados:</i> favorecer la comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados relacionados con el lenguaje propio de la modelación computacional y el diagrama AVM, que permita a los estudiantes percibir el mundo de una manera diferente.
De la conciencia semántica	<i>Comprender la relación modelo-realidad:</i> incitar a los estudiantes a reflexionar sobre la relación existente entre modelo y realidad a partir de la exploración y construcción de modelos computacionales
Del aprendizaje por	<i>Valoración crítica de los modelos:</i> incentivar a los

error	estudiantes a realizar una 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.
Del desaprendizaje	<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.
De la incertidumbre del conocimiento	<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.
De la diversidad de estrategias de enseñanza	<i>Actividades de modelación computacional con diagrama AVM:</i> fomentar en los estudiantes el uso de diversas estrategias instruccionales en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.

### V.1 Recolección de la información inicial y final

#### *Test Force Concept Inventory*

El *Test* americano *Force Concept Inventory* o *test FCI*, que traducido al castellano denominamos “Cuestionario sobre el concepto de fuerza”, es un cuestionario de escogencia múltiple diseñado por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) con el objetivo de evaluar la comprensión de los estudiantes de los conceptos más básicos de mecánica Newtoniana. El *test FCI*<sup>1</sup> es ampliamente reconocido y se considera como un *test* confiable que ha sido exhaustivamente utilizado en diversos estudios relacionados con las concepciones de los estudiantes sobre conceptos de la dinámica Newtoniana (HESTENES; HALLOUN, 1995; COLETTA; PHILLIPS, 2005; SAVINAINEN; VIIRI 2008).

---

<sup>1</sup> El test FCI está disponible en <<http://modeling.asu.edu/R&E/research.html>>, para quienes han solicitado una contraseña en [hestenes@asu.edu](mailto:hestenes@asu.edu)

Cuadro 2 – Actividades e instrumentos de recolección de datos.

Etapas	Actividades e instrumentos de recolección de datos	Objetivo	Duración
Recolección de la información inicial	<i>Test Force Concept Inventory (FCI)</i>	Conocer las ideas previas de los estudiantes acerca de la dinámica Newtoniana.	2 horas
	Pretest sobre imagen de ciencia, enseñanza de las ciencias y modelación científica.	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
Propuesta didáctica	1. Lectura y discusión de artículo	Familiarizar a los estudiantes con elementos del proceso de modelación científica.	4 horas (2 sesiones)
	2. Formulación de preguntas sobre dinámica Newtoniana.	Promover la formulación de preguntas de interés para situaciones problema propuestas.	2 horas
	3. Modelación computacional de libre exploración.	Posibilitar la exploración de modelos computacionales.	4 horas (2 sesiones)
	4. Presentación de estrategias para la modelación computacional.	Brindar elementos para abordar de modo crítico la modelación computacional.	2 horas
	5. Manejo del programa <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.	Evidenciar 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 en los estudiantes la habilidad para formular preguntas y diseñar modelos computacionales.	4 horas (2 sesiones)
	10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.	Valorar la contribución de la modelación computacional y el uso del diagrama AVM para la comprensión de la modelación científica.	2 horas
	11. Presentación de los principios de la TASC.	Conocer los principios de la TASC y su papel en el proceso de enseñanza-aprendizaje.	2 horas
	12. Discusión de la TASC y su implementación en el aula.	Favorecer la comprensión de los principios de la TASC y su utilización en el aula de clase.	2 horas
	13. Diseño de actividades de modelación computacional.	Explicitar los principios de la TASC en el diseño de actividades y materiales de enseñanza.	4 horas (2 sesiones)
	14. Diseño del trabajo final.	Proponer elementos y/o estrategias que orienten la modelación computacional en el aula.	4 horas (2 sesiones)
	15. Presentación y discusión del trabajo final.	Socializar la actividad de modelación computacional y la propuesta para su orientación.	4 horas (2 sesiones)
Recolección de la información final	<i>Test Force Concept Inventory (FCI)</i>	Valorar el dominio adquirido por los estudiantes del campo de la dinámica Newtoniana.	2 horas
	<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.	Obtener indicios de alguna modificación en las concepciones epistemológicas de los estudiantes en relación con los principios de la TASC	40 minutos

Dado que esta propuesta didáctica es formulada para abordar contenidos de dinámica Newtoniana en el aula de clase, planteamos el uso del *test FCI* por su pertinencia para identificar las concepciones de los estudiantes sobre este campo de la Física; pues de acuerdo con sus autores, este *test* es un muy buen detector del

pensamiento Newtoniano. El *test FCI* puede ser utilizado esencialmente -previa implementación de la propuesta didáctica- como una herramienta para diagnosticar las ideas previas de los estudiantes en relación con el concepto de fuerza y su análisis se hace a partir de la valoración del desempeño global de los estudiantes en este *test*.

Con el propósito de conocer el progreso de los estudiantes en relación con la comprensión de la dinámica Newtoniana, el *test FCI* puede ser nuevamente aplicado al final de este estudio, usándolo como un referente que nos aporte información acerca de la evolución de los estudiantes en la comprensión de este campo de conocimiento.

#### *Pretest y postest sobre imagen de ciencia, enseñanza de las ciencias; y modelos y modelación científica en el contexto de la Física*

El cuestionario que se propone como *pretest* surge de la adaptación del cuestionario sobre ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT; SILVEIRA, 2011); y del cuestionario INPECIP o Inventario de Creencias Pedagógicas y Científicas de Profesores (PORLÁN, 1989; PORLÁN; RIVERO; MARTÍN, 1997), de donde se toman los ítems relacionados con la categoría enseñanza de las ciencias. Al aplicarse como *pretest*, se pretende conocer particularmente la visión de ciencia que tienen los estudiantes en este nivel de su formación. Y al final de la intervención puede ser aplicado como *postest* con el objetivo de identificar alguna evolución en la visión de ciencia de los estudiantes que se pudiera atribuir a la modelación científica como eje fundamental de la propuesta didáctica implementada.

#### *Entrevistas inicial y final*

Las entrevistas deben acogerse a un protocolo de entrevista semi-estructurada, que favorezca un diálogo espontáneo y fluido por parte de cada uno de los sujetos entrevistados de modo individual. El propósito de las entrevistas iniciales y finales es el de fortalecer las respuestas obtenidas en los cuestionarios y así profundizar en el conocimiento sobre las concepciones de los estudiantes en relación con un tópico específico. Una sugerencia para la entrevista puede ser vista en el anexo 1.

## V.2 Propuesta didáctica

### *Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo (dos sesiones de dos horas)*

Se aporta a los estudiantes un texto que contenga la visión sobre modelos y modelación científica que se pretende sea internalizada por los estudiantes; y que sea susceptible de ser incorporada en el aula de clase. En estos términos, consideramos adecuada la visión de Mario Bunge y recomendamos la lectura del texto: "A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física", de Brandão, Araujo y Veit (2008). En la primera sesión los estudiantes forman grupos (duplas o tríos) y llevan a cabo la lectura del artículo, generando discusiones entre los miembros de cada grupo y con la posibilidad de interactuar permanente con el profesor. Al inicio de la segunda sesión, en una mesa redonda se lleva a cabo la discusión del artículo orientada por las siguientes preguntas: ¿Qué se entiende por modelación científica?, ¿Según los autores, cómo se produce el conocimiento científico?, ¿Qué se entiende por modelo conceptual?, ¿Qué se entiende por referentes?; y ¿Qué se entiende por idealizaciones?

### *Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana (dos horas)*

El profesor propone a los estudiantes cinco situaciones físicas enmarcadas en el campo conceptual de la dinámica Newtoniana. Para cada una de las situaciones planteadas, se pide a los estudiantes formular tres preguntas para ser respondidas a partir del análisis de dicha situación. Esta actividad se desarrolla con el propósito de atender y valorar el principio 1 de la TASC que hace alusión al cuestionamiento – enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas – y busca posibilitar en los estudiantes un cuestionamiento sistemático acerca de las situaciones enmarcadas en un campo de conocimiento -dinámica Newtoniana-, fomentado así un aprendizaje significativo, en el sentido de que les exige remitirse al conocimiento previo que se tiene sobre dicho campo.

La formulación de preguntas en el aula de clase ha sido tradicionalmente una tarea propia de los docentes, quienes – en muchas ocasiones – esperan que las respuestas de los estudiantes estén expresadas en los términos de sus discursos, negándoles así la posibilidad de cuestionamiento; de tal manera que los estudiantes formulan pocas preguntas en el aula de clase y, además las preguntas frecuentemente formuladas tienen un bajo nivel cognitivo (DILLON, 1988; OTERO; GRAESSER, 2001). Por lo que enfrentar a los estudiantes a la tarea de formular preguntas en el aula de clase, trae consigo todo tipo de reacciones, que les

lleva incluso a manifestar explícitamente su incapacidad para llevar a cabo dicha tarea (LÓPEZ; VEIT; ARAUJO, 2012).

De aquí en adelante se inician las actividades con modelos computacionales, modelos que son implementados en el computador y que tienen fines didácticos. Los conceptos de la dinámica Newtoniana se presentan enmarcados en el estudio de una situación problema para la cual se aporta un modelo computacional o se pide a los estudiantes construirlo. Los modelos computacionales previamente construidos por el profesor constituyen el material potencialmente significativo. Para la construcción de los modelos computacionales sugerimos el *software Modellus 2.5* (TEODORO, 1998, 2010), un *software* gratuito particularmente apropiado para el desarrollo de modelos computacionales referentes al campo de la dinámica Newtoniana. *Modellus 2.5* posee una interfaz gráfica intuitiva, facilitando la interacción de los estudiantes con modelos en tiempo real y el análisis de múltiples representaciones de esos modelos, permitiendo también, observar un gran número de experimentos (conceptuales); brindándole al estudiante la posibilidad de realizar las experiencias y dedicar más tiempo a la discusión de los fenómenos y al análisis de resultados que le permitan una mejor comprensión del mundo físico (ARAUJO; VEIT; MOREIRA, 2004).

Este software utiliza una sintaxis de programación simple donde el usuario escribe en la “ventana de modelo” las ecuaciones matemáticas de una manera muy semejante a como lo haría en el papel. Es una herramienta de modelación computacional que trabaja con modelos matemáticos expresados como funciones y ecuaciones diferenciales, posibilitando la exploración y/o construcción de tablas, gráficas y animaciones. Este *software* se aprende a manejar fácilmente y puede ejecutarse en la mayoría de los computadores, su entorno gráfico es amigable y compatible con el diseñado por *Microsoft*<sup>2</sup>. En la Fig. 2 se puede visualizar la pantalla de un modelo computacional para el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

---

<sup>2</sup> También funciona en un ambiente Linux que disponga de emulador de Windows. Inclusive, la versión más actual del programa es multiplataforma, pudiendo ser ejecutado en cualquier sistema operativo que disponga de una máquina Java actualizada. También existe la alternativa de usar la versión 4 de *Modellus* para Java – y por tanto, para cualquier sistema operativo.

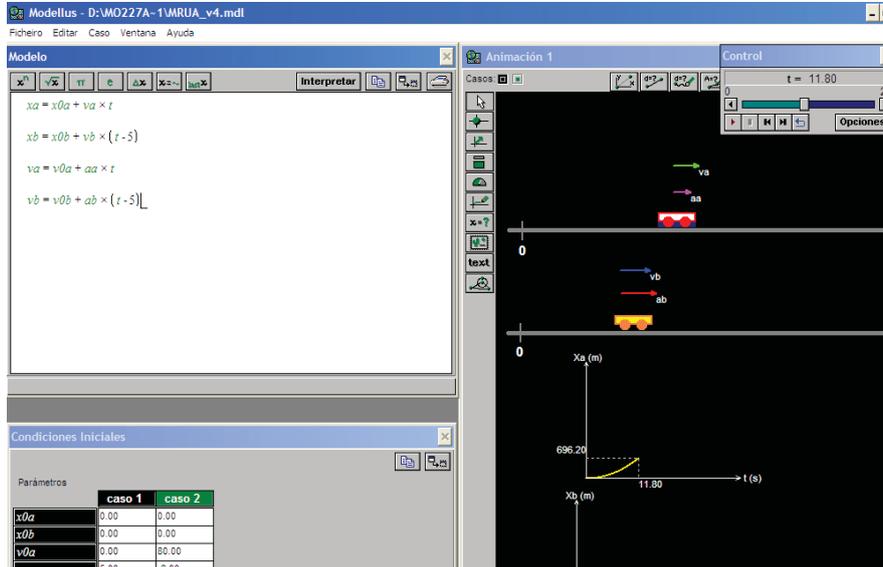


Fig. 2 – Sintaxis del software Modellus 2.5 para un modelo de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.<sup>3</sup>

### Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración (cuatro horas)

En esta actividad el profesor aporta a los estudiantes algunos modelos computacionales ya construidos, podrían ser applets por ejemplo, para que los estudiantes en pequeños grupos exploren tales modelos y se familiaricen con su uso. Se tiene como propósito permitir a los estudiantes la exploración e interacción con los modelos computacionales a partir de la inserción y modificación de valores, de los controles de ejecución y de los demás elementos interactivos que estos pudieran contener; así como conocer la pertinencia de las preguntas de interés formuladas por los estudiantes para la exploración de dichos modelos. Para esta actividad no se sugiere el uso de instrumento alguno en el sentido de orientar a los estudiantes en el proceso de interacción con los modelos computacionales. Simplemente se les pide que formulen algunas preguntas susceptibles de ser respondidas a partir de la interacción con esos modelos. Dicha actividad debe generar una intensa interacción de los estudiantes entre sí y de estos con el

<sup>3</sup> Obsérvese la similitud de la presentación de las fórmulas matemáticas usando la sintaxis del programa con la forma usual manuscrita.

profesor, esencialmente en relación con la menor manera de orientar las actividades de modelación computacional en el caso hipotético en que éstas sean implementadas con sus futuros estudiantes. Los modelos computacionales que se utilizan son: un tiro parabólico, relación fuerza-aceleración y el fenómeno del paracaídas.

La Fig. 3 muestra la vista de pantalla de un modelo computacional implementado en esta actividad – un tiro parabólico. En este modelo es ilustrado el movimiento de un cuerpo en dos dimensiones; en este caso se realiza el análisis de la cinemática de un balón que describe una trayectoria parabólica. El modelo permite modificar valores como la velocidad inicial y el ángulo de lanzamiento y contiene como representaciones vectores que ilustran la velocidad en  $x$ , la velocidad en  $y$ , la velocidad resultante y la aceleración.

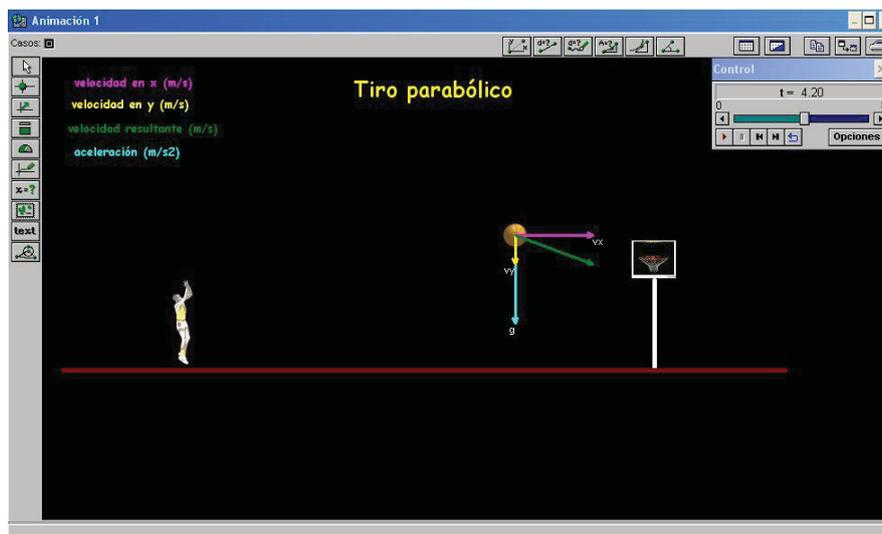


Fig. 3 – Vista de pantalla de un modelo computacional para un tiro parabólico.

#### Actividad 4. Estrategias que guían el proceso de modelación computacional (dos horas)

Presentación a los estudiantes sobre algunas ideas fundamentales de la modelación computacional y de las herramientas o estrategias que pueden ser usadas en el aula de clase para orientarlos en la exploración y/o creación de modelos computacionales. Entre ellas se hace referencia al método POE (predecir,

observar, explicar). Este método sugiere la presentación de una situación problema al estudiante, para la cual éste debe formular una predicción acerca de lo que cree que acontecerá; posteriormente él observa lo sucedido y debe generar una explicación para cualquier discrepancia existente entre sus predicciones y las observaciones hechas. La implementación del método POE como estrategia orientadora en la exploración de modelos computacionales, sugiere (TAO; GUNSTONE, 1999): 1. La formulación de predicciones por parte de los estudiantes acerca de las consecuencias de realizar ciertos cambios en el programa de simulación; 2. La explicación de su predicción; 3. La ejecución del programa para observar y poner a prueba su predicción; y 4. La búsqueda por reconciliar alguna discrepancia entre su predicción y la observación realizada en la simulación.

No obstante, se hace un mayor énfasis en el uso del diagrama AVM, prestando especial atención a la formulación de cada uno de sus componentes. Se hace entrega a los estudiantes de un texto en el que se presenta de modo sintético cada uno de los campos del diagrama<sup>4</sup>, se presentan algunos ejemplos de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, completando cada uno de sus espacios y dando una mayor importancia a la formulación de preguntas foco como componente fundamental de este diagrama, brindando a los estudiantes indicaciones sobre la forma como tales preguntas deben ser formuladas.

Dado que el diagrama AVM es una adaptación de la V de Gowin para las actividades de modelación computacional, asumimos esta herramienta como un instrumento heurístico potencialmente facilitador del aprendizaje significativo. Al implementar las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM en el ámbito de esta propuesta didáctica, se tiene como principal propósito favorecer en el estudiante una actitud crítica y reflexiva en relación con la modelación científica y con el proceso de construcción de conocimiento científico.

*Actividad 5. Manejo del software de modelación computacional Modellus 2.5 (dos horas)*

El profesor presenta a los estudiantes las principales características y potencialidades del *software Modellus 2.5* como recurso computacional sugerido para la construcción de los diferentes modelos computacionales. Se presentan

---

<sup>4</sup> Disponible en: <<http://if.ufrgs.br/cref/ríos/daavm.pdf>>.

algunos ejemplos de modelos computacionales ya construidos y se propone a los estudiantes llevar a cabo algunas actividades prácticas de construcción de modelos computacionales simples.

*Actividad 6. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM (cuatro horas)*

Esta actividad puede realizarse en grupos (duplas o tríos) y al inicio de ella el profesor proporciona a los estudiantes algunos modelos computacionales previamente construidos y un diagrama AVM para cada uno de ellos, en el cual se definen elementos como: el objetivo general, las preguntas foco y la situación foco. Por tratarse de una actividad de modelación computacional de modo exploratorio dirigido, los estudiantes realizan la exploración de los modelos computacionales con la ayuda del diagrama AVM y aportan la descripción de los elementos faltantes en dicho diagrama. El acompañamiento permanente del profesor en esta actividad es fundamental en vista de las múltiples inquietudes que surgen en relación con la definición de los diferentes campos del diagrama AVM.

*Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto con diagrama AVM (cuatro horas)*

A diferencia de la actividad anterior, la modelación computacional de modo exploratorio abierto exige que todos los campos del diagrama AVM sean definidos por los estudiantes, quienes deben prestar especial atención a la formulación de las preguntas, por ser un elemento fundamental del diagrama AVM que dirige todo el proceso de exploración. En esta actividad el profesor proporciona a los estudiantes algunos modelos computacionales y sus respectivos diagramas AVM, estimulándolos a formular preguntas de interés sobre las situaciones físicas planteadas.

*Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional (cuatro horas)*

En esta actividad el profesor aporta a los estudiantes algunos modelos computacionales previamente construidos. En las ecuaciones (estructura matemática) de estos modelos son incorporados errores de manera intencional y sin advertir a los estudiantes sobre su existencia. Asimismo, se hace entrega de un diagrama AVM completamente en blanco para cada uno de los modelos computacionales, con el propósito de que todos sus elementos sean definidos por los estudiantes a partir de la interacción con los modelos. Esta actividad es esencialmente igual a la actividad 7; sin embargo, se espera que al ser colocada

información relevante en el campo de los resultados conocidos, cuando los estudiantes traten de llevar a cabo la validación del modelo, observen que dichos resultados no son reproducidos por éste y entonces realicen una valoración crítica de los modelos computacionales detectando sus errores y corrigiéndolos posteriormente. En la figura 4 se muestra la vista de pantalla de uno de los modelos computacionales implementados en la actividad de detección del error en un modelo computacional, indicando en cuál de las ecuaciones del modelo se encontraba el error introducido. Obsérvese que el término resistencia presenta un error, pues no siempre la fuerza resistiva apunta en el sentido contrario a la velocidad.

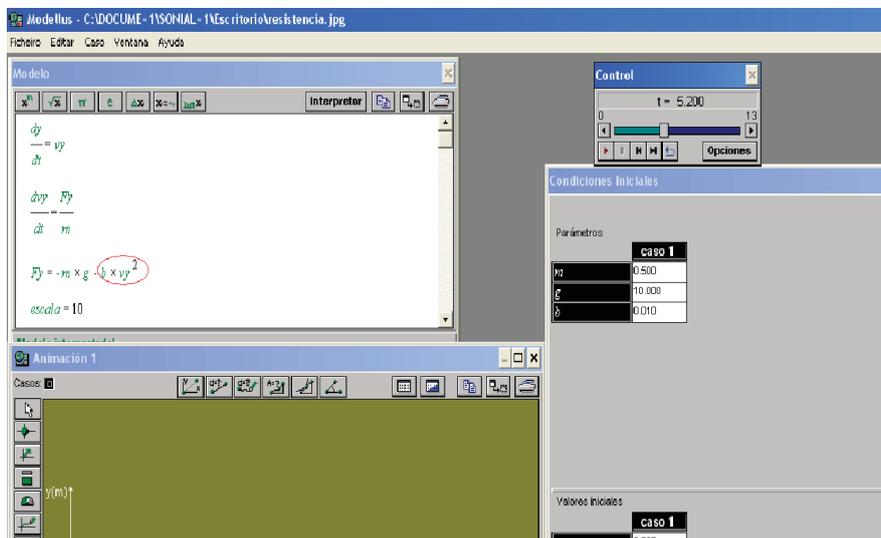


Fig. 4 – Vista de la pantalla del modelo computacional para la resistencia en caída vertical.

*Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM (cuatro horas)*

Esta actividad de modelación difiere de las anteriores en el sentido que exige a los estudiantes la construcción de los modelos computacionales; es decir, a diferencia de las actividades anteriores, el profesor no proporciona modelos computacionales a los estudiantes, más bien plantea situaciones problema a partir de las cuales ellos deben construir sus propios modelos computacionales para dar

respuesta a las preguntas foco que ellos mismos formulan en el diagrama AVM, en el marco de determinada situación. El diagrama AVM se constituye en una guía, no para la exploración de modelos computacionales sino para su construcción y todos sus elementos deben ser formulados por los estudiantes, otorgando especial atención a las preguntas foco. Estos modelos pueden ser reconstruidos las veces que sea necesario hasta que aporten resultados satisfactorios a su constructor.

Creemos que esta actividad posibilita una gran interacción estudiante-estudiante y estudiante-profesor, generando discusiones, principalmente de tipo conceptual; es decir, relativas a los conceptos y relaciones propias de la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento; y necesarias para la construcción coherente de modelos computacionales y diagramas AVM. Por lo que consideramos que la actividad de modelación computacional de modo expresivo aporta importantes evidencias de aprendizaje significativo – en el sentido propuesto por Ausubel–, asumiendo el proceso de construcción de modelos como situaciones nuevas a las que se enfrentan los estudiantes en el proceso de aprendizaje. Un ejemplo de este tipo de actividad puede verse en Veit, Mors y Teodoro (2002).

*Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM (dos horas)*

El profesor hace entrega a los estudiantes de un cuestionario que contiene una serie de preguntas relacionadas con la pertinencia de las actividades de modelación computacional y del uso del diagrama AVM para la enseñanza de la Física; y con la contribución de estas actividades al enriquecimiento de su visión sobre la modelación científica. Con esta actividad se pretende que de manera individual los estudiantes hagan una valoración de las diferentes actividades de modelación a las que han sido enfrentados.

*Actividad 11. Presentación de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (dos horas)*

El profesor realiza una presentación de las principales ideas de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira y sus respectivos principios facilitadores del aprendizaje. En esta presentación se hace un fuerte énfasis en los principios didácticos de la teoría (diversidad de materiales educativos y diversidad de estrategias de enseñanza) y la posibilidad de implementarlos en el aula de clase. Implementación que puede ser altamente favorecida por el uso de las actividades de modelación computacional y el diagrama AVM. El propósito de esta actividad

es proporcionar a los estudiantes herramientas para el diseño de actividades y materiales de enseñanza para sus futuros estudiantes. Diseño que llevarán a cabo en actividades posteriores de la propuesta didáctica y que se espera esté orientado desde algunos de los principios de este referente teórico (TASC) susceptible de ser implementado en el aula de clase.

*Actividad 12. Discusión sobre los principios de la TASC y su implementación en el diseño de actividades y materiales de enseñanza (dos horas)*

Posterior a la presentación por parte del profesor de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, en la siguiente sesión se hace una mesa redonda en la que se plantean las posibilidades reales de atender a los principios de la TASC mediante actividades y materiales de enseñanza; generando discusiones entre los estudiantes con el propósito de favorecer una mayor comprensión de los diferentes principios del aprendizaje significativo crítico y de reconocer aquellos que son susceptibles de ser contemplados de manera más explícita en las actividades de enseñanza que serán realizadas por los estudiantes.

*Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional (cuatro horas)*

En esta actividad los estudiantes eligen libremente un fenómeno o situación de interés enmarcada en el campo de la dinámica Newtoniana; y partir de ella construyen un modelo computacional haciendo uso del *software Modellus 2.5*. Además, una actividad de enseñanza debe ser formulada por ellos con el propósito de implementar el modelo computacional construido en una actividad de aula diseñada para sus futuros estudiantes. A partir de esta actividad se pretende valorar la implementación de diversos materiales educativos y estrategias de enseñanza asociadas a la modelación computacional.

*Actividad 14. Diseño del trabajo final*

Como trabajo final pide a los estudiantes elaborar una propuesta didáctica para ser implementada con estudiantes de enseñanza media, abordando cualquier contenido de la dinámica Newtoniana. Esta propuesta debe tener como elemento central la modelación computacional, para lo cual debe ser diseñado un modelo computacional por parte de los estudiantes; quienes además deben proponer el uso de elementos, herramientas y/o estrategias para guiar a los estudiantes en el proceso de modelación computacional en el aula de clase. Se pretende además, que dicha propuesta esté enfocada desde los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico. El trabajo final se plantea desde el inicio de la intervención

con la intención de que vaya siendo diseñado por los estudiantes en el transcurso del semestre.

*Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final (cuatro horas)*

En el último encuentro relativo a la ejecución de la propuesta didáctica se lleva a cabo la sustentación del trabajo final del curso por parte de los estudiantes, donde son explicitados todos los pormenores considerados tanto en el diseño como en la ejecución de las propuestas didácticas formuladas por ellos. Finalizada la presentación de cada propuesta, una serie de preguntas son formuladas tanto por el profesor como por los compañeros del curso; aportando un mayor dinamismo a la actividad de sustentación, generando una discusión en torno a cada uno de los trabajos presentados.

## **VI. Experiencia de implementación de la propuesta didáctica**

Como ya fue mencionado, esta propuesta didáctica ha sido implementada a lo largo de tres estudios consecutivos llevados a cabo con un grupo de estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental y dos grupos de estudiantes del programa de Física de la Universidad de Antioquia, Colombia.

El primer estudio tenía como principal propósito favorecer el aprendizaje significativo de conceptos básicos de dinámica Newtoniana y la predisposición de los estudiantes a partir de actividades de modelación computacional con diagrama AVM. Los principales resultados obtenidos en este estudio se presentan de modo detallado en López, Veit y Araujo (2011); y revelan que la aplicación de actividades de modelación computacional con diagrama AVM – que constituyen el material potencialmente significativo –, favoreció en los estudiantes una mayor apropiación de conceptos propios del campo conceptual de la dinámica Newtoniana, tales como: sistemas de referencia, movimiento, posición, velocidad, aceleración, fuerza y masa, posibilitándoles el establecimiento de relaciones claras y pertinentes entre dichos conceptos. Del mismo modo, las actividades de modelación computacional apoyadas en el uso del diagrama AVM, tuvieron una influencia altamente positiva en la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos.

Posteriormente se realizaron dos estudios más, en los que se tenía como principal propósito valorar la contribución de la implementación de los principios de la TASC en el aula de clase – a través de actividades de modelación

computacional con diagrama AVM – a la formación disciplinar, epistemológica y didáctica de los futuros profesores de Física y en la habilidad de los estudiantes para formular preguntas de interés sobre situaciones físicas planteadas. Los principales hallazgos de estos dos estudios son minuciosamente descritos en López (2012), y López, Veit y Araujo (2012). Y a partir de tales resultados, encontramos que el abordaje de elementos de la modelación científica a partir de actividades de modelación computacional con diagrama AVM y con fundamento en los principios de la TASC, favoreció en los estudiantes a una mayor apropiación de los conceptos propios del campo conceptual de la dinámica Newtoniana; asimismo, el uso de modelos como representaciones parciales y no exclusivas de la realidad y las discusiones en torno a los modelos y a la modelación científica posibilitó la formación de visiones epistemológicas más acordes con las posturas actualmente aceptadas, particularmente en lo que se refiere a los modelos y la modelación científica. Además, la construcción de modelos computacionales por parte de los futuros profesores de Física y el diseño de material de enseñanza a partir de la modelación computacional, les permitió llevar a cabo importantes reflexiones en torno a la enseñanza de la Física.

En relación con la contribución de la propuesta didáctica en la habilidad de los estudiantes para formular preguntas, los resultados son considerablemente satisfactorios; de tal manera que conseguimos valorar indicios de un aprendizaje significativo crítico, que puede evidenciarse en la capacidad lograda por los estudiantes para formular preguntas cada vez más relevantes, apropiadas y sustantivas, de manera sistemática, sobre los fenómenos físicos abordados. Al respecto, uno de los estudiantes participantes en el estudio 2, se refiere de la siguiente manera a la actividad de formulación de preguntas en el aula de clase:

*...estamos acostumbrados a que siempre se nos formulen preguntas en las diferentes actividades académicas y en particular en los exámenes, pero creo que nunca antes en algún curso de la Universidad se nos había dado la posibilidad de formular preguntas y mucho menos mediante un instrumento que nos obliga a hacerlo como es el diagrama AVM; además, porque sin unas preguntas previamente formuladas no tiene sentido el trabajo con los modelos computacionales (E1).*

## VII. Implicaciones para la enseñanza de la Física

Al presentar esta propuesta didáctica para la enseñanza de contenidos de la Física a futuros profesores de esta disciplina, partimos del hecho de que cualquier intento por favorecer el aprendizaje de conceptos físicos y la adquisición de visiones críticas sobre la ciencia debe ser bien acogido; siempre y cuando se sustente en perspectivas epistemológicas, conceptuales y metodológicas que contribuyan al mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje. Con esta propuesta, asumimos que 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, posibilitan la implementación de todos los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico en el aula de clase, permitiendo que los estudiantes enriquezcan sus concepciones acerca de la ciencia y de la modelación científica como un proceso fundamental en la construcción de conocimiento científico. La posibilidad de implementar los principios de la TASC en la enseñanza de la Física, fue previamente documentada por Paulo (2006).

Del mismo modo, consideramos que la implementación de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico en esta propuesta didáctica permite que la actividad de exploración y/o construcción de modelos computacionales se convierta en una actividad crítica y reflexiva por parte de los estudiantes (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002); de quienes se espera adquieran una mejor comprensión acerca de los modelos como elementos fundamentales del conocimiento científico, concibiéndolos como construcciones humanas falibles y susceptibles de ser permanentemente mejoradas y modificadas. Lo que 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; PIETROCOLA, 2005).

Lo anterior nos permite percibir en la presente propuesta una oportunidad para la formación de futuros profesores de Física con un mejor dominio de su disciplina, pero además, con una actitud más crítica y reflexiva en relación con la ciencia que enseñan, así como una visión epistemológica más coherente con las concepciones actuales sobre la ciencia y su enseñanza. En este sentido, consideramos que la introducción de elementos de modelación científica en el aula de clase a partir de actividades de modelación computacional y el uso del diagrama AVM, puede favorecer un aprendizaje significativo crítico que se da a través de la

valoración de los principios que fundamentan dicho referente teórico y que pueden ser perfectamente atendidos desde la propuesta didáctica aquí presentada.

### **Referencias bibliográficas**

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 3, p. 5-18, 2004.

ARAUJO, I. S. **Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de Física Geral**. 2005. 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. Adapting Gowin's V diagram to computational modelling and simulation applied to physics education. In: GIREP CONFERENCE, 2006, Amsterdam. **Proceedings...** p. 319-324.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Um estudo exploratório sobre as potencialidades do diagrama AVM na aprendizagem significativa de tópicos de Física. **Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación, Monografía VIII**, 503-514. 2007.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Modelos computacionais no ensino e aprendizagem de Física: um referencial de trabalho. Sometido a publicação a la **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, 2011.

BACHELARD, G. **La formación del espíritu científico**. México: Siglo XXI Editores, 1982.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

BUNGE, M. **Teoría y Realidad**. Barcelona: Ediciones Ariel, 1972.

BUNGE, M. **La investigación científica**. Barcelona: Ariel, 1985.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. **Física na Escola**, v. 9, n. 1, p. 10-14. 2008.

BRANDÃO, R. V. *et al.* Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelado científico en el contexto de la Física. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 43-60. 2011. Disponible en:

<<http://www.scielo.org.ar/pdf/reiec/v6n1/v6n1a05.pdf>>. Acceso en: 25 enero. 2012.

COLETTA, V. P.; PHILLIPS, J. A. Interpreting FCI scores: normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability. **American Journal of Physics**, v. 73, n. 12, p. 1172-1182, 2005.

DILLON, J. T. The remedial status of student questioning. **Journal of Curriculum Studies**, v. 20, p. 197-210, 1988.

GIERE, R. **Explaining Science. A cognitive approach**. Chicago: University of Chicago Press, 1988.

HESTENES, D.; HALLOUN, I. Interpreting the force concept inventory. A response to Huffman and Heller. **Physics Teacher**, v. 33, n. 8, p. 502-506, 1995.

LÓPEZ, S.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Modelación computacional apoyada en el uso del diagrama V de Gowin para el aprendizaje de conceptos de dinámica Newtoniana. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 202-226. 2011. Disponible en:

<[http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen10/ART10\\_Vol10\\_N1.pdf](http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen10/ART10_Vol10_N1.pdf)>  
Acceso en: 20 enero. 2012.

LÓPEZ, S. La modelación computacional con diagrama AVM y su contribución para el aprendizaje significativo de conceptos físicos y el desarrollo de una visión crítica sobre la ciencia y la modelación científica. 2012. Tesis (Doctorado en Enseñanza de las Ciencias) -Universidad de Burgos, Burgos. Disponible en: <[http://dspace.ubu.es:8080/tesis/bitstream/10259/177/1/L%C3%B3pez\\_R%C3%A1dos.pdf](http://dspace.ubu.es:8080/tesis/bitstream/10259/177/1/L%C3%B3pez_R%C3%A1dos.pdf)>.

LÓPEZ, S.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. La formulación de preguntas en el aula de clase: una evidencia de aprendizaje significativo crítico. Artículo sometido para publicación en la Revista **Ciência & Educação**, 2012.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

MOREIRA, M. A. **Aprendizaje significativo crítico**. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2005. Disponible en: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritesp.pdf>>. Acceso en: 29 de enero de 2012.

OTERO, J.; GRAESSER, A. PREG: Elements of a model of question asking. **Cognition and Instruction**, v. 19, n. 2, p. 143-175, 2001.

PAULO, I. J. C. de. A aprendizagem significativa crítica de conceitos da Mecânica Quântica segundo a Interpretação de Copenhague e o problema da diversidade de propostas de inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. 2006. Tesis (Doctorado en Enseñanza de las Ciencias) - Universidad de Burgos, Burgos.

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

PORLÁN, R.; RIVERO, A.; MARTÍN, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores-I: teoría, métodos e instrumentos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 15, n. 2, p. 155-171, 1997.

POSTMAN, N.; WEINGARTNER, C. **Teaching as a subversive activity**. New York: Dell Publishing Co, 1969. 219p.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **Physics Teacher**, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992.

SAVINAINEN, A.; VIIRI, J. The force concept inventory as a measure of students' conceptual coherence. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 6, n. 4, p. 719-740, 2008.

TEODORO, V. D. From formulae to conceptual experiments: interactive modelling in the Physical Sciences and in Mathematics. In: INTERNATIONAL COLOS CONFERENCE NEW NETWORK-BASED MEDIA IN EDUCATION, Maribor, Slovenia, 1998. Disponible en:

<<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/textos/VDTeodoro1998.pdf>> Acceso en: 20 mayo. 2010.

TEODORO, V. D. Modellus 2.5. Disponible en: <<http://modellus.fct.unl.pt/>> Acceso en: 20 mayo. 2010.

TOULMIN, S. **La comprensión humana: el uso colectivo y la evolución de los conceptos**. Madrid: Alianza, 1977.

VEIT, E. A.; MORS, P. M.; TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 176-184, 2002. Disponible en: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24\\_176.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_176.pdf)>. Acceso en: 29 enero. 2012.

## Anexo 1

### Guía propuesta para la entrevista semiestructurada

#### Concepciones de ciencia:

1. ¿Cómo crees que se produce el conocimiento científico?  
¿Cómo crees que evoluciona la ciencia?
2. ¿Cuál crees sería el punto de partida para elaborar leyes y teorías científicas?  
¿Consideras que la metodología científica sugiere una secuencia de pasos definidos, es decir, algo que pueda llamarse “el método científico”? ¿Cuáles pasos serían esos?
3. ¿Consideras que hay posibilidad para confusiones y errores cuando se construye conocimiento científico?  
¿Consideras que el conocimiento científico es temporal y provisional; o verdadero y definitivo? ¿Por qué?
4. ¿Qué papel juega la observación y la experimentación en la construcción de conocimiento científico?
5. ¿Qué papel juega la creatividad, la intuición y la imaginación del investigador en la elaboración de leyes y teorías?

**Concepciones sobre modelos y modelación científica en el contexto de la Física:**

1. En el contexto de la Física ¿Qué entiendes por modelo?  
¿Cuál es la función de un modelo?
2. ¿Cuál es la relación entre modelo y realidad?
3. ¿Pueden existir varios modelos para representar un mismo fenómeno o sistema físico?
4. ¿Cuándo crees que un modelo debe ser modificado o cambiado por otro?
5. ¿Qué papel juega la percepción del modelador en el proceso de construcción de modelos?
6. ¿Qué papel juegan las idealizaciones y las simplificaciones en la construcción de modelos?

**Concepciones sobre Enseñanza de las ciencias:**

Visualizándote como profesor de Física:

1. ¿Qué materiales de enseñanza utilizarías con tus estudiantes?
2. ¿Qué estrategias instruccionales utilizarías para enseñar Física a tus estudiantes?