

UNIVERSIDAD DE BURGOS
PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



**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**

TESIS DOCTORAL

SONIA YANETH LÓPEZ RÍOS

Burgos,

UNIVERSIDAD DE BURGOS
PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



Universidad de Burgos



**Universidade Federal do Rio
Grande do Sul**

**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**

SONIA YANETH LÓPEZ RÍOS

Tesis Doctoral realizada por **D. Sonia Yaneth López Ríos**, para optar al grado de Doctor por La Universidad de Burgos, bajo la dirección de la **Dra. Eliane Angela Veit** y la codirección del **Dr. Ives Solano Araujo**.

Burgos,

AGRADECIMIENTOS

A la *profesora Eliane Angela Veit*, con quien tuve la fortuna de contar como directora de este trabajo, una mujer admirable que con su dedicación y valioso acompañamiento durante este proceso me permitió creer en este sueño y hacerlo realidad.

Al *profesor Ives Solano Araujo*, codirector de esta tesis, quien con su gran disposición y sus valiosos y pertinentes aportes hizo posible esta construcción.

Al *profesor Marco Antonio Moreira*, por las importantes reflexiones y construcciones en el ámbito de la Enseñanza de las Ciencias que hoy inspiran la realización de este trabajo.

A la *profesora Concesa Caballero*, una mujer ejemplar como ser humano y como académica.

Al *profesor Rodrigo Covaleda*, de quien logré la motivación para emprender este proyecto; y quien además me proporcionó los espacios necesarios para llevarlo a cabo.

Al *profesor Fernando Lang da Silveira* por su disposición para guiar mis pasos en el campo de la estadística.

A *mi padre*, mi primer maestro, quien me enseñó la importancia de perseverar para alcanzar los sueños. Y a *mi madre y hermanos* por su constante apoyo y comprensión.

A *mi esposo Oscar*, por su amor, comprensión y compañía.

A *los estudiantes* del Instituto de Física y de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, por su disposición para participar en esta investigación.

A la *Universidad de Antioquia*, la *Vicerrectoría de Docencia*, la *Facultad de Educación* y el *Instituto de Física*, por su apoyo en la realización de este proyecto.

¡Muchas gracias!

RESUMEN

La formación integral de un profesor de Ciencias implica además del dominio de su campo disciplinar, una concepción crítica sobre la Ciencia y su enseñanza. No obstante, pese a que en las últimas décadas se ha dado una mayor relevancia a la inclusión de contenidos de naturaleza epistemológica en los currículos de formación de profesores de Ciencias, la imagen de Ciencia que éstos poseen resulta en ocasiones bastante alejada de las concepciones actuales de la naturaleza de la Ciencia. Las reflexiones en torno a este asunto motivaron el diseño y ejecución de una propuesta didáctica que tuvo como principal propósito atender los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (TASC), mediante la introducción de elementos fundamentales de la modelación científica a través del uso de modelos computacionales y del diagrama AVM, intentando así favorecer en el estudiante un aprendizaje significativo crítico, acercándolo a una mejor comprensión del proceso de producción de conocimiento científico, con miras a la 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, capaces de hacer una adecuada transposición didáctica de los contenidos a enseñar. Presentamos los principales resultados de la implementación de la propuesta didáctica 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. Como principales hallazgos en la aplicación de la propuesta didáctica, 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, facilitó el aprendizaje significativo de conceptos físicos y además favoreció en los estudiantes 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. Del mismo modo, la implementación de dicha propuesta permitió a los futuros profesores de Física realizar tentativas de transposición didáctica mientras se enfrentaron a la construcción de modelos computacionales que se constituirían en materiales de enseñanza. Creemos que la adaptación y uso de esta propuesta didáctica en cursos de formación inicial y continua de profesores de Física, es absolutamente pertinente para favorecer una formación integral de docentes, que necesariamente implica atender aspectos disciplinares, epistemológicos y didácticos.

ABSTRACT

The integral formation of a science teacher involves not only the control of their disciplinary field, but also a critical conception of the Science and its teaching. Although in recent decades there has been a greater emphasis on the inclusion of epistemological contents in the training curricula of science teachers, the image of science they have is sometimes far removed from current conceptions of the nature of science. The reflections on this issue led to the design and implementation of a teaching proposal that had as its main purpose consider the principles of Moreira's Critical Meaningful Learning Theory (CMLT), by introducing key elements of scientific modeling through the use computer models and the AVM diagram, thus attempting to encourage students in a critical meaningful learning, closer to a better understanding of the production process of scientific knowledge, with a view to the formation of prospective teachers of physics with views more critical and reflexive in relationship with scientific knowledge, scientific modeling and teaching of science capable of making appropriate didactic transposition of the content to teach. We present the main results of the implementation of the didactic proposal during three consecutive studies, conducted with a group of students from the degree program in Natural Science and Environmental Education and two groups of students from the Physics program at the University Antioquia, Colombia. As main findings in the implementation of the didactic proposal, we found that the approach of elements of the scientific modeling through activities of computational modeling with AVM diagram and based on the principles of CMLT, facilitated meaningful learning of physics concepts as well favored in the students the formation of epistemological views more in line with currently accepted views, particularly in regard to models and scientific modeling. Similarly, the implementation of the proposal allowed for prospective teachers of physics to make didactic transposition attempts while they faced to building computer models that would serve as teaching materials. We believe that adaptation and use of this didactic proposal in courses of initial and continuous formation of physics' teachers, is wholly appropriate to foster integral formation of teachers, which necessarily involves addressing disciplinary issues, epistemological and didactic.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1 Modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana	14
2.1.1 Propuestas para la enseñanza de la dinámica Newtoniana a partir de la modelación y simulación computacional	17
2.1.2 Valoración del aprendizaje de contenidos de dinámica Newtoniana mediante el uso de modelos computacionales	22
2.2 Estrategias orientadoras de actividades de modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física	33
2.3 La Enseñanza de la dinámica Newtoniana desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel	43
2.4 Modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física	53
CAPÍTULO 3. FUNDAMENTACIÓN EPISTEMOLÓGICA	58
3.1 La visión epistemológica de Mario Bunge	59
3.2 Implicaciones de la visión epistemológica de Bunge para la Enseñanza de las Ciencias	66
3.3 La visión epistemológica de Bunge en el ámbito de este trabajo	69
CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO	73
4.1 Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel	73
4.1.1 La Teoría del Aprendizaje Significativo en el ámbito de este trabajo	81
4.2 Modelación esquemática de Halloun	82
4.2.1 El proceso de Modelación esquemática	85
4.2.2 La modelación esquemática de Halloun en el ámbito de este trabajo	87
4.3 Modelación computacional con diagrama AVM	88
4.3.1 La modelación computacional con diagrama AVM en el ámbito de este trabajo	102
4.4 La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico	103
4.4.1 La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) en el ámbito de este trabajo	107

4.5 La Transposición Didáctica de Chevallard	108
4.5.1 Implicaciones de la Transposición didáctica para la enseñanza de las Ciencias	111
4.5.2 La Transposición didáctica en el ámbito de este trabajo	112
4.6 Compatibilidad de los referentes teóricos para el contexto de este trabajo	114
CAPÍTULO 5. FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA	120
5.1 Metodología de Investigación	120
5.1.1 Metodología cuantitativa	120
5.1.2 Metodología cualitativa	122
5.1.3 Instrumentos de recolección de datos	128
5.2 Metodología de Enseñanza	136
CAPÍTULO 6. ESTUDIO I	152
6.1 Fases del estudio	153
6.1.1 Recolección de la información inicial	153
6.1.2 Propuesta didáctica	153
6.1.3 Recolección de la información final	157
6.2 Análisis y discusión de resultados	158
6.3 Síntesis del Estudio I	197
CAPÍTULO 7. ESTUDIO II	199
7.1 Fases del estudio	200
7.1.1 Recolección de la información inicial	202
7.1.2 Propuesta didáctica	203
7.1.3 Recolección de la información final	209
7.2 Análisis y discusión de resultados	210
7.2.1 Definición de criterios para el análisis de actividades	213
7.2.2 Análisis de casos	222
7.3 Síntesis del Estudio II	323
CAPÍTULO 8. ESTUDIO III	328
8.1 Fases del estudio	331
8.1.1 Recolección de la información inicial	333
8.1.2 Propuesta didáctica	334
8.1.3 Recolección de la información final	334

8.2 Análisis y discusión de resultados	335
8.2.1 Definición de criterios para el análisis de actividades	339
8.2.2 Análisis de casos	351
8.3 Síntesis del Estudio III	430
CAPÍTULO 9. CONSIDERACIONES FINALES	437
RERERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	447

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 2.1.	El proceso global de modelación (Doerr, 1997).	34
Figura 2.2.	Siete estadios para el proceso de modelación matemática.	36
Figura 2.3.	Referente de trabajo de Santos y Ogborn para la enseñanza de la construcción de modelos (Santos y Ogborn, 1992).	37
Figura 2.4.	Representación esquemática del proceso de Modelación (Hestenes <i>apud</i> Halloun, 1996).	40
Figura 2.5.	Formulación original del Diagrama AVM (Araujo, 2005).	42
Figura 3.1.	Relación entre teoría, modelo y sistema real (extraído de Bunge, 1985, p. 420).	62
Figura 3.2	Mapa conceptual de la concepción bungeana sobre la modelación científica.	67
Figura 4.1.	Proceso de asimilación.	80
Figura 4.2.	Representación esquemática del proceso de Modelación (Hestenes <i>apud</i> Halloun, 1996).	85
Figura 4.3.	Formulación original del Diagrama AVM (Araujo, 2005).	94
Figura 4.4.	Versión actualizada del diagrama AVM (Araujo, Veit y Moreira, 2011)	100
Figura 5.1.	Sintaxis del <i>software Modellus 2.5</i> para un modelo de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.	143
Figura 5.2.	Vista de pantalla de un modelo computacional para un tiro parabólico.	144
Figura 5.3.	Vista de la pantalla del modelo computacional para la resistencia en caída vertical.	147
Figura 7.1.	Vista de la pantalla del modelo computacional para la relación fuerza-aceleración.	205
Figura 7.2.	Vista de la pantalla del modelo computacional para la fricción entre sólidos.	207
Figura 7.3.	Vista de la pantalla del modelo computacional para la resistencia en caída vertical.	208
Figura 7.4.	Esquema de valoración de los objetivos específicos del estudio II.	213
Figura 8.1.	Esquema de valoración de los objetivos específicos del estudio III.	339

LISTA DE TABLAS

Tabla	Título	Página
Tabla 3.1.	Algunos ejemplos de situaciones modeladas.	63
Tabla 4.1.	Principios de la TASC compatibles con la modelación científica de Bunge.	116
Tabla 4.2.	Elementos del diagrama AVM compatibles con la modelación científica de Bunge.	117
Tabla 5.1.	Categorías de conceptos Newtonianos en el <i>test FCI</i> .	130
Tabla 6.1.	Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio I.	154
Tabla 6.2.	Resumen del análisis de consistencia interna del <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	159
Tabla 6.3.	Desempeño de los estudiantes en las categorías de análisis del <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	160
Tabla 6.4.	Categorías de análisis para modelos computacionales con diagrama AVM.	165
Tabla 6.5.	Respuestas de los estudiantes en relación con las teorías, principios, teoremas y leyes en la exploración de los modelos computacionales.	167
Tabla 6.6.	Respuestas de los estudiantes en relación con las idealizaciones en la exploración de los modelos computacionales.	168
Tabla 6.7.	Respuestas de los estudiantes en relación con las variables y parámetros en la exploración de los modelos computacionales.	169
Tabla 6.8.	Respuestas de los estudiantes referentes a las relaciones en la exploración de los modelos computacionales.	170
Tabla 6.9.	Respuestas de los estudiantes referentes a los resultados conocidos en la exploración de los modelos computacionales.	171
Tabla 6.10.	Respuestas de los estudiantes referentes a las predicciones en la exploración de los modelos computacionales.	172
Tabla 6.11.	Respuestas de los estudiantes referentes a los datos en la exploración de los modelos computacionales.	173
Tabla 6.12.	Respuestas de los estudiantes referentes a las representaciones en la exploración de los modelos computacionales.	174
Tabla 6.13.	Respuestas de los estudiantes referentes a la validación del modelo en la exploración de los modelos computacionales.	175
Tabla 6.14.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las respuestas a	

	las preguntas foco del modelo en la exploración de los modelos computacionales.	176
Tabla 6.15.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las teorías, principios, teoremas y leyes del modelo en la exploración de los modelos computacionales.	178
Tabla 6.16.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las idealizaciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	179
Tabla 6.17.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las variables y parámetros del modelo en la exploración de los modelos computacionales.	180
Tabla 6.18.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las relaciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	181
Tabla 6.19.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de resultados conocidos del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	182
Tabla 6.20.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las predicciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	183
Tabla 6.21.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de los datos del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	185
Tabla 6.22.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las representaciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	186
Tabla 6.23.	Respuestas de los estudiantes referentes al campo de la validación del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	188
Tabla 6.24.	Descripciones de los estudiantes referentes al campo de las respuestas a las preguntas foco del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.	189
Tabla 7.1.	Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio II.	201
Tabla 7.2.	Desempeño de los estudiantes en el cuestionario sobre el concepto de fuerza o <i>test FCI</i> .	210

Tabla 7.3.	Instrumentos de recolección de datos usados para valorar el progreso de los estudiantes en relación con cada objetivo.	212
Tabla 7.4.	Puntaje de los estudiantes para la categoría imagen de ciencia en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	214
Tabla 7.5.	Puntaje de los estudiantes para la categoría enseñanza de las ciencias en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	214
Tabla 7.6.	Desempeño de los estudiantes en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> para las categorías imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias.	214
Tabla 7.7.	Prueba de Wilcoxon para la diferencia significativa <i>pretest-postest</i> .	215
Tabla 7.8.	Ítems correspondientes a la visión tradicional y constructivista para las categorías imagen de la ciencia y enseñanza de las ciencias.	216
Tabla 7.9.	Categorías y subcategorías de análisis para el <i>pretest</i> y el <i>postest</i> .	217
Tabla 7.10.	Escala cualitativa de valoración para la capacidad de formular preguntas.	219
Tabla 7.11.	Preguntas formuladas por el estudiante 1 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	223
Tabla 7.12.	Respuestas del estudiante 1 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	225
Tabla 7.13.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	227
Tabla 7.14.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	228
Tabla 7.15.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 1.	230
Tabla 7.16.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	232
Tabla 7.17.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	233
Tabla 7.18.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 1.	234
Tabla 7.19.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	236
Tabla 7.20.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	237
Tabla 7.21.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 1.	238

Tabla 7.22.	Preguntas formuladas por el estudiante 2 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	240
Tabla 7.23.	Respuestas del estudiante 2 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	242
Tabla 7.24.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	244
Tabla 7.25.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	245
Tabla 7.26.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 2.	246
Tabla 7.27.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	248
Tabla 7.28.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	249
Tabla 7.29.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 2.	250
Tabla 7.30.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	251
Tabla 7.31.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	252
Tabla 7.32.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 2.	253
Tabla 7.33.	Preguntas formuladas por el estudiante 3 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	255
Tabla 7.34.	Respuestas del estudiante 3 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	257
Tabla 7.35.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	258
Tabla 7.36.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	260
Tabla 7.37.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	261
Tabla 7.38.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	262
Tabla 7.39.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	263

Tabla 7.40.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	264
Tabla 7.41.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	265
Tabla 7.42.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	266
Tabla 7.43.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	267
Tabla 7.44.	Preguntas formuladas por el estudiante 4 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	269
Tabla 7.45.	Respuestas del estudiante 4 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	270
Tabla 7.46.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	272
Tabla 7.47.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	272
Tabla 7.48.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	274
Tabla 7.49.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	275
Tabla 7.50.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	276
Tabla 7.51.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	277
Tabla 7.52.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	278
Tabla 7.53.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	280
Tabla 7.54.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	281
Tabla 7.55.	Preguntas formuladas por el estudiante 5 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	283
Tabla 7.56.	Respuestas del estudiante 5 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	285
Tabla 7.57.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	286

Tabla 7.58.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	288
Tabla 7.59.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	289
Tabla 7.60.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	290
Tabla 7.61.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	291
Tabla 7.62.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	292
Tabla 7.63.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	293
Tabla 7.64.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	294
Tabla 7.65.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	295
Tabla 7.66.	Preguntas formuladas por el estudiante 6 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	298
Tabla 7.67.	Respuestas del estudiante 6 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	300
Tabla 7.68.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	301
Tabla 7.69.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	302
Tabla 7.70.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 6.	303
Tabla 7.71.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	304
Tabla 7.72.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	305
Tabla 7.73.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 6.	306
Tabla 7.74.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	307
Tabla 7.75.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	308

Tabla 7.76.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 6.	309
Tabla 7.77.	Preguntas formuladas por el estudiante 7 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	310
Tabla 7.78.	Respuestas del estudiante 7 para las preguntas planteadas en la actividad 6.	312
Tabla 7.79.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	313
Tabla 7.80.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	314
Tabla 7.81.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 7.	315
Tabla 7.82.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	317
Tabla 7.83.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	318
Tabla 7.84.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 7.	319
Tabla 7.85.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	320
Tabla 7.86.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	321
Tabla 7.87.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 7.	322
Tabla 7.88.	Valoración de los principios de la TASC por parte de los estudiantes.	327
Tabla 8.1.	Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio III.	332
Tabla 8.2.	Desempeño de los estudiantes en el cuestionario sobre el concepto de fuerza o <i>test FCI</i> .	335
Tabla 8.3.	Principios de la TASC, objetivos relacionados y actividades e instrumentos de recolección de datos que permiten valorar cada principio.	337
Tabla 8.4.	Principios orientadores asociados a los principios de la TASC.	338
Tabla 8.5.	Puntaje de los estudiantes para la categoría imagen de ciencia en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	341
Tabla 8.6.	Puntaje de los estudiantes para la categoría concepciones sobre	

	modelos y modelación científica en el contexto de la Física, en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	341
Tabla 8.7.	Puntaje de los estudiantes para la categoría concepciones acerca de la enseñanza de las ciencias en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> .	341
Tabla 8.8.	Desempeño de los estudiantes en el <i>pretest</i> y <i>postest</i> para las categorías imagen de ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física; y enseñanza de las ciencias.	341
Tabla 8.9.	Prueba de Wilcoxon para la diferencia significativa <i>pretest-postest</i> .	342
Tabla 8.10.	Ítems correspondientes a la visión tradicional y constructivista para las categorías imagen de ciencia, modelos y modelación científica; y enseñanza de las ciencias.	344
Tabla 8.11.	Categorías y subcategorías de análisis para el <i>pretest</i> y el <i>postest</i> .	346
Tabla 8.12.	Caracterización de los estudiantes.	353
Tabla 8.13.	Preguntas formuladas por el estudiante 3 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	354
Tabla 8.14.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 2 de la TASC.	356
Tabla 8.15.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC.	357
Tabla 8.16.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	357
Tabla 8.17.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 3 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	359
Tabla 8.18.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	360
Tabla 8.19.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 5 de la TASC.	361
Tabla 8.20.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 5 de la TASC.	362
Tabla 8.21.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 5 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	362
Tabla 8.22.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	364
Tabla 8.23.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	365
Tabla 8.24.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la	

	TASC desarrolladas por el estudiante 3.	366
Tabla 8.25.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	368
Tabla 8.26.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	369
Tabla 8.27.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	369
Tabla 8.28.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	370
Tabla 8.29.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	372
Tabla 8.30.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	373
Tabla 8.31.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 9 de la TASC.	374
Tabla 8.32.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC.	374
Tabla 8.33.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.	376
Tabla 8.34.	Preguntas formuladas por el estudiante 4 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	379
Tabla 8.35.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 2 de la TASC.	381
Tabla 8.36.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC.	381
Tabla 8.37.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	382
Tabla 8.38.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 3 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	384
Tabla 8.39.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	385
Tabla 8.40.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 5 de la TASC.	386
Tabla 8.41.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>posttest</i> y a la entrevista final referidas al principio 5 de la TASC.	387
Tabla 8.42.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 5 de la	

	TASC desarrolladas por el estudiante 4.	388
Tabla 8.43.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	389
Tabla 8.44.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	390
Tabla 8.45.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	391
Tabla 8.46.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	393
Tabla 8.47.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	394
Tabla 8.48.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	395
Tabla 8.49.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	396
Tabla 8.50.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	397
Tabla 8.51.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	398
Tabla 8.52.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 9 de la TASC.	399
Tabla 8.53.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC.	400
Tabla 8.54.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.	401
Tabla 8.55.	Preguntas formuladas por el estudiante 5 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.	405
Tabla 8.56.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 2 de la TASC.	406
Tabla 8.57.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC.	407
Tabla 8.58.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	408
Tabla 8.59.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 3 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	410
Tabla 8.60.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la	

	TASC desarrolladas por el estudiante 5.	411
Tabla 8.61.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 5 de la TASC.	413
Tabla 8.62.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 5 de la TASC.	413
Tabla 8.63.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 5 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	414
Tabla 8.64.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.	415
Tabla 8.65.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.	416
Tabla 8.66.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	418
Tabla 8.67.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.	419
Tabla 8.68.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.	420
Tabla 8.69.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	421
Tabla 8.70.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.	422
Tabla 8.71.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.	423
Tabla 8.72.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	424
Tabla 8.73.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>pretest</i> y a la entrevista inicial referidas al principio 9 de la TASC.	425
Tabla 8.74.	Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al <i>postest</i> y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC.	426
Tabla 8.75.	Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.	427
Tabla 9.1.	Principales similitudes y diferencias entre los estudios que conformaron la tesis.	440

LISTA DE ANEXOS

Anexos	Título	Página
Anexo A	Trabajos revisados por Brandão (2011), sobre modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física.	464
Anexo B	Componentes de la versión original del diagrama AVM	471
Anexo C	Componentes de la versión actualizada del diagrama AVM	472
Anexo D	<i>Test FCI</i> o “Cuestionario sobre el concepto de fuerza”	473
Anexo E	Cuestionario sobre imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias (Estudio II)	485
Anexo F	Cuestionario sobre imagen de ciencia, enseñanza de las ciencias; y modelos y modelación científica en el contexto de la Física (Estudio III)	487
Anexo G	Guía para la entrevista semiestructurada del estudio II	493
Anexo H	Guía para la entrevista semiestructurada del estudio III	494
Anexo I	Cuestionario de valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM (estudio III)	496
Anexo J	Pantalla principal de los modelos computacionales relativos a la cinemática y diagramas AVM aportados a los estudiantes para su exploración	498
Anexo K	Pantalla principal de los modelos computacionales relativos a la dinámica Newtoniana y diagramas AVM aportados a los estudiantes para su exploración	506
Anexo L	Diagrama AVM realizado por un grupo de estudiantes a partir de la interacción con uno de los modelos computacionales relativos a la cinemática (Estudio I)	516
Anexo M	Diagrama AVM realizado por un grupo de estudiantes a partir de la interacción con uno de los modelos computacionales relativos a la dinámica Newtoniana (Estudio I)	517
Anexo N	Algunas fotografías de las actividades computacionales realizadas en el aula de clase	518

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Física se ha convertido en un campo de investigación que adquiere cada vez una mayor relevancia (Moreira, 2004), 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.

Estas reflexiones han llevado a la generación de diversas propuestas didácticas enmarcadas en diferentes líneas de investigación, que buscan promover el aprendizaje de conceptos físicos en el aula de clase. Sin embargo, difícilmente tales propuestas se enfocan hacia el aprendizaje significativo (Ausubel, 2002); y mucho menos hacia un aprendizaje significativo crítico, en los términos planteados por Moreira (2005).

Muchas de esas propuestas enfocadas desde diversos referentes teóricos se quedan en un plano muy abstracto y rara vez son aplicadas a situaciones de enseñanza concretas; y cuando se logra su implementación en el aula de clase, difícilmente consiguen generar actitudes reflexivas de los estudiantes en torno al conocimiento científico, a su construcción y evolución; impidiéndoles asumir una postura crítica coherente no solo frente al conocimiento sino también frente al mundo que les rodea. Pero a esa deficiencia se le suma una mayor dificultad y es justamente el hecho de que un gran número de

profesores de ciencias no están en capacidad de generar este tipo de reflexiones en el aula, debido a que en muchas ocasiones sus concepciones epistemológicas son incompatibles con las concepciones actuales de la filosofía de la ciencia; siendo en muchas ocasiones visiones inadecuadas, deformadas y descontextualizadas (Pope y Gilbert, 1983; Hewson y Hewson; 1987; Hodson, 1988; Gil-Pérez, 1991; Lederman, 1992; Salinas de Sandoval y Colombo de Cudmani, 1993; Salinas de Sandoval, Colombo de Cudmani y Jaén de Madozzo, 1995; Kouladis y Ogborn, 1995; Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2002; Fernández et al, 2002; Bertelle, Iturralde y Rocha, 2006; Acevedo et al, 2007; Flores et al., 2007; Aldana, 2008; Peme-Aranega et al., 2008; Ravanal y Quintanilla, 2010). Tal y como lo afirman Fernández et al. (2002, p. 484):

“la imagen de la ciencia que poseen los docentes se diferenciaría poco de la que puede expresar cualquier ciudadano y resulta muy alejada de las concepciones actuales acerca de la naturaleza de la ciencia. De ahí la importancia de un trabajo de clarificación que permita a los docentes distanciarse críticamente de estas visiones deformadas”.

Podría decirse que a partir de la década de los ochenta surgió un interés especial en la epistemología de las ciencias y su relación con los procesos de enseñanza aprendizaje; pues no hay duda de la correspondencia que existe entre las concepciones epistemológicas de los docentes y su visión acerca de la enseñanza de las ciencias; de manera que el conocimiento de la ciencia influye fuertemente sobre la enseñanza de la misma (Hewson y Hewson; 1987; Brickhouse, 1990; Lederman, 1992; Carrascosa et al., 1993; Hashweh, 1996; Porlán, Rivero y Martín, 1998; Praia, Cachapuz y Gil-Pérez, 2002; Bertelle, Iturralde y Rocha, 2006; Rodríguez y López, 2006; Moreira, Massoni y Ostermann, 2007; Chinelli, Ferreira y Aguiar, 2010).

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. En concordancia con Toulmin (1977, p. 26):

“si queremos desarrollar nuestra comprensión sobre el mundo, pero queremos hacerlo de una manera crítica y reflexiva; no debemos confiar en nuestros conceptos actuales tales como son ni con pequeñas modificaciones. Para esto es necesario considerar nuestras propias creaciones en términos adecuados para nuestra época y nuestro contexto”.

Lo anterior nos lleva a fortalecer la idea de la necesaria inclusión de la epistemología y filosofía de la ciencia en los currículos de formación de profesores de ciencias (Hodson, 1988, 1992; Salinas de Sandoval y Colombode Cudmani, 1993; Salinas de Sandoval, Colombo de Cudmani y Jaén de Madozzo, 1995; Harres, 1999; López, Flores y Gallegos, 2000; Fernández et al., 2002; Colombo de Cudmani, 2003; Paruelo, 2003; Cachapuz, Praia y Jorge, 2004; Acevedo et al., 2007; Flores et al., 2007; Praia, Gil-Pérez y Vilches, 2007; Chinelli, Ferreira y Aguiar, 2010; Wainmaier, Speltini, y Salinas, 2011); pues de acuerdo con Praia, Cachapuz y Gil-Pérez (2002, p. 128):

“el conocimiento de la epistemología hace a los profesores más capaces de comprender mejor la ciencia que van a enseñar, ayudándolos en la preparación y orientación de sus clases, dando un significado más claro y más credibilidad a sus propuestas”.

Sin lugar a dudas, 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 nueve principios facilitadores de la Teoría relacionados con aspectos conceptuales (principio del cuestionamiento, del aprendiz como perceptor/representador y del conocimiento como lenguaje), epistemológicos (principio de la conciencia semántica, del aprendizaje por error, del desaprendizaje y de la incertidumbre del conocimiento) y didácticos (principios de la diversidad de materiales educativos y de la diversidad de estrategias de enseñanza) de la disciplina que se enseña; destacando este referente teórico como altamente apropiado para ser implementado en actividades de aula y para favorecer la formación de estudiantes con visiones más críticas y coherentes con las

concepciones epistemológicas contemporáneas y, por supuesto en relación con el mundo que les rodea.

De la misma manera, el favorecimiento de un aprendizaje significativo crítico en el aula implica además una estimulación del cuestionamiento por parte del estudiante; de manera que éste no sea un receptor pasivo del conocimiento transmitido por el profesor; y que por el contrario sea un activo constructor de conocimientos, aprendiendo a formular de manera sistemática preguntas relevantes, apropiadas y sustantivas; y así generar en el aula de clase una permanente interacción estudiante-profesor y estudiante-estudiante.

Asimismo, 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.

Dentro de los diferentes usos de las tecnologías computacionales para la enseñanza de conceptos científicos, es importante resaltar la modelación computacional, que además de ser objeto de interés del presente estudio se constituye en una herramienta cognitiva altamente promisoría para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias y de la Física en particular. 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, reconstruirlos y construirlos desde el principio, si así se requiere.

La implementación de actividades de modelación computacional en este estudio tuvo como propósito 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; y con esa intención se presentó una propuesta didáctica que tenía como objetivo fundamental atender los principios básicos de la Teoría

del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC), aplicándolos en el aula de clase a partir de la utilización de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM (Araujo, 2005; Araujo, Veit y 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.

De la misma manera, con la implementación de las actividades de modelación computacional fundamentadas en la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, se pretendía conocer la contribución de éstas en la formación de visiones epistemológicas en los estudiantes, más adecuadas en relación con el conocimiento científico y la modelación científica; así como valorar la influencia del enfoque didáctico propuesto en las tentativas de transposición didáctica realizadas por los sujetos participantes en esta investigación, a partir del diseño de materiales de enseñanza para sus futuros estudiantes.

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; Giere, 1988; Bachelard, 1982).

En esos mismos términos se resalta la modelación científica como un recurso didáctico potencialmente capaz de apoyar al estudiante en el aprendizaje de la ciencia (Hestenes, 1992, 1996, 2006; Hodson, 1992; Brandão, Araujo y Veit, 2008, 2010) y de llevarlo a comprender aspectos relacionados con la epistemología de la ciencia; aportando unas bases apropiadas para la inclusión de contenidos de historia, filosofía y epistemología en los currículos de ciencias (Justi y Gilbert, 2000).

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.

En cuanto a la visión de ciencia se refiere, este autor establece una mediación entre lo que es la racionalidad absoluta y el realismo inmediato, asumiendo una postura crítica que rompe con el dogmatismo y que concibe la ciencia no solo como un proceso racional, sino también creativo; y considera la construcción de modelos conceptuales y modelos teóricos como una actividad creadora que pone en juego los conocimientos, las preferencias y aún la pasión intelectual del constructor (Bunge, 1972). Desde la perspectiva bungeana, se entiende la modelación científica como un proceso de construcción de modelos con el propósito de apresar la realidad.

Y como resultado de ese proceso de modelación surgen los modelos conceptuales como explicaciones del mundo, entendidos como representaciones simplificadas e idealizadas de la realidad y no como la realidad misma. Esta visión es compartida por muchos autores; entre ellos, Grosslight et al. (1991), Gilbert (1991), Halloun (1996, 2004), Greca y Moreira (1997), Moreira, Greca y Rodríguez Palmero (2002), Justi y Gilbert (2000, 2002a), Justi (2006), y Giere (1988, 2004, 2010); quienes consideran el modelo conceptual como una representación simplificada e idealizada de objetos, fenómenos o situaciones reales; y no el fenómeno o la situación en sí.

Sin desconocer la polisemia del concepto modelo en la literatura científica (Krapas et al., 1997), es importante dejar claro que en el marco de este trabajo es asumida la concepción de modelo científico de Mario Bunge; para quien la esencia del trabajo científico son los modelos conceptuales y teóricos. Desde la visión de este filósofo de la ciencia, un modelo conceptual u objeto-modelo se refiere a objetos supuestamente reales y tiene como propósito aportar una imagen simbólica de la realidad (Bunge, 1972, p. 13). Y un modelo teórico de un objeto supuesto real es una teoría específica que resulta de la inserción de un modelo conceptual en una teoría general. Dicho de otro modo, un modelo conceptual (objeto-modelo) de un objeto concreto (sistema o evento) es insertado en una teoría general para generar un modelo teórico (teoría específica), que aporta una explicación acerca del

comportamiento de ese modelo conceptual; de tal manera que los modelos no son contruidos al margen de las teorías vigentes. Así, la construcción de modelos teóricos podría considerarse la base de la construcción del conocimiento científico.

En el ámbito de este estudio nos referiremos a la modelación como un proceso de construcción de modelos o aplicación de modelos ya contruidos, buscando con ello aprehender la realidad; y se pretende justamente que mediante ese proceso de modelación, los modelos idiosincrásicos y tácitos (representaciones internas) que poseen los estudiantes se conviertan en modelos explícitos (representaciones externas) que se aproximen cada vez más a los modelos científicamente aceptados; es decir, llevar al estudiante a construir modelos mentales adecuados (consistentes con los propios modelos conceptuales) de sistemas o fenómenos naturales (Moreira, Greca y Rodríguez Palmero, 2002, p. 46).

La articulación de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM con la visión epistemológica bungeana, busca generar respuestas para las siguientes preguntas orientadoras de esta investigación:

1. ¿Cuál es la contribución de la modelación computacional mediante el uso del diagrama AVM?: (a) al aprendizaje de conceptos de dinámica Newtoniana, y (b) a la predisposición del estudiante para el aprendizaje de conceptos físicos.
2. ¿Cómo contribuye la incorporación de elementos propios de la modelación científica en el aula de clase mediante la modelación computacional y el diagrama AVM en la habilidad de los estudiantes para formular preguntas?
3. ¿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?
4. ¿Cómo contribuye 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?

5. ¿Cuál es la influencia del enfoque didáctico propuesto en las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes a partir del diseño de materiales de enseñanza?

La primera pregunta orientadora de esta investigación hace alusión directa a la dinámica Newtoniana, campo de conocimiento en el que se enmarcaron las diferentes actividades de modelación implementadas a lo largo de toda la investigación. Este campo conceptual de la Física fue abordado considerando no solo el lugar tan fundamental que ocupa en los currículos escolares de nuestro país, sino por las múltiples referencias en la literatura (Viennot, 1979; Watts y Zylbersztajn, 1981; Sebastia, 1984; Terry, Jones y Hurford, 1985; Halloun y Hestenes, 1985a, 1985b; Hewson, 1990; Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992; Valente y Neto, 1992; Hennessy et al., 1995; Li, Borne y O'shea, 1996; Talim, 1999; Tao y Gunstone, 1999; Veit, Mors y Teodoro, 2002; Benegas et al., 2006; Tasar, 2006; Mora y Herrera, 2009; Hülsendeger, 2004; Espinoza, 2005; Kibble, 2006; Poon, 2006; Covián y Celemín, 2008) que dan cuenta de que conceptos fundamentales de la dinámica Newtoniana tales como fuerza, movimiento, aceleración, entre otros, han sido de difícil comprensión por parte de los estudiantes, quienes llevan al aula de clase un conjunto diverso de ideas fuertemente arraigadas, que bien pueden ser producto de sus propias experiencias o de la instrucción escolar; pero de cualquier forma difieren enormemente de la interpretación Newtoniana, convirtiéndose en obstáculos epistemológicos para el aprendizaje de otros conceptos científicos.

Nos referimos a dichos obstáculos en los términos planteados por Bachelard, quien los considera como conocimiento previo fundamentado en aspectos puramente sensitivos, inmediatos, intuitivos, que provienen de la percepción y que pueden ser una causa más de regresión en la construcción de conocimiento. En palabras del epistemólogo:

“es en el acto mismo de conocer, íntimamente donde aparecen, por una especie de necesidad funcional, los entorpecimientos y las confusiones. Es ahí donde mostraremos causas de estancamiento y hasta retroceso, es ahí donde discerniremos

causas de inercia que llamaremos obstáculos epistemológicos” (Bachelard, 1982, p. 15).

En el ámbito educativo, Bachelard se refiere a estos obstáculos como obstáculos pedagógicos, los cuales requieren ser superados para la construcción y aprendizaje del conocimiento científico por parte del estudiante.

Otra razón por la que se eligió la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento para incorporar los elementos de la modelación científica en el aula de clase, es porque cuando se habla de modelos al interior de la Física, hay una fuerte tendencia a referirse a tópicos ajenos a la Física clásica. En estos términos, Islas y Pesa (2003, p. 60) afirman que la construcción de modelos se reconoce como una actividad destinada a ciertos tópicos de la Física y no a la totalidad de su campo de estudio. Entre esos tópicos, los que aparecen mencionados más frecuentemente por los docentes son los de Física atómica y nuclear.

En esta era de la Física moderna hay quienes afirman que no tiene ningún sentido enseñar la Física clásica, particularmente, la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento; sin embargo, consideramos que tiene mucho valor, ya que las leyes fundamentales de la dinámica Newtoniana continúan aportando descripciones bastante aproximadas para el movimiento de objetos a una escala macroscópica; sólo que como toda teoría, ésta también tiene sus limitaciones; en este caso, para referirse a movimientos a altas velocidades (cercanas a la velocidad de la luz) y a escalas a nivel atómico y subatómico. Y justamente, la posibilidad de ver las teorías científicas como construcciones humanas falibles, provisionales y con ciertas limitaciones, permite al estudiante adquirir una visión crítica en relación con el conocimiento científico, su construcción y su evolución.

De cualquier manera, consideramos que los modelos computacionales diseñados en el contexto de la dinámica Newtoniana para incluir elementos de la modelación científica en el aula de clase, no sólo permiten una mejor comprensión de los estudiantes hacia los conceptos de este campo conceptual, sino que además favorece la comprensión del proceso de modelación científica, acercándolos y haciéndolos partícipes del proceso de construcción de conocimiento.

Para intentar dar respuesta a las preguntas orientadoras de la investigación, se proponen tres estudios implementados de manera independiente en el transcurso de tres asignaturas semestrales de los programas de Física y de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad de Antioquia, Colombia. Estos estudios son mostrados en diferentes capítulos de esta tesis, al igual que su fundamentación epistemológica y metodológica, revisión de literatura, marco teórico y consideraciones finales.

En el capítulo dos se presenta la revisión de literatura, abordando como ejes fundamentales: el uso de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana; las estrategias orientadoras de las actividades de modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física; la enseñanza de la dinámica Newtoniana desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel; y los modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física. En el capítulo tres se presenta la fundamentación epistemológica de este trabajo sustentada en la visión de Mario Bunge en relación con los modelos y la modelación científica. Asimismo, se muestran algunas implicaciones de la visión bungeana para la enseñanza de las ciencias en general y para el ámbito de este trabajo.

El cuarto capítulo se refiere al marco teórico, apartado en el cual se hace una presentación sobre cada uno de los referentes conceptuales que fundamentan la propuesta didáctica: la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, la Modelación Esquemática de Halloun, la Modelación Computacional con diagrama AVM, la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira y la Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard. Además, en una última sesión de este capítulo se muestra la manera en que los diferentes referentes teóricos se articulan en el contexto de este trabajo.

En el capítulo cinco se presenta la fundamentación metodológica del trabajo constituida por dos partes fundamentales: el referencial metodológico en el que se presenta una descripción de la metodología cuantitativa y cualitativa, dándole más valor a esta última particularmente en lo que se refiere al estudio de casos, por ser el método implementado para orientar y realizar el análisis de los tres estudios; y en esta misma sección se hace una síntesis del progreso de la investigación y se describen los diferentes instrumentos de recolección de datos. Y en la segunda parte de la fundamentación metodológica son

descritos los objetivos y la metodología de enseñanza o propuesta didáctica implementada en los tres estudios que constituyen esta investigación.

El capítulo seis muestra los resultados del estudio I que tenía como propósito realizar un estudio exploratorio sobre el proceso de aprendizaje de algunos conceptos básicos de dinámica Newtoniana, a través de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM; así como valorar la influencia de dichas actividades en la predisposición de los estudiantes para aprender conceptos físicos. Este estudio fue realizado en un curso inicial de Física con 23 estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Los resultados del estudio II se presentan en el capítulo siete. Este estudio fue realizado con un grupo de siete estudiantes que cursaban la asignatura Didáctica para Físicos, perteneciente al programa de Física; y que tenía como propósito valorar la posibilidad de atender los principios básicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico referidos al aprendizaje (principio del cuestionamiento, del aprendizaje por error, del desaprendizaje y de la incertidumbre del conocimiento), aplicándolos en el aula de clase a partir de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM. Concretamente, en este estudio se pretendía conocer la contribución de dichas actividades en la evolución de las concepciones de ciencia y en la habilidad de los estudiantes para formular preguntas de interés sobre situaciones físicas planteadas.

El capítulo ocho de esta tesis muestra los resultados del tercer y último estudio realizado un semestre después del estudio II con un nuevo grupo de siete estudiantes que cursaban la asignatura Didáctica para Físicos. Este estudio fue similar al estudio II, pero aquí se introdujeron los demás principios de la TASC que no fueron considerados en ese estudio (principio del aprendiz como perceptor/representador, del conocimiento como lenguaje, de la conciencia semántica, de la diversidad de materiales educativos y de la diversidad de estrategias de enseñanza); y además, se buscaron evidencias relacionadas con la influencia del enfoque didáctico propuesto en las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes a partir del diseño de materiales de enseñanza para sus futuros estudiantes.

En el noveno y último capítulo de la tesis se presentan las consideraciones finales haciendo una síntesis de los tres estudios desarrollados y estableciendo una comparación entre ellos

en términos de similitudes y diferencias. Además, se mencionan las perspectivas futuras en este prometente campo de investigación.

Capítulo 2

REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se presentan los resultados de una revisión de literatura acerca de: el uso de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana; las estrategias orientadoras de las actividades de modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física; la enseñanza de la dinámica Newtoniana desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel; y los modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física. Tópicos que aportan información altamente relevante para el diseño y ejecución del presente trabajo de investigación, que se vale del uso de modelos computacionales y del diagrama AVM como una estrategia que orienta la modelación computacional, buscando propiciar aprendizajes significativos en Física.

Para esta revisión fueron consultadas entre los años 1990 y 2010 las siguientes revistas: Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Physics education, Revista Brasileira de Ensino de Física, The Physics Teacher, Investigações em Ensino de Ciências, Ciência & Educação, Computers & Education, Journal of Research in Science Teaching, Caderno Brasileiro de Ensino de Física¹, Journal of Science Education, International Journal of Science Education, Science & Education, Revista Iberoamericana de Educación, Revista Enseñanza de las Ciencias, Revista de Enseñanza de la Física, Journal of Computer

¹ Esta revista se denominaba Caderno Catarinense de Ensino de Física hasta el año 2001.

Assisted Learning y American journal of physics. La revisión de literatura se limita a las dos últimas décadas, dado que es en estos últimos veinte años en los que ha tomado mayor fuerza el uso de los modelos y simulaciones computacionales para la enseñanza de la Física.

En la siguiente sección son presentados los trabajos referentes al uso de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana en el aula de clase.

2.1 Modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana

En esta sección se presentan los principales resultados de una revisión de literatura referente al uso de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de contenidos de la dinámica Newtoniana en el aula de clase; bien sea a nivel de educación media o universitaria.

Es importante resaltar que en las últimas décadas las tecnologías computacionales han tenido un gran impacto en la Educación en Ciencias, particularmente en la enseñanza de la Física. Reflejo de ello es el número creciente de trabajos que se han realizado en relación con el uso del computador en el proceso de enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos. La utilización de este instrumento como herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física brinda varias posibilidades como: tratamiento de cálculos, diseño de gráficas, instrumento de medición, instrumento de adquisición y procesamiento de datos y, la realización de simulaciones de fenómenos físicos.

En este sentido, Araujo, Veit y Moreira (2004) realizan un interesante análisis de 109 artículos publicados en revistas especializadas en Enseñanza de las Ciencias y de Física en particular. Este análisis se hace sobre las principales modalidades pedagógicas del uso del computador en la enseñanza de la Física en el nivel medio y universitario. Estos artículos fueron clasificados en siete categorías basadas en las diferentes modalidades del uso del computador en la enseñanza de la Física, así:

- 1) Instrucción y evaluación mediada por el computador

- 2) Modelación y simulación computacional
- 3) Recolección y análisis de datos en tiempo real
- 4) Recursos multimedia
- 5) Comunicación a distancia
- 6) Resolución algebraica/numérica y visualización de soluciones matemáticas
- 7) Estudio de procesos cognitivos

Entre estas categorías se destaca la modelación y simulación computacional en la que se enmarca esta investigación, asumiendo esta modalidad de uso del computador como una herramienta cognitiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física, que posibilita el diseño e interacción con modelos conceptuales que, por lo menos en principio, puedan ser implementados en el computador y tengan fines didácticos.

Dado que los términos modelación y simulación computacional son utilizados en muchas ocasiones de manera indiscriminada, es importante establecer aquí una diferenciación entre ellos. En este sentido, 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.

Aunque el interés del presente estudio está centrado de manera específica en la modelación computacional, la revisión de literatura fue ampliada a la modelación y simulación justamente por la imprecisión que existe en el uso de estos dos términos.

Así como en otras áreas de las ciencias, el uso de modelos y simulaciones computacionales para la enseñanza de contenidos de Física ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años; y la enseñanza del campo de la dinámica Newtoniana desde el enfoque de los

modelos y las simulaciones computacionales no ha sido ajena a este crecimiento. Al respecto es importante resaltar que en las últimas dos décadas se ha gestado una importante cantidad de trabajos relacionados con el uso de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de la Física; no obstante, nuestra revisión de literatura se restringe específicamente a la implementación de la modelación y simulación computacional al campo conceptual de la dinámica Newtoniana.

Dicha revisión se ve aún más delimitada si se tiene en cuenta que los trabajos revisados son principalmente aquellos que tienen como principal propósito la enseñanza y/o aprendizaje de conceptos de dinámica Newtoniana en el aula de clase; y a los que subyace un referencial teórico y/o propuesta pedagógica que dé cuenta de la manera en que los estudiantes logran la comprensión de conceptos propios de este campo de conocimiento. Asimismo, es importante aclarar que el análisis crítico de cada uno de los trabajos aquí presentados, escapa a las pretensiones de esta revisión.

En estos términos, el número de trabajos encontrados disminuye considerablemente pudiendo ser clasificados en dos categorías: propuestas para abordar la enseñanza de la dinámica Newtoniana desde la modelación y/o simulación computacional y resultados de la implementación de la simulación y/o modelación computacional para la enseñanza de conceptos de dinámica Newtoniana.

Esta clasificación se hace debido a que un gran número de trabajos -que constituyen la primera categoría- se enfocan básicamente en la descripción de las características y potencialidades de un *software* de modelación y/o simulación computacional; y en algunos casos, de alguna propuesta metodológica para su implementación en el aula de clase; mientras que los trabajos descritos en la segunda categoría reportan resultados de estudios que permiten tener una concepción de la contribución de la modelación y simulación computacional al aprendizaje de conceptos físicos. La clasificación de los trabajos en estas dos categorías no es la única posible; de hecho los artículos incluidos en la segunda categoría pudiesen hacer parte de la primera, si se tiene en cuenta que los resultados de la implementación de la simulación y/o modelación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana, surgieron del planteamiento de una propuesta.

En la próxima sección se presenta una síntesis de los trabajos más relevantes relacionados con las propuestas de enseñanza de la dinámica Newtoniana haciendo uso de la modelación y simulación computacional.

2.1.1 Propuestas para la enseñanza de la dinámica Newtoniana a partir de la modelación y simulación computacional

Hennessy et al. (1995) describen el diseño y desarrollo de un conjunto de materiales de enseñanza que comprenden simulaciones computacionales sobre fuerza y movimiento en una serie de actividades escritas y actividades prácticas, buscando promover un cambio en la comprensión conceptual de los estudiantes sobre los fenómenos físicos. Las simulaciones constituyeron un componente clave en un paquete integrado de enseñanza para la mecánica que también incluía una secuencia de actividades prácticas desarrolladas en relación con las actividades computacionales, brindándoles a los estudiantes la oportunidad de reflexionar sobre los patrones que ellos habían observado.

El propósito pedagógico de este estudio fue ayudar a los estudiantes en la revisión de sus estructuras conceptuales existentes en línea con la perspectiva Newtoniana. Así, estas actividades tenían por objeto permitir a los alumnos derivar relaciones entre las variables relevantes y referir esas relaciones a principios básicos. Este tipo de exploración de los comportamientos y efectos de las fuerzas fue destinado a ayudar a construir la noción de fuerza neta y a vincularla con los cambios en el movimiento.

De acuerdo con los autores, el *software* utilizado (*ARK* animador gráfico) brinda a los estudiantes la oportunidad de construir un conjunto Newtoniano de reglas relacionadas con las nociones de fuerza y movimiento sobre la pantalla. El *software* es diseñado para hacer que las reglas se consideren lo más aparente posible a través de dispositivos tales como gráficas en tiempo real y flechas de fuerza sobre la pantalla representando la magnitud de las fuerzas actuando sobre un objeto en un tiempo específico.

Las simulaciones computacionales y todas las actividades asociadas fueron puestas a prueba con un grupo piloto de 375 estudiantes de la escuela secundaria, cuyas edades oscilaban entre los 12 y 15 años (además de 60 adultos). La metodología en que se basa su

desarrollo se resume en una visión general del proyecto “Cambio Conceptual en Ciencia” (Twigger et al., 1991).

Esta propuesta busca propiciar un aprendizaje significativo de los conceptos de mecánica a través de un proceso de investigación, experimentación y reflexión; y está diseñada para ser utilizada por pequeños grupos de alumnos e incorpora una serie de innovadoras simulaciones de manipulación directa con actividades prácticas complementarias.

Partiendo de las dificultades que presentan los estudiantes para el aprendizaje de la Física y de manera particular de la mecánica Newtoniana, Li, Borne y O'shea (1996) consideran que las simulaciones basadas en el computador pueden contribuir significativamente para ayudar a los estudiantes en la superación de dichas dificultades. Los autores realizan una amplia descripción sobre el uso de la herramienta *Scenario Design Tools (SDT)* para que los profesores construyan simulaciones computacionales que puedan ser utilizadas en la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica Newtoniana en la enseñanza media.

Este *software* permite simular el movimiento de objetos bajo fuerzas aplicadas, gravedad y fricción; y los usuarios pueden manipular directamente estos objetos y las fuerzas a través del mouse y diferentes botones. Hay una serie de escenarios en el sistema y cada uno muestra un movimiento en una situación diferente. Los íconos de objetos se emplean en los escenarios para representar situaciones del “mundo real”. El movimiento de los objetos es observado y descrito por las animaciones y representaciones gráficas. También hay dispositivos de control en el sistema como deslizadores y botones, que se incorporan en diversos escenarios para que los alumnos puedan manipularlos, explorar el escenario y estudiar los movimientos de los objetos en diferentes contextos.

Los estudios de valoración de la herramienta mostraron que el sistema tuvo mucho éxito y que gustó tanto a alumnos como profesores; sin embargo, también revelaron una limitación del sistema y es que la herramienta sólo permite a los profesores utilizar escenarios predefinidos, lo que no permite la modificación o creación de nuevos escenarios. Todos los escenarios fueron creados por los desarrolladores del *software Smalltalk* (un sistema de programación orientado a objetos); y si los profesores querían modificar las situaciones existentes o crear otras nuevas, debían de adquirir conocimientos sobre el lenguaje de programación.

El *software* fue desarrollado como parte del proyecto “Cambio Conceptual en la Ciencia”, cuyo objetivo era investigar el cambio conceptual en la ciencia, específicamente el diseño y funciones del *software* en la facilitación de tales cambios en la comprensión adquirida por los alumnos de secundaria. El dominio escogido para el proyecto fue el aprendizaje de la mecánica Newtoniana, considerando que han sido ampliamente reportadas las dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de este campo de la Física.

Kleer, Thielo y Santos (1997) presentan un programa de modelación que permite utilizar algunos contenidos y conceptos de mecánica Newtoniana en la investigación de accidentes de tránsito. Consideran además que el programa IAT puede ser utilizado con estudiantes de enseñanza media y superior para favorecer el aprendizaje de conceptos físicos.

El programa IAT fue desarrollado en el marco del proyecto Desarrollo y Uso de Herramientas Computacionales para el Aprendizaje Exploratorio de Ciencias, con el propósito, no sólo, de ser utilizado en la investigación de accidentes de tránsito, sino que además sirviera como material de apoyo a los profesores de Física interesados en abordar tópicos de mecánica contextualizados a situaciones reales. El programa contiene material de apoyo como opciones de gráficas y animaciones, así como la fundamentación teórica requerida para abordar el estudio de los tópicos considerados.

Con el propósito de discutir las ventajas y desventajas didácticas del uso de un *software* de simulación en la enseñanza de la Física, Santos, Otero y Fanaro (2000) formulan una serie de recomendaciones fundamentales para el diseño de materiales de enseñanza haciendo uso de simuladores. Asimismo, establecen relaciones entre la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel-Novak-Gowin y la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird; considerando que la Teoría del Aprendizaje Significativo es enormemente fructífera a la hora de analizar y diseñar situaciones de enseñanza y materiales instruccionales relacionables con la estructura cognitiva de manera no-arbitraria y no-literal, para que el aprendizaje no sea mecánico, refiriéndose al *software* como parte de materiales instruccionales cuidadosamente elaborados; y haciendo alusión a la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird para valorar la contribución de la utilización de simulaciones a la construcción de modelos mentales apropiados para razonar y comprender en Física.

Las autoras presentan un análisis del tratamiento didáctico de dos problemas enmarcados en la mecánica Newtoniana haciendo uso del *software* comercial *Interactive Physics*, Versión 2.5, como herramienta de apoyo a las clases de Física básica en los primeros cursos de la universidad o en los últimos años de la escuela media. Este *software* permite simular situaciones fundamentales de la mecánica Newtoniana, dentro de las cuales se presenta el movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado y la rodadura pura de una esfera rígida y su desaceleración debida a la deformación de la superficie sobre la que rueda.

Una conclusión valiosa de este trabajo está en el énfasis que hacen las autoras en la importancia del control didáctico que el docente debe tener de todas las situaciones que plantea. Y consideran fundamental el uso de las simulaciones debido a que posibilitan visualizar aspectos de un fenómeno físico a los que difícilmente accederíamos con lápiz y papel; pero hacen un fuerte énfasis en la necesidad de tener en cuenta que ninguna simulación de una situación física puede ser confundida con la realidad.

Con el objetivo de tratar problemas más reales y actuales, Veit, Mors y Teodoro (2002) presentan una alternativa para la enseñanza de la segunda ley de Newton. La propuesta está enfocada en el uso de la modelación computacional a partir del *software* *Modellus*, capaz de resolver fácilmente de manera numérica la segunda ley de Newton, aportando para cada instante de tiempo los valores numéricos representativos y dando la opción de utilizar diferentes representaciones (tablas, gráficos y animaciones del movimiento) para investigarse el modelo en construcción. Lo cual posibilita enseñar la Matemática y la Física de un modo integrado, siendo una complemento fundamental de la otra.

Los autores reconocen el uso de diversos aplicativos desarrollados para la modelación computacional como planillas electrónicas, *Matlab* y *Mathematica*; destacando que cualquiera de ellos puede ser utilizado como una herramienta para enriquecer y actualizar la enseñanza de la Física. En este trabajo particularmente es ilustrada la solución de la segunda ley de Newton con el programa de modelación computacional *Modellus*, la cual puede ser numéricamente resuelta con gran facilidad por éste; lo que permite al estudiante disponer de mucho más tiempo para concentrarse en los aspectos físicos y en la comprensión conceptual del problema.

Los autores hacen alusión a la necesidad de incorporar a las aulas de clase el computador como instrumento de medida y análisis, refiriéndose de manera particular a la modelación computacional como una herramienta indispensable para la enseñanza de la Física en la actualidad, debiendo ser usada como recurso metodológico para promover la interacción personal y el intercambio de significados a través de las actividades grupales.

En relación con este mismo *software* de modelación, Teodoro (2004) realiza una breve descripción sobre cómo utilizar el *software Modellus* para construir juegos físicos usando las leyes de Newton expresadas como ecuaciones diferenciales. En el artículo se hace referencia a la Física como un proceso de creación y verificación de modelos acerca del mundo y, se considera que cantidades físicas como fuerza, energía y tiempo son conceptos matemáticos abstractos usados para describir y manipular el mundo. Se muestran además algunos ejemplos de cómo construir modelos para abordar el estudio de las leyes de Newton con el uso de este *software*.

El autor concluye diciendo que jugar con modelos haciendo uso del *software Modellus*, puede ayudar a los estudiantes a apreciar a la forma en que los modelos son construidos, probados y usados, particularmente aquellos modelos que usan la Matemática como lenguaje.

Un conjunto de materiales diseñados para la enseñanza de la mecánica Newtoniana en la ESO y en el bachillerato es propuesto por Sánchez (2007). Este conjunto de materiales está constituido esencialmente por videos de experiencias de laboratorio y animaciones construidas con el programa *Modellus*; y la estructura básica del trabajo y una parte del material se puede obtener en la web del Departamento de Física y Química del Instituto de Enseñanza Secundaria “Leonardo Da Vinci” de Alicante². Esta propuesta está orientada por unidades didácticas desarrolladas como programas-guía de actividades que sirven como material de apoyo para la docencia, posibilitando procesos de aprendizaje y de evaluación.

Aunque no hay un reporte de la ejecución de esta propuesta de enseñanza en el aula de clase, el autor propone la implementación de estas actividades a partir del modelo de

²<http://intercentres.cult.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/fisica.htm>

enseñanza por investigación (Gil, 1993; Furió, 2001). Para este trabajo son diseñadas 50 animaciones o modelos computacionales referentes a la mecánica diseñados por el autor y sus estudiantes, así como 12 clips de video grabados en el laboratorio.

El autor defiende la implementación de estas actividades en el aula de clase resaltando la simplicidad y el grado de interactividad permitido por éstas, así como la posibilidad que ofrecen de tener acceso a la estructura matemática del modelo, pudiendo alterar variables y parámetros del modelo y permitir así a los usuarios ser potenciales coautores de la aplicación.

En la siguiente sección se muestra una síntesis de los principales trabajos que presentan resultados referentes al aprendizaje de contenidos de dinámica Newtoniana mediante el uso de modelación y simulación computacional.

2.1.2 Valoración del aprendizaje de contenidos de dinámica Newtoniana mediante el uso de modelos computacionales

Partiendo de la idea de que la construcción de modelos tiene un gran potencial para facilitar el cambio conceptual en los estudiantes, dado que les permite explicitar y probar sus propias hipótesis, Doerr (1997) desarrolla un marco teórico para un proceso de modelación que integra las simulaciones en computador con experimentos y herramientas de análisis basadas en computador.

El proceso de modelación fue diseñado para apoyar a los estudiantes en la reconstrucción y modificación de un modelo de movimiento en un plano inclinado. Los estudiantes tenían la oportunidad de llevar a cabo cada uno de los componentes del proceso de modelación: experimentación, simulación y análisis. Para el estudio fue presentada una unidad curricular que consistía de cuatro tareas para investigar las fuerzas involucradas en un movimiento acelerado en un plano inclinado. Las tareas consistían en:

1. La resolución de un vector en sus componentes horizontal y vertical.
2. El efecto de las múltiples fuerzas actuando sobre un objeto en un plano inclinado.
3. La relación entre fuerza, masa y aceleración.

4. El papel de la fricción y la manera en que ésta afecta el movimiento de un objeto en un plano inclinado.

Para cada tarea hubo un montaje experimental diferente y se planteó una pregunta abierta.

El estudio se centró en cómo los estudiantes construyeron sus propios conceptos, explicitaron las relaciones entre ellos, formularon hipótesis, probaron sus ideas y, finalmente desarrollaron un modelo para analizar el movimiento de los objetos en planos inclinados.

La unidad curricular fue diseñada para integrar los tres componentes: la recolección de datos de un experimento físico, la exploración de una simulación computacional y, el análisis matemático (algebraico, gráfico) de los datos. El segundo y tercer componentes estuvieron apoyados en el *software Interactive Physics* y *Function Probe-software* interactivo para el aprendizaje sobre funciones-, respectivamente.

El estudio se realizó en un curso integrado de Álgebra, Trigonometría y Física en una escuela pública que contaba con 17 alumnos de los grados 9 a 12 que habían elegido tomar el curso. Se llevó a cabo un estudio de caso con un grupo de tres estudiantes que fueron observados y analizados en el desarrollo de su modelo para el movimiento de un objeto en un plano inclinado. El proceso de construcción de modelos fue examinado con base en tres componentes claves: experimentación con fenómenos físicos, la exploración de posibles alternativas a través de un entorno de simulación y el proceso iterativo de desarrollo de una solución con una herramienta de análisis multi-representacional.

Los principales resultados señalan que los estudiantes fueron capaces de vincular el concepto de aceleración con la tasa de cambio en la velocidad y reconocer el concepto de fuerza como causante del movimiento acelerado en el análisis integrado del movimiento de un objeto en un plano inclinado. Además, los estudiantes fueron capaces de establecer vínculos claros entre las representaciones que eligieron y el evento físico que estaba siendo investigado.

La autora concluye afirmando que este estudio proporciona evidencia de la viabilidad y eficacia del enfoque de modelación basado en los tres nodos: experimentación, simulación

y análisis, con muchas acciones realizadas en el movimiento entre los nodos; considerando que el proceso de construcción de modelos investigado en este estudio proporciona múltiples opciones para los estudiantes elegir y desarrollar las representaciones. Del mismo modo, los estudiantes demostraron una habilidad para razonar a partir de sus representaciones, bien sea con base en la simulación, las gráficas, las tablas, las expresiones algebraicas o simbólicas, o un diagrama de vectores. Sugiere además que el entorno de simulación y la herramienta de análisis proporcionan a los estudiantes diversas herramientas para la construcción de sus propios experimentos de simulación y análisis de datos de los experimentos de física y de la simulación.

De otro lado, Andaloro y Bellomonte (1998) describen el desarrollo e implementación de un módulo de estudiantes para un ambiente de aprendizaje basado en computador (*CBLE*, por su sigla en inglés), llamado '*FORCES*', en el dominio de la dinámica Newtoniana. '*FORCES*' consta de dos módulos principales: Micromundos y modelos de los estudiantes.

Los micromundos son simulaciones que implican diferentes sistemas sujetos a fuerzas externas; y el módulo de los modelos de los estudiantes aporta descripciones de los conocimientos de los alumnos acerca de las fuerzas que intervienen en los sistemas estudiados, tomando en cuenta el estado de los conocimientos y habilidades de aprendizaje de los estudiantes en el ámbito específico de la dinámica de Newton.

La modelación de los estudiantes es el proceso de construcción de modelos de cada estudiante a nivel individual, que aporta una descripción detallada de su estado de conocimiento. La información obtenida mediante la actividad exploratoria con los micromundos es usada para inferir representaciones mentales referidas al concepto de fuerza.

A un estudiante que haga uso del Micromundo '*FORCES*', se le pide resolver problemas a nivel cualitativo. El estudiante puede explorar varios sistemas de diferente complejidad sometidos a fuerzas externas. Al trabajar con micromundos, los estudiantes tienen la oportunidad de observar los sistemas bajo las condiciones experimentales seleccionadas y generar hipótesis acerca de los principios bajo los cuales un sistema opera. La mayoría de las simulaciones fueron seleccionadas con base en el "*Force Concept Inventory*" propuesto

por Hestenes, con el objetivo de proporcionar diversas situaciones físicas que involucren fuerzas ejercidas entre diferentes partes de los sistemas.

La modelación de los estudiantes en *'FORCES'* se enfoca en las características principales del proceso de aprendizaje y aborda las siguientes preguntas de interés: a) cuáles son las representaciones mentales acerca de las fuerzas para las diferentes tareas, b) cómo analizar cambios de las representaciones mentales y, c) cómo evaluar el impacto de la actividad exploratoria en el proceso de aprendizaje.

Para analizar estas características los autores utilizaron los resultados obtenidos en un estudio piloto realizado con una muestra de 98 estudiantes. Dentro de las principales conclusiones los autores admiten que la implementación del micromundo permitió a los estudiantes reconocer el papel de la tercera ley de Newton y la correcta utilización de la segunda ley. Asimismo, valoran de una manera positiva los cambios en las representaciones mentales que se consideran importantes para la adquisición de los conocimientos científicos.

Haciendo uso de una estrategia de modelación computacional, Tao y Gunstone (1999) llevaron a cabo un estudio en el que implementaron el método POE (Predecir-Observar-Explicar) con el objetivo de investigar el proceso de cambio conceptual en un grupo de 12 estudiantes sometidos a una actividad de instrucción en Física soportada por el computador, abordando el tópico de la mecánica. En esta investigación, el método POE fue diseñado para proporcionar conflictos cognitivos que facilitasen el cambio conceptual.

En este estudio usaron programas de simulación computacional y cada actividad de simulación requería que los estudiantes conjuntamente:

- hicieran una predicción acerca de las consecuencias de realizar ciertos cambios en el programa de simulación;
- explicaran su predicción;
- ejecutaran el programa para observar y poner a prueba su predicción;
- reconciliaran alguna discrepancia entre su predicción y la observación realizada en la simulación.

Los resultados de este estudio sugieren que la implementación de las simulaciones con el método POE es una efectiva combinación en términos de acrecentar el conocimiento conceptual de los estudiantes. Planteando como una de las principales implicaciones de este estudio, la necesidad de proporcionar a los estudiantes una amplia gama de experiencias de aprendizaje en diferentes contextos para favorecer particularmente la comprensión conceptual y la capacidad de hacer generalizaciones para los diferentes contextos.

Con el propósito de abordar la enseñanza de tópicos como cinemática, principios de dinámica, trabajo y energía, con alumnos de los cursos iniciales de ingeniería, Yamamoto y Barbeta (2001) presentan una discusión sobre el uso de simulaciones computacionales diseñadas con el *software Interactive Physics 5.0*. En su estudio, las simulaciones fueron utilizadas como herramienta de demostración para el profesor introducir, ilustrar o discutir un determinado concepto físico en las clases teóricas. Asimismo, las simulaciones fueron utilizadas en las actividades de laboratorio de Física.

El *software* de simulación fue utilizado por el profesor para la realización de demostraciones en las clases teóricas con el propósito de que estas demostraciones sirvieran como elemento motivador en las clases, pudiendo repetir varias veces la demostración con modificación de varios parámetros, buscando favorecer en el alumno la visualización de los movimientos discutidos. Las simulaciones son primeramente discutidas de modo conceptual, para luego ser analizadas numéricamente.

Algunas de las simulaciones utilizadas en las clases teóricas fueron: movimiento unidimensional en la horizontal, movimiento en dos dimensiones, leyes del movimiento. Cada uno de estos tópicos es presentado inicialmente de forma analítica y luego es complementado utilizándose las simulaciones correspondientes.

Una de las principales observaciones que surgen de este estudio, es que cuando se utilizan demostraciones basadas en simulaciones computacionales, los alumnos se tornan más participativos, fomentando una mayor interacción, lo que podría facilitar una mayor eficiencia en el proceso de enseñanza. Del mismo modo se observa que la comprensión conceptual de determinados aspectos, así como la interpretación gráfica del movimiento, parece haber sido mejorada.

Estos autores defienden el uso de las simulaciones para la enseñanza de la Física, argumentando que éstas permiten el estudio de condiciones que en la práctica serían difíciles y hasta inviables de ser realizadas en un laboratorio didáctico, considerando que las simulaciones posibilitan una mejor comprensión de ciertos fenómenos físicos en la medida en que permiten la inclusión de elementos gráficos y de animación en un mismo ambiente. Los resultados permiten concluir que el uso de simulaciones en computador en las clases teóricas de Física fue satisfactorio, principalmente en términos de una mayor motivación de los estudiantes.

Jimoyiannis y Komis (2001) presentan los resultados de una propuesta de enseñanza basada en las simulaciones computacionales a través del *software Interactive Physics*-utilizado para simular principios fundamentales de mecánica Newtoniana-. Las limitaciones cognitivas de los estudiantes y las concepciones alternativas sobre la velocidad y la aceleración en el movimiento de proyectiles en el campo gravitacional de la tierra, fueron investigadas en este estudio.

El estudio se realizó con un grupo de 90 estudiantes entre los 15 y 16 años, quienes fueron agrupados en un grupo control (60 estudiantes) y un grupo experimental (30 estudiantes), para determinar el rol de las simulaciones en computador en el desarrollo de una comprensión funcional de los conceptos de velocidad y aceleración en el movimiento de proyectiles. Ambos grupos recibieron instrucción tradicional en estos temas, pero el grupo experimental utilizó además simulaciones computacionales.

Durante la intervención los estudiantes fueron motivados a modificar variables, a hacer predicciones, a dar explicaciones y observar los resultados de sus decisiones en la pantalla del computador. También representaron gráficamente diferentes cantidades físicas, comprendieron las relaciones entre los conceptos físicos y desarrollaron una comprensión en profundidad de las leyes físicas. El instrumento de investigación fue un cuestionario basado en preguntas abiertas que se administró a todos los estudiantes; y en el que se les pidió evaluar de modo cualitativo los procesos experimentales de las tareas y justificar sus respuestas sin utilizar expresiones matemáticas.

A partir del análisis de datos, los autores encuentran diferencias significativas en el rendimiento de los alumnos en relación con los conceptos de velocidad y aceleración,

dependiendo de si han participado o no en tareas que exigen el uso de representaciones interactivas en Física; lo que muestra que los efectos de la intervención con simulaciones computacionales fueron significativos para el grupo experimental.

Los resultados muestran que los estudiantes que trabajaron con simulaciones exhibieron puntuaciones significativamente más altas en las tareas de investigación; lo que permite a los autores afirmar que las simulaciones computacionales pueden ser utilizadas como herramientas de enseñanza alternativas con el fin de ayudar a los estudiantes a superar sus limitaciones cognitivas y a desarrollar una comprensión funcional de la Física; confirmando el argumento de que las simulaciones pueden ayudar a los estudiantes a lograr el cambio conceptual y la comprensión significativa en Física.

Todo lo anterior permite a los autores concluir que las simulaciones computacionales pueden utilizarse como alternativas o complementarias a otras herramientas de enseñanza, con el fin de facilitar en los estudiantes la comprensión de conceptos como velocidad y aceleración.

Referente también al uso de simulaciones computacionales, Zacharia y Anderson (2003) investigaron los efectos de las simulaciones interactivas basadas en computador y presentadas antes de los experimentos de laboratorio basados en investigación, sobre la comprensión conceptual de los estudiantes en mecánica, ondas/óptica y termodinámica. Asimismo, investigaron los efectos de las simulaciones en la habilidad de los estudiantes para formular predicciones científicamente aceptables y dar explicaciones científicamente aceptables con respecto a los fenómenos físicos en los experimentos. También evaluaron el cambio conceptual propiciado por la intervención. Las simulaciones y experimentos fueron implementados durante un semestre con un grupo de 13 futuros profesores de Física, que se constituyeron en los sujetos del estudio; y quienes debieron hacer predicciones acerca de los fenómenos de los experimentos antes de realizar estos últimos, así como dar explicaciones de las discrepancias entre sus predicciones y las observaciones siguientes.

Las simulaciones fueron seleccionadas de la web, atendiendo a los siguientes criterios: a) cada simulación debía ser interactiva y enfocarse en el tópico a ser aprendido, b) todas las variables asociadas al fenómeno físico simulado debían ser susceptibles de modificar, c) cada simulación debía permitir a los estudiantes hacer observaciones mientras era

ejecutada, d) ningún distractor podía estar presente al momento de ejecutar la simulación, e) la presentación y el formato de la simulación debía ser lo más simple posible y, f) cada simulación tenía que ser fácil de usar y manipular. Cada simulación fue previamente probada para asegurarse de que funcionaba correctamente. Los experimentos fueron seleccionados a partir la consulta del plan de estudios de Física y de los tutoriales de introducción a la Física.

Los estudiantes trabajaron conformando grupos de dos o tres, excepto para realizar los experimentos, donde trabajaron individualmente. Los estudiantes participaron en tres etapas durante la experiencia; en primer lugar se presentaba una imagen tomada de la simulación pertinente al tópico abordado y se les pedía hacer una predicción acerca de las consecuencias de realizar ciertos cambios en las variables representadas en la imagen y explicar el razonamiento subyacente a la predicción. Luego, podían ejecutar la simulación en el computador de la misma situación y estudiar las consecuencias. Finalmente debían conciliar las discrepancias entre sus predicciones y las observaciones en la simulación.

Para efectos de la recolección de la información, fueron usadas entrevistas semi-estructuradas y pruebas conceptuales para evaluar la comprensión en cada tópico. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que las simulaciones mejoraron la capacidad de los estudiantes de hacer predicciones científicamente aceptadas y dar explicaciones científicas de los fenómenos físicos en los experimentos; y fomentar el cambio conceptual significativo en los tres tópicos de la Física abordados en el estudio.

En relación con el uso de modelos computacionales, López Ríos (2005) presenta los resultados de un estudio que fundamentado en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, buscaba propiciar procesos de conceptualización en la clase de Física, mediante el desarrollo de una propuesta de actividad experimental en el aula, soportada por el uso del programa *Modellus 2.5*. El estudio estuvo centrado en el concepto de fuerza de fricción relacionado con otros conceptos como: velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción.

La ejecución de la propuesta consistió en la implementación de una serie de actividades exploratorias de modelación computacional, como complementarias a la actividad

experimental. Las actividades de modelación computacional fueron diseñadas previamente por el profesor, haciendo uso del programa *Modellus 2.5*.

La autora considera que dicha herramienta computacional se convirtió en un instrumento fundamental para el trabajo experimental, permitiendo que los alumnos interactuasen con ella, reconociendo el modelo matemático (ecuaciones) que posibilita la construcción de gráficas y simulaciones correspondientes al fenómeno físico estudiado; además, de posibilitarles la manipulación y modificación de variables y el análisis de los resultados obtenidos con dichos cambios. Asimismo, les brindó a los alumnos la posibilidad de realizar un gran número de experiencias y dedicar más tiempo a la discusión de los fenómenos y al análisis de los resultados.

Los resultados de este estudio sugieren que es posible que los estudiantes alcancen la comprensión de conceptos físicos tan abstractos como lo es el concepto de fuerza de fricción; ya que a partir de la interacción con modelos computacionales es posible percibir la relación de este concepto con otros conceptos subyacentes como: fuerza externa, masa, fuerza normal, coeficiente de fricción, velocidad, aceleración, entre otros; al tener la posibilidad de modificar diferentes variables y observar la influencia que éstas tienen sobre el concepto en estudio. Lo que permite al estudiante además comprender el hecho de que no es posible adquirir, asimilar y retener un concepto totalmente aislado, que su comprensión sólo es factible en términos de relaciones con otros conceptos.

En estos términos, se concluye este estudio afirmando que las actividades experimentales complementarias haciendo uso del *software Modellus* para la construcción de modelos físicos, representan un avance importante en el desarrollo del proceso de aprendizaje significativo, a medida que se permite a los alumnos percibir la relevancia de las relaciones matemáticas subyacentes a los modelos físicos y reflexionar sobre situaciones físicas concretas que permiten la comprensión de los conceptos involucrados y las relaciones existentes entre ellos.

En un trabajo posterior, Zacharia (2005) realiza un estudio en el que combina el método POE con el trabajo de simulaciones interactivas para investigar la construcción de explicaciones individuales -como una forma de indagar la comprensión individual de un

concepto-. El estudio se realizó con trece profesores de posgrado en ciencias, con quienes fueron abordados tres tópicos en Física (mecánica, ondas/óptica y termodinámica).

En este estudio, el método POE es discriminado en tres pasos a saber:

- en el primer paso, a los participantes les fue aportada una ilustración tomada de la simulación y se les pidió hacer una predicción acerca de las consecuencias si ciertos cambios en las variables representadas en la ilustración fueran hechos, además de explicar el raciocinio detrás de su predicción;
- en el segundo paso, los participantes tuvieron que observar/estudiar el fenómeno, para el cual estudiaron la simulación en el computador;
- en el tercer paso ellos tuvieron que proporcionar explicaciones en el intento de explicar/reconciliar alguna posible discrepancia entre sus predicciones y sus observaciones en la simulación.

Los resultados de esta investigación sugieren que las simulaciones junto con la implementación del método POE, mejora en los profesores la capacidad de generar más explicaciones científicamente acertadas con respecto a los fenómenos físicos en los temas de mecánica, ondas/óptica y termodinámica que los libros de texto de ciencias; asumiendo que el uso de simulaciones por computador junto con la aplicación del método POE ha tenido un impacto positivo sobre la naturaleza y la calidad de las explicaciones de los profesores de ciencias.

Como ya fue mencionado, los artículos referentes a la categoría modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana, fueron clasificados en dos grupos: propuestas para abordar la enseñanza de la dinámica Newtoniana desde la modelación y/o simulación computacional y resultados de la implementación de la simulación y/o modelación computacional para la enseñanza de conceptos de dinámica Newtoniana.

A partir de los trabajos de ambos grupos puede notarse que predomina ampliamente el uso de las simulaciones computacionales por encima del uso de la modelación. De tal modo que de los quince trabajos revisados sólo seis de ellos (Kleer, Thielo y Santos, 1997; Doerr, 1997; Veit, Mors y Teodoro, 2002; Teodoro, 2004; López Ríos, 2005 y Sánchez, 2007) se refieren a la modelación computacional en los términos que fue descrita al inicio de este

capítulo. Y entre estos trabajos que propusieron o implementaron el uso de la modelación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana, cuatro de ellos (Veit, Mors y Teodoro, 2002; Teodoro, 2004; López Ríos, 2005 y Sánchez, 2007) hicieron uso del *software Modellus* para diseñar las actividades de modelación computacional. *Software* que por sus características y potencialidades es utilizado para el diseño y ejecución de las actividades de modelación computacional implementadas en el presente trabajo.

De otro lado, es importante resaltar que en la gran mayoría de estos trabajos que hacen explícito un referencial teórico para orientar las actividades de enseñanza a partir del uso de la modelación y simulación computacional, prevalece el uso de la Teoría del Cambio Conceptual (Posner et al., 1982; Strike y Posner, 1992); de tal manera que en dichos estudios (Hennessy et al., 1995; Li, Borne y O'shea, 1996; Doerr, 1997; Tao y Gunstone, 1999; Jimoyiannis y Komis, 2001; Zacharia y Anderson, 2003) se tiene como principal propósito favorecer el cambio conceptual que adquieren los estudiantes en relación con los conceptos del campo de la dinámica Newtoniana. Seguramente esto se debe al gran auge que tuvo la Teoría del Cambio Conceptual en la década de los años 1990.

Solamente dos de los trabajos revisados consideran como fundamento conceptual la Teoría del Aprendizaje Significativo; uno desde la perspectiva de Ausubel (López Ríos, 2005) y otro desde la perspectiva de Ausubel-Novak-Gowin (Santos, Otero y Fanaro, 2000), que además contempla la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird. Este último trabajo hace énfasis en la importancia de que el docente tenga un control didáctico de las situaciones que plantea; y propone además un análisis crítico del uso de simulaciones en la enseñanza. Se destacan particularmente estos dos trabajos por ser ampliamente compatibles con el objeto de interés de la presente investigación; la cual busca propiciar un aprendizaje significativo -en términos ausubelianos- de los conceptos de la dinámica Newtoniana, así como un aprendizaje significativo crítico -como lo plantea Moreira (2005)- que sugiere una actitud crítica y reflexiva de los estudiantes en relación con el conocimiento que es presentado por el profesor a partir de los materiales de enseñanza; en el caso concreto de este estudio, las actividades de modelación computacional.

La gran mayoría de artículos pertenecientes a esta categoría carece además de una estrategia instruccional o metodológica que oriente a los estudiantes en el proceso de análisis y/o construcción de modelos o simulaciones computacionales. Lo que justifica la

necesidad de proponer o implementar en el aula de clase estrategias instruccionales que favorezcan el proceso de enseñanza-aprendizaje mediado por los modelos computacionales.

En la siguiente sección se presenta un breve relato acerca de las principales estrategias orientadoras de las actividades de modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física.

2.2 Estrategias orientadoras de actividades de modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física

No obstante el auge que han tenido los modelos computacionales para la enseñanza de la Física en las últimas dos décadas, pocos reportes se tienen acerca de las estrategias utilizadas por los docentes e investigadores de la enseñanza de la Física para guiar el proceso de modelación computacional al interior del aula de clase. Estrategias de enseñanza-aprendizaje que apoyen a los estudiantes en el proceso de análisis y/o construcción de modelos computacionales y que permitan al profesor o investigador valorar la contribución de los modelos y simulaciones computacionales al aprendizaje significativo de la Física.

Cuando se lleva a cabo una revisión sobre los diferentes trabajos que involucran el uso de los modelos computacionales para la enseñanza de la Física, se encuentra una gran variedad de trabajos que carecen de rigurosidad y, otra gran mayoría, se centran en propuestas que no llegan a ser implementadas en el aula de clase. Sin embargo, los estudios que reportan una intervención en el aula, difícilmente dan cuenta de los procesos cognitivos que se generan en los estudiantes en el aprendizaje de conceptos físicos a partir del uso de modelos computacionales; y mucho menos explicitan las estrategias que orientan a los estudiantes en el proceso de análisis y/o construcción de modelos computacionales en la clase de Física.

En lo que sigue son presentadas algunas estrategias que buscan orientar a estudiantes y/o profesores en el proceso de modelación y simulación computacional en el aula de clase.

Marco Teórico para la modelación de Doerr

Doerr (1997) propone una estrategia para la construcción de modelos que denomina marco teórico para la modelación, asumiendo que éste debe incluir los componentes y las herramientas de apoyo del proceso de modelación y la naturaleza de las relaciones entre dichos componentes.

Esta autora propone un proceso global de modelación o de construcción de modelos basado en tres componentes: experimentación con fenómenos físicos, la exploración de un entorno de simulación y un análisis multi-representacional; tal y como se muestra en la figura 2.1.

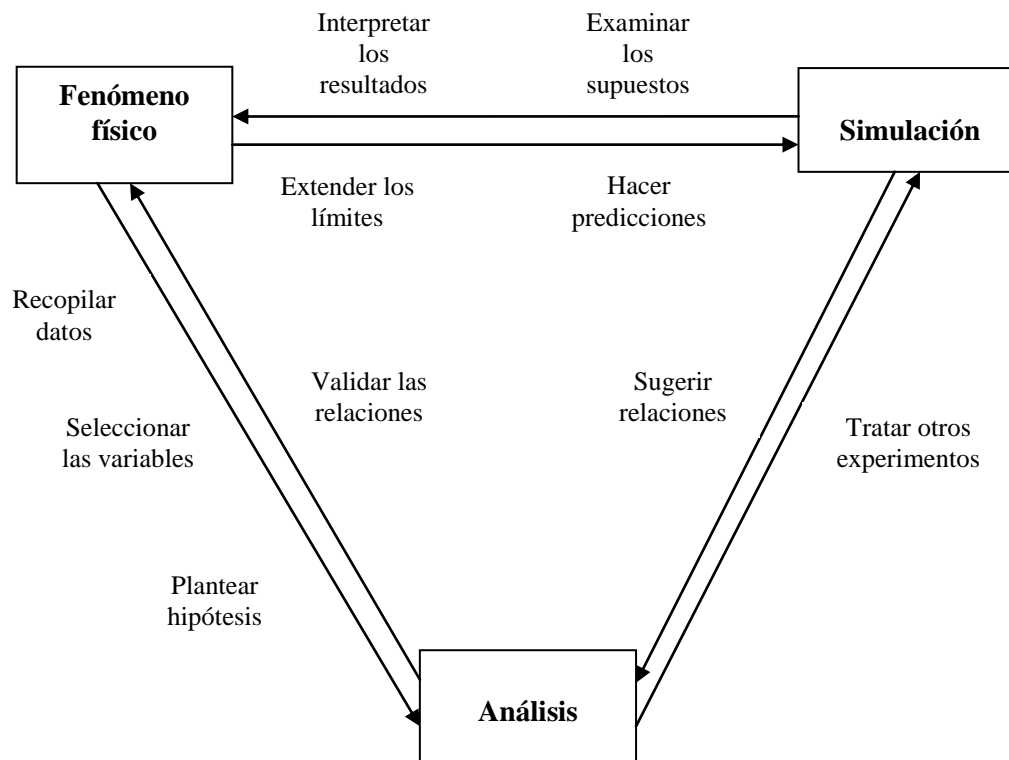


Figura 2.1. El proceso global de modelación (Doerr, 1997)

Esta estrategia es aplicada en un estudio (Doerr, 1997) en el que a partir de un experimento, los estudiantes debían hacer explícitas sus representaciones de un evento físico y debían elegir las variables y plantear las relaciones entre ellas. La simulación apoya la exploración de posibles conjeturas alternativas y el uso de múltiples representaciones. Soluciones aproximadas son desarrolladas y refinadas a través de la

utilización de una herramienta de análisis multi-representacional y por medio de la evaluación crítica y la reflexión de los estudiantes.

La autora plantea que este proceso no es necesariamente lineal y que los estudiantes pasan el tiempo en cada uno de los nodos y avanzan y retroceden entre ellos a medida que desarrollan su comprensión.

El método POE de Tao y Gunstone

Otra de las estrategias utilizadas para involucrar al estudiante en actividades exploratorias de modelación computacional, es el llamado método POE (Predecir, Observar, Explicar) (*Uniserve Science*, 2004). Este método es considerado una herramienta invaluable para explorar el conocimiento de los estudiantes y ha sido exitosamente empleado por profesores para promover la discusión antes de abordar una temática o para reforzar conceptos ya introducidos. 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.

Para el caso concreto de la exploración de modelos y/o simulaciones computacionales, el método POE podría ser implementado tal y como lo proponen Tao y Gunstone (1999), de tal modo que los estudiantes:

- hagan una predicción acerca de las consecuencias de realizar ciertos cambios en el programa de simulación;
- expliquen su predicción;
- ejecuten el programa para observar y poner a prueba su predicción;
- reconcilien alguna discrepancia entre su predicción y la observación realizada en la simulación.

El método POE ha sido ampliamente utilizado como estrategia de enseñanza e investigación en Física. Concretamente, autores como: Thornton y Sokoloff, 1997; Kearney, 2002; Zacharia, 2005 y Slisko y Medina, 2007; han implementado el método

POE para la enseñanza de conceptos físicos a través del uso de herramientas computacionales en el aula de clase.

Modelación matemática de Santos y Ogborn

Santos y Ogborn (1992) toman como punto de partida los siete estadios de modelación matemática mostrados en la figura 2.2 y los adecúan con el propósito de establecer un referente de trabajo para la enseñanza e investigación con modelación computacional.

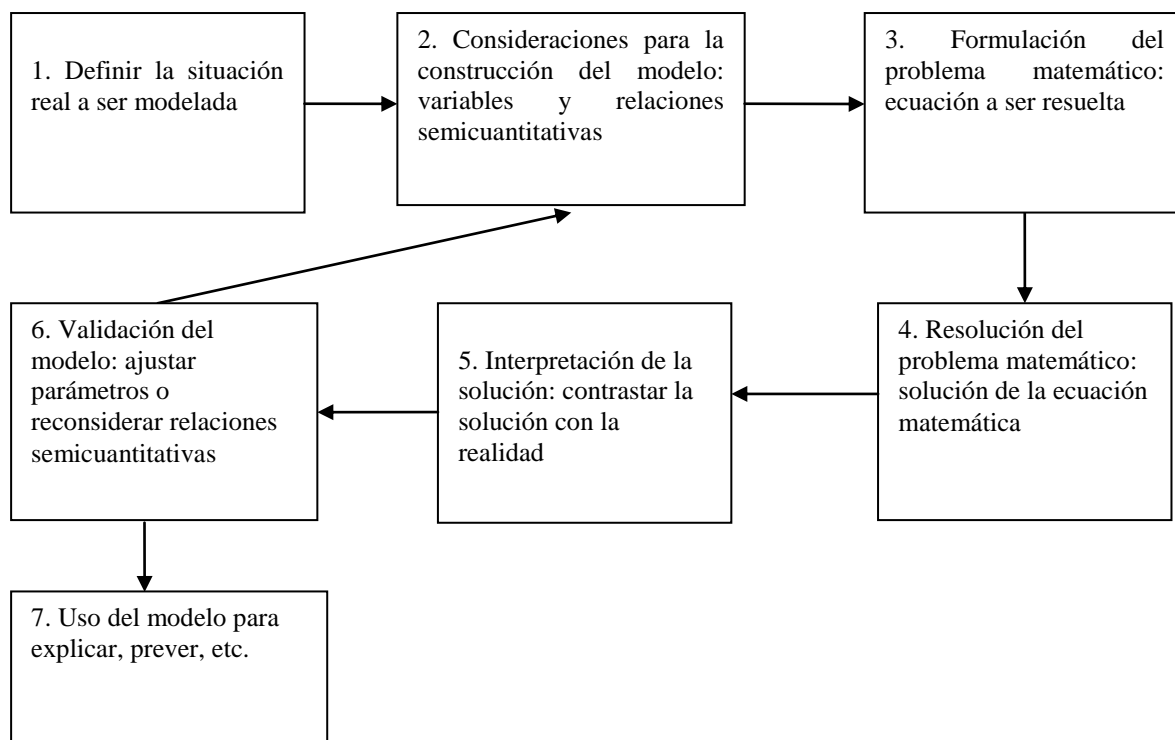


Figura 2.2 Siete estadios para el proceso de modelación matemática.

Dicho referente de trabajo debe ser considerado como un esquema para apoyar a los profesores en la elaboración de actividades para sus alumnos, pero no representa un esquema a ser seguido por el estudiante para facilitar la construcción de modelos. En la figura 2.3 se muestra el referencial de trabajo propuesto por Santos & Ogborn (1992, p. 69), el cual está dividido en seis áreas (A-F) de acuerdo con aquello que necesita ser aprendido o entendido por el alumno. Para cada una de las áreas son discriminadas las actividades que necesitarían ser desarrolladas en la enseñanza de la modelación.

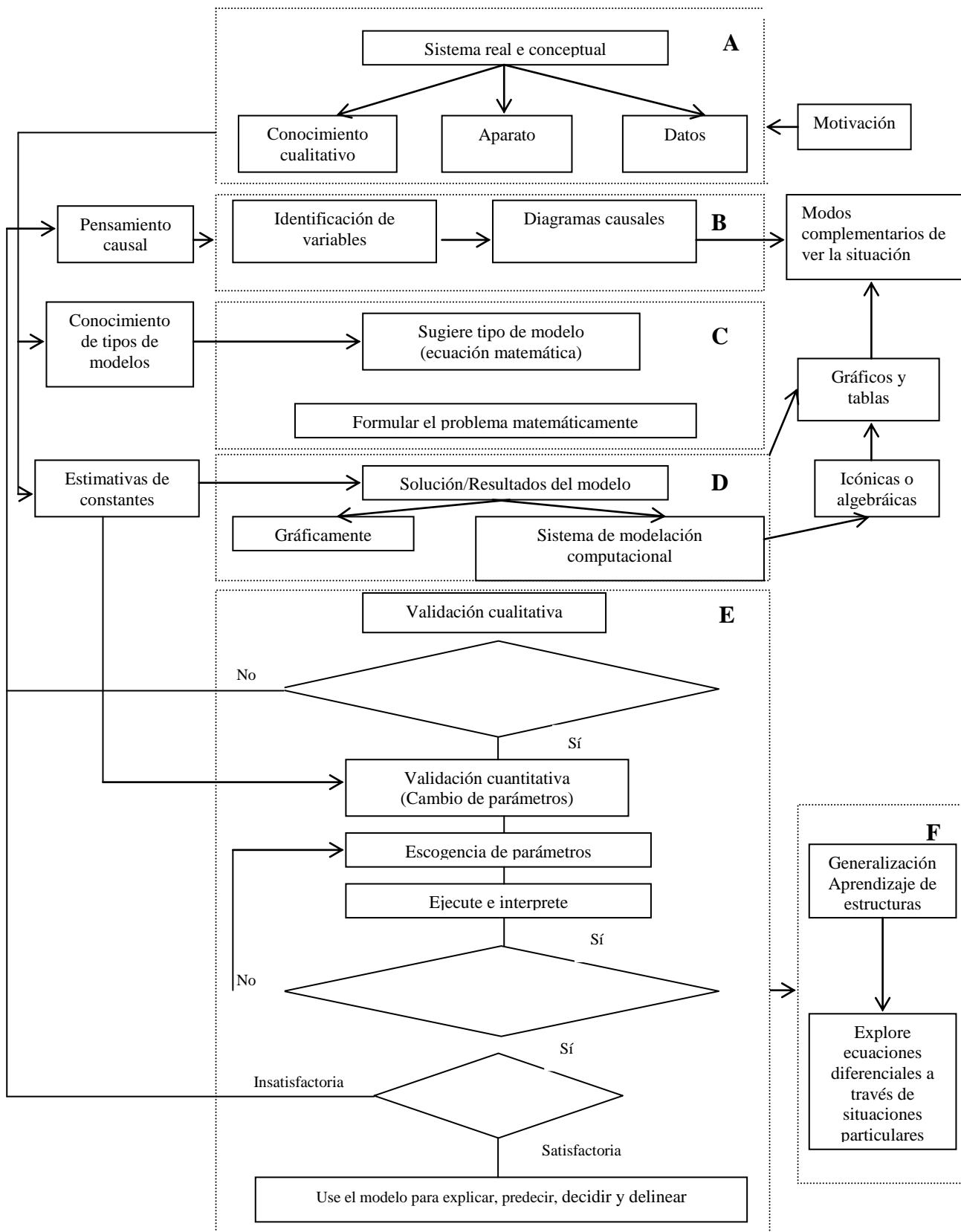


Figura 2.3. Referente de trabajo de Santos y Ogborn para la enseñanza de la construcción de modelos (Santos y Ogborn, 1992).

Área A: Escogencia del sistema a ser modelado

Santos y Ogborn (1992) argumentan que puede escogerse un sistema para ser modelado con el fin de comprenderlo mejor, sin considerar la forma en la que podría modelarse. De igual manera, argumentan que cuando estamos interesados en aprender sobre modelación debemos primero escoger un sistema con el objetivo de ejemplificar algún tipo general de modelo; y consideran que no es viable seleccionar un sistema para análisis sin tener alguna idea de cómo él pueda ser modelado; siendo importante comenzar este proceso a partir del análisis de algunos conocimientos empíricos básicos sobre el fenómeno observado.

Área B: Mecanismos causales, identificación de variables

Aquí se deben identificar las variables relevantes y postular relaciones entre ellas a partir de los conocimientos cualitativos (o semicuantitativos) sobre el sistema obtenidos en el área A. Para eso podemos valernos de una representación simple de variables, relaciones causales y otros tipos de relaciones que muestren sus interconexiones, sin especificar en detalle la forma de estas conexiones.

Área C: Tipo de modelo requerido

Ya identificadas las relaciones potenciales entre variables, el próximo paso es formular las ecuaciones matemáticas bien definidas, comúnmente en la forma de ecuaciones diferenciales. En esta área se hace necesario que el modelador posea un conocimiento razonable de los tipos básicos de modelos para -con base en las informaciones de las áreas A y B- definir matemáticamente el modelo.

Área D: Generación de resultados por el modelo

Después de la definición de la estructura matemática del modelo, el próximo paso es implementarlo en el computador. Esto puede ser hecho a través de herramientas computacionales cuantitativas o por el uso directo de un lenguaje de programación. A partir del modelo computacional podemos solicitar diversos tipos de representaciones gráficas simultáneas como: gráficos, tablas, diagramas de fase, animaciones, etc., que nos permiten interpretar y evaluar las soluciones ofrecidas por el modelo.

Área E: Interpretación, verificación, validación y uso del modelo

Santos & Ogborn (1992) afirman que la validación de un modelo debe ser cualitativa y cuantitativa, de modo que la primera pregunta a ser respondida es si el comportamiento cualitativo de la solución es adecuado, o sea, si la estructura causal del modelo es creíble y razonable. La validación cualitativa, a su vez, está relacionada al comportamiento cuantitativo del modelo, siendo necesario escoger parámetros, ejecutar e interpretar el modelo y, finalmente, verificar si él describe el sistema real adecuadamente. Si después del ajuste de los parámetros el modelo aún falla en describir el sistema, entonces nosotros debemos pensar nuevamente sobre su comportamiento cualitativo y el proceso de modelación debe ser recommenzado desde el inicio.

Área F: Generalizar y aprender las estructuras de los modelos

En esta área Santos & Ogborn (1992) sugieren un proceso interactivo donde el estudiante para aprender a modelar debe partir de casos particulares para casos sucesivamente más amplios y que exijan un conjunto más general de competencias. En un estadio inicial el alumno iniciaría con una imitación; es decir, el profesor daría las ecuaciones y parámetros para describir un sistema real y él implementaría el modelo en el computador, ejecutaría y evaluaría el modelo a través de la reflexión sobre su estructura y resultados proporcionados; en seguida el estudiante comenzaría a generalizar algunos comportamientos del modelo. Observando diferentes ejemplos que comparten la misma estructura matemática y los mismos comportamientos generales, el estudiante podría comenzar a agrupar los modelos en diversos tipos.

Estrategia para la construcción de modelos de Camiletti y Ferracioli

Camiletti y Ferracioli (2002) denominan “Proceso de construcción del modelo” al proceso de elaboración de un modelo y su representación en un ambiente de modelación computacional. Y para orientar al alumno en el proceso de construcción de modelos, sugieren siete pasos básicos a ser considerados:

- La definición del sistema a ser estudiado.
- La escogencia del fenómeno de interés a ser estudiado en el sistema escogido.

- Listado de variables relevantes para la construcción del modelo.
- Construcción del modelo a través de diagramas causales.
- Representación del modelo en el ambiente de modelación computacional escogido.
- Simulación del modelo construido
- Validación del modelo a partir del análisis de su comportamiento en relación al comportamiento esperado del fenómeno en estudio.

La Modelación Esquemática de Halloun

Halloun (1996, 2004) propone la implementación del proceso de modelación esquemática que se muestra en la figura 2.4; y que puede ser sistemáticamente aplicado en el contexto de una teoría conveniente para la construcción de nuevos modelos, refinándolos y empleándolos en situaciones específicas (situaciones del mundo real, experimentos de laboratorio o problemas de libros de texto).

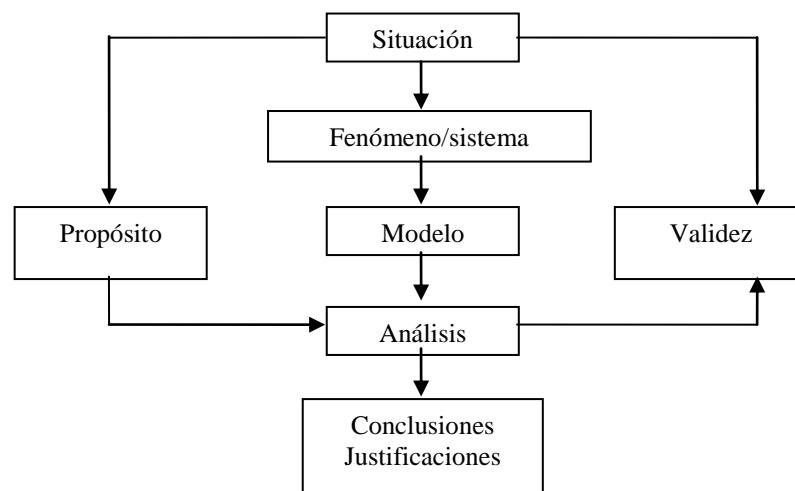


Figura 2.4. Representación esquemática del proceso de Modelación (Hestenes *apud* Halloun, 1996).

Este proceso de modelación sugiere como primera instancia la identificación y descripción de la composición de un sistema físico, así como su propósito y validez. Posteriormente un modelo es seleccionado y construido, siendo procesado, analizado y continuamente validado; de tal manera que puedan ser inferidas conclusiones acerca del sistema y los

resultados puedan ser justificados de acuerdo con el propósito de la modelación y la validez requerida.

Debido a que el proceso de modelación esquemática de Halloun es uno de los referentes teóricos en los que se fundamenta el presente trabajo, dicha estrategia es descrita de un modo más detallado en el capítulo 4 de este texto.

El diagrama AVM (Adaptación de la V de Gowin a la Modelación y Simulación Computacional) de Araujo, Veit y Moreira

El diagrama AVM propuesto por Araujo (2005) y Araujo, Veit y Moreira (2011) es una estrategia mucho más actual y menos difundida que busca orientar a los estudiantes en el proceso de construcción de conocimientos a partir del uso de la modelación computacional para la enseñanza y aprendizaje de la Física. Los autores consideran que al hacer uso de la modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física es necesario que los estudiantes piensen acerca de lo que ellos están haciendo, que piensen acerca de la Física involucrada en los modelos y simulaciones con los que están tratando. Por esta razón construyen una herramienta heurística para ayudar a los estudiantes en la tarea de crear y analizar modelos computacionales; esta herramienta es denominada diagrama AVM, el cual consiste en una adaptación del diagrama V de Gowin a la Modelación y Simulación Computacional.

Este diagrama es adoptado en su forma original V, porque permite visualizar la interacción entre los dos dominios indispensables para el desarrollo de un modelo computacional, guiando el 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 ese modelo. En la figura 2.5 puede verse la versión original de este diagrama (Araujo, 2005); sin embargo, en el capítulo 4 de esta tesis se hará una descripción más profunda sobre esta estrategia que apoya las actividades de modelación computacional, definiendo cada uno de los elementos del diagrama y presentándose la versión actualizada del mismo (Araujo, Veit y Moreira, 2011).

Todas las estrategias para orientar la implementación de actividades de modelación computacional aquí descritas -con excepción de la propuesta por Doerr (1997)-, tienen un

elemento en común y es que fueron consideradas durante el proceso de creación del diagrama AVM como instrumento heurístico para la modelación y simulación computacional. Los autores del diagrama AVM retomaron los elementos más relevantes de cada una de estas estrategias, que finalmente aparecen disgregados en los diferentes campos del diagrama, así como en el proceso dialéctico de elaboración del mismo.

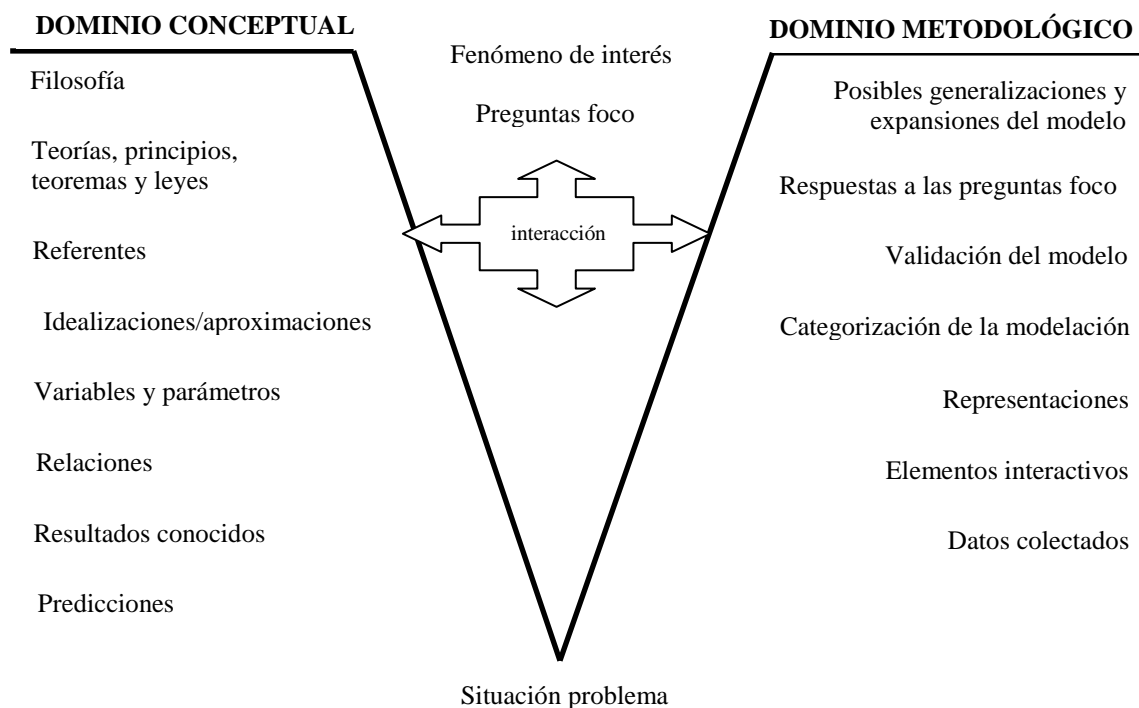


Figura 2.5. Formulación original del Diagrama AVM (Araujo, 2005).

Otro elemento común y quizás el más importante de estas estrategias orientadoras de actividades de modelación y simulación computacional en la enseñanza de la Física, es que todas tienen como principal propósito apoyar a estudiantes y profesores en el proceso de análisis y/o construcción de modelos y simulaciones para la enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos. En el caso concreto de la presente investigación, se hace explícito el uso de la modelación esquemática de Halloun por su conveniencia para el diseño de las actividades de modelación a partir de los cinco estadios (selección, construcción, validación, análisis y expansión del modelo), así como su pertinencia para trabajar en el campo de la mecánica. Del mismo modo, se resalta la potencialidad del diagrama AVM como uno de los principales fundamentos teóricos de este trabajo.

En la siguiente sección son descritos los estudios relativos a la enseñanza de conceptos de dinámica Newtoniana cuyo referente teórico es la Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel.

2.3 La Enseñanza de la dinámica Newtoniana desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel

A pesar de que la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel ha tomado mucha fuerza en las últimas décadas y numerosas propuestas para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias se han fundamentado en dicho referente teórico; en el caso concreto de la dinámica Newtoniana, muchos de los trabajos encontrados -bien sea en el título, en el resumen o en desarrollo del texto- se refieren o utilizan los términos aprendizaje significativo; sin embargo, dichos trabajos no tienen relación alguna con el aprendizaje significativo en términos ausubelianos. Dicho de otro modo, tal referente teórico no se ve reflejado en el desarrollo de la investigación, principalmente en lo relativo a la metodología implementada y al análisis de los resultados; razón por la cual estos estudios escapan al interés de esta investigación y por lo tanto no son considerados en la presente revisión de literatura.

Entre los estudios que se fundamentan en la Teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel para formular propuestas encaminadas a atender los procesos de enseñanza-aprendizaje en el campo conceptual de la dinámica Newtoniana, describimos los siguientes:

Como fue mencionado en el tópico de la modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana correspondiente a esta revisión de literatura, Santos, Otero y Fanaro (2000) presentan un análisis del tratamiento didáctico de dos problemas enmarcados en la mecánica Newtoniana haciendo uso del *software* comercial *Interactive Physics, Versión 2.5*, como herramienta de apoyo a las clases de Física básica en los primeros cursos de la universidad o en los últimos años de la escuela media. Los problemas abordados se refieren al movimiento de un cuerpo sobre un plano inclinado y la rodadura pura de una esfera rígida y su desaceleración debida a la deformación de la superficie sobre la que rueda.

Las autoras fundamentan su propuesta en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, planteando que es una teoría enormemente fructífera a la hora de analizar y diseñar situaciones de enseñanza, la relación entre el proceso educativo y los materiales; haciendo especial énfasis en la relevancia de los materiales en el proceso educativo desde la perspectiva ausubeliana, en términos de que sólo cuando un material es relacionable con la estructura cognitiva de manera no-arbitraria y no-literal, el sujeto adquiere significados; de lo contrario, el aprendizaje es mecánico o automático.

En esta medida, el *software* de simulación presentado es visto como parte de los materiales instruccionales cuidadosamente elaborados, siempre y cuando su utilización tenga objetivos claramente establecidos, de tal manera que posibilite la adquisición y negociación de significados entre alumno y profesor, respecto de los conocimientos vehiculados por los materiales educativos. De ahí que consideren el aprendizaje significativo estrechamente vinculado con la calidad de los materiales instruccionales.

De otro lado, Covalada, Moreira y Caballero (2005) realizan un estudio en el que intentan establecer el nivel de conceptualización logrado por los estudiantes sobre los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica, fundamentándose en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel como un referente que hace énfasis en la conceptualización y existencia de conceptos básicos precursores en la adquisición de nuevos conocimientos.

Esta investigación se realizó con un grupo de 60 estudiantes de Ingeniería y Física, del curso introductorio de Física I de la Universidad de Antioquia, quienes respondieron a un cuestionario que indagaba sobre su conocimiento acerca de los conceptos de sistema y equilibrio y de cómo estos eran aplicados ante situaciones propuestas que los involucrara. Los resultados obtenidos en este estudio son parciales, considerando que este es el inicio de una investigación más profunda sobre el aprendizaje de los conceptos de mecánica relacionados; sin embargo, los autores visualizan a partir de las respuestas de los estudiantes, una débil y muy ligera conceptualización de los conceptos de sistema y equilibrio; y por la característica exploratoria de este estudio, no se logra al momento una evidencia clara de aprendizaje significativo de la mecánica.

Como fue mencionado en la sección de este capítulo referente a Modelación y simulación computacional para la enseñanza de la dinámica Newtoniana -Valoración del aprendizaje de contenidos de dinámica Newtoniana mediante el uso de modelos computacionales-, López Ríos (2005) presenta los resultados de un estudio que tenía como principal propósito propiciar procesos de conceptualización en la clase de Física, mediante el desarrollo de una propuesta de actividad experimental en el aula, soportada por el uso del programa *Modellus 2.5*; la cual involucra el concepto físico fuerza de fricción relacionado con conceptos subyacentes tales como velocidad, aceleración, equilibrio, fuerzas electromagnéticas y de contacto, fuerza normal y coeficiente de fricción.

El estudio consistió en la implementación de una propuesta de actividad experimental para la clase de Física, haciendo uso de actividades exploratorias de modelación computacional; y teniendo como principal referente teórico la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel. Y en consecuencia, se buscaba identificar los conceptos previos pertinentes disponibles en la estructura de conocimiento de un grupo de alumnos que cursaban las asignaturas Física I y Laboratorio de Física I, valorando el grado de apropiación de estos conceptos y las relaciones que podían ser establecidas entre ellos con respecto al concepto físico fuerza de fricción. En coherencia también con el referente teórico adoptado, se tenía como propósito estimar el desarrollo del proceso de aprendizaje significativo y el grado de apropiación por parte de los estudiantes, de los conceptos físicos estudiados.

Los modelos computacionales aportados a los estudiantes para el desarrollo de las actividades, cumplían con las condiciones necesarias para ser considerados materiales potencialmente significativos, en los términos ausubelianos.

Los principales resultados obtenidos en este estudio indican que las actividades experimentales complementarias haciendo uso del *software Modellus* para la comprensión de conceptos físicos, representan un avance importante en el desarrollo del proceso de aprendizaje significativo, a medida que se permite a los alumnos percibir la relevancia de las relaciones matemáticas subyacentes a los modelos físicos y reflexionar sobre situaciones físicas concretas que permiten la comprensión de los conceptos involucrados y las relaciones existentes entre ellos. Del mismo modo, se encontró que dichas actividades jugaron un papel fundamental en la motivación y predisposición de los estudiantes para el

aprendizaje de conceptos físicos; condición fundamental para que se dé un aprendizaje significativo.

En este mismo sentido, López Ríos y Covaleda (2005) presentan los primeros resultados de un trabajo de investigación que tiene como propósito propiciar procesos de conceptualización en el marco de la Teoría del Aprendizaje Significativo, sobre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción. Los autores presentan los resultados de un estudio exploratorio que se realizó con un grupo de diez estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Colombia; con el propósito de conocer los significados previos de estos estudiantes en relación con los conceptos de fuerza y fuerza de fricción; y las relaciones conceptuales establecidas por ellos entre el concepto de fuerza de fricción y conceptos subyacentes a éste.

Para ello fue aplicado a los estudiantes un cuestionario de indagación en el que se planteó una serie de situaciones problema y preguntas relacionadas con los conceptos de fuerza y fuerza de fricción. La información obtenida fue sometida a un análisis cualitativo en el que son presentadas diferentes categorías conceptuales en relación con la comprensión que tienen los estudiantes acerca de los conceptos de interés.

Los resultados obtenidos muestran que los estudiantes tienen una muy débil conceptualización en relación con los conceptos de fuerza y fuerza de fricción, lo que permite a los autores sugerir que, dado que los estudiantes inician los cursos de Física sin ideas muy claras sobre determinados conceptos físicos, se hace necesario conocer el grado de conceptualización de los alumnos con respecto a los conceptos en cuestión, antes de dar inicio al proceso de instrucción.

Por otro lado, Sánchez, Moreira y Caballero (2005) presentan una propuesta metodológica basada en el Aprendizaje Significativo a través de la Resolución de Problemas (ASARP). En esta propuesta, los contenidos del curso son abordados a partir de problemas abiertos inicialmente aplicados a algunos contenidos de la cinemática y posteriormente se trabajan la gran mayoría de contenidos del curso de mecánica (Física I). Esta metodología permite el planteamiento de un problema general que conlleva al surgimiento de problemas más específicos que involucran conceptos como: movimiento en una y dos dimensiones, movimiento circular, momentum, impulso, fuerza, leyes de Newton, trabajo, energía, entre

otros; donde la solución de estos problemas específicos posibilita la comprensión y resolución del problema general, profundizando en los contenidos del curso necesarios para su resolución.

De esta manera, esta propuesta metodológica permite visualizar la jerarquía de los contenidos (general a lo particular) y eliminar la fragmentación de los contenidos a través de la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora de los mismos; principios fundamentales de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel.

Se realiza una investigación de tipo cuasi-experimental con un grupo experimental de 129 estudiantes en asignaturas de Física General (repartidos en tres cursos con diferente profesor), pertenecientes a carreras de Ingeniería, de la Universidad del Bío-Bío. El grupo control estaba integrado por 134 alumnos divididos en tres grupos con docentes diferentes. Los resultados de esta investigación permiten a los autores afirmar que los estudiantes del grupo experimental aplicaron y posiblemente transfirieron los contenidos a situaciones nuevas; de igual manera se da una negociación de significados, indicios claros de un aprendizaje significativo.

Los autores afirman que:

“el uso del cálculo diferencial para la obtención de ecuaciones de movimiento (la derivación e integración), elimina el aprendizaje superficial y reiterativo de fórmulas, y favorece el uso de condiciones físicas iniciales y finales en la solución de ejercicios, lo que promueve el aprendizaje significativo de los conceptos físicos involucrados en cada pregunta de un ejercicio, favoreciendo la evaluación de la interpretación física y no el uso indiscriminado de fórmulas. Esto favorece los procesos de diferenciación progresiva y la reconciliación integradora [...] (ibid., p. 5)”.

En el contexto de las herramientas computacionales, Rezende y de Souza Barros (2008) presentan los resultados de un estudio en el que investigaron la interacción de un grupo de 14 estudiantes de primer año matriculados en un curso de formación de profesores de Física con un programa de hipermedia en mecánica, llamado sistema hipermedio “Fuerza y Movimiento”, creado para atender las dificultades conceptuales en mecánica y permitir a los estudiantes interactuar de forma personalizada. La información obtenida para discutir la

navegación hipertextual, estuvo orientada por las siguientes preguntas: i) ¿cómo puede ser caracterizada la navegación de los estudiantes en este programa de hipermedia? ii) ¿cómo se relaciona esto con sus conocimientos previos en mecánica?

Este estudio parte de la idea de que la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel puede ser un referente apropiado para reflexionar sobre el uso educativo del hipertexto, dándole fundamental importancia al papel que desempeñan los conocimientos previos en esta teoría. Considerando además, que la idea de vincular los conceptos -crucial para la Teoría del Aprendizaje Significativo-, es también fundamental para el aprendizaje a través de la navegación hipermedia.

Los contenidos trabajados abarcaron un análisis histórico del movimiento, la dinámica de Newton y las leyes de conservación. Las estrategias llevadas a cabo para atender las dificultades conceptuales de los estudiantes fueron: a) lectura del libro de texto seguida de la exposición oral y escrita de los contenidos de Física, b) la confrontación de las actividades experimentales con modelos teóricos y, c) el uso de métodos estructurados de solución de problemas.

Una prueba en mecánica fue aplicada para caracterizar los conocimientos previos de los estudiantes en este campo; y en ella se encontró que los estudiantes no tenían una comprensión científica de los conceptos básicos de la mecánica y que el conocimiento previo varió significativamente entre los estudiantes. Las principales dificultades están esencialmente relacionadas a los conceptos de fuerza y velocidad y a un pobre entendimiento de la primera y segunda ley de Newton.

Tres patrones de navegación fueron propuestos, asociados a los diferentes niveles de conocimiento previo de los estudiantes y para diferentes funciones realizadas por el programa. Los tres patrones fueron navegación organizada, navegación conceptual y navegación desorientada. Los estudiantes que realizaron navegación organizada parecían tener ya los subsumidores disponibles en la mecánica; y el aprendizaje significativo se produjo de forma independiente de la utilización del *software*. En la navegación conceptual los alumnos se prepararon para el aprendizaje significativo y el programa les ayudó a alcanzar dicho objetivo. Y en la navegación desorientada los estudiantes parecían no

poseer los subsumidores adecuados para el aprendizaje significativo en mecánica; y la navegación aparentemente no sirvió de nada.

Las autoras consideran que el papel que el conocimiento previo de la mecánica por parte del estudiante juega en la interacción con un sistema de hipermedia, se relaciona con el papel que los subsumidores de Ausubel realizan en el aprendizaje; indicando como principal resultado del estudio, que la navegación hipertextual puede proporcionar información acerca de los estudiantes a participar en un aprendizaje significativo, lo cual podría ser usado como una herramienta de diagnóstico para ayudar al profesor a personalizar la instrucción.

Considerando los mapas conceptuales como una de las estrategias facilitadoras del Aprendizaje Significativo, Moreira y Sperling (2009) describen una experiencia de clase en la que utilizaron la técnica de los mapas conceptuales y discuten sobre una posible correlación entre lo que se podría considerar un buen mapa conceptual, o una buena explicación de un mapa conceptual y el aprendizaje significativo, a partir del desempeño de los alumnos ante situaciones-problema.

Con este propósito realizaron una actividad con un grupo grande de alumnos de enseñanza media en una escuela secundaria particular, quienes participaron en la construcción de un mapa conceptual. El objetivo de esta actividad era revisar conceptos y principios trabajados en la enseñanza de la dinámica (más específicamente, las Leyes de Newton y sus aplicaciones). Al inicio de esta actividad, los alumnos construyeron en conjunto, en la pizarra, un mapa conceptual del asunto y, a continuación, cada alumno produjo un texto a partir del mapa conceptual construido. Todos los alumnos pudieron dar sus opiniones, dirigiendo la construcción del mapa, donde la profesora actuó como mediadora en el proceso de construcción conjunta del mapa conceptual.

Los textos producidos a partir del mapa conceptual fueron examinados con el objetivo de hacer un análisis comparativo entre el texto producido por el alumno y algunas de sus respuestas (del mismo alumno) en un examen de desempeño posterior a la actividad. En este examen muchos alumnos reproducen de forma mecánica lo que supuestamente aprendieron, como una receta; lo que resulta ineficaz cuando se propone una nueva

situación donde sólo los que efectivamente obtuvieron un aprendizaje significativo, serán capaces de resolver las nuevas situaciones relacionando su conocimiento adquirido.

Considerando que el aprendizaje significativo implica adquisición de significados, comprensión, transferencia, capacidad de manejar situaciones nuevas, una de las principales conclusiones de este trabajo hace referencia a que los mapas conceptuales tienen un gran potencial para facilitar el aprendizaje significativo, pero que no necesariamente existe una correlación entre mapas conceptuales y aprendizaje significativo. En estos términos, los autores afirman que:

“mapas conceptuales pueden ayudar mucho en el aprendizaje significativo, siempre que sean usados de modo que tengan en cuenta el conocimiento previo del alumno, a generar una predisposición para aprender, a promover la negociación y captación de significados. Esas son condiciones para el aprendizaje significativo y el mapa conceptual es una estrategia muy propicia para todo eso, pero es necesario saber explotarla bien” (ibid., p. 99).

Aunque su interés no estaba centrado en la enseñanza de conceptos de mecánica Newtoniana, Wainmaier, Speltini y Salinas (2011) publicaron los resultados de un estudio exploratorio que buscaba conocer las concepciones epistemológicas de los estudiantes sobre este campo de la Física; donde pretendían conocer los conceptos y relaciones entre conceptos de la mecánica Newtoniana en estudiantes que ingresan a la universidad.

El estudio fue realizado con un grupo de 87 estudiantes que recientemente habían culminado sus estudios de bachillerato y que estaban realizando el curso de ingreso a las carreras de Arquitectura Naval, Ingeniería en Alimentos, Licenciatura en Biotecnología, e Ingeniería en Automatización y Control Industrial de la Universidad Nacional de Quilmes, en Argentina; con quienes fue aplicado un cuestionario para identificar sus concepciones sobre “conceptos” y sobre “relaciones entre conceptos (definiciones y leyes)” en mecánica Newtoniana. Y su análisis permitió identificar incomprendiones y limitaciones epistemológicas en el campo de la mecánica Newtoniana, vinculadas con: la dependencia crucial del significado de los conceptos científicos fácticos con el contexto al que pertenecen, la idea que los conceptos científicos fácticos son creaciones intelectuales que trascienden los hechos, y la distinción entre definiciones y leyes.

La principal conclusión que se desvela en este estudio tiene que ver con que las respuestas de los estudiantes muestran también que estas incomprendiones y limitaciones de índole epistemológica, van acompañadas de incomprendiones y limitaciones de índole conceptual.

Este trabajo que busca conocer las concepciones epistemológicas iniciales de los estudiantes en el campo de la mecánica Newtoniana, está fundamentado en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel y se constituye en un referente fundamental no solo para la presente investigación, sino para futuras investigaciones que tengan como propósito vincular este referente teórico con componentes epistemológicos.

De los ocho estudios encontrados que abordan el campo de la dinámica Newtoniana desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel, la gran mayoría de ellos (Covaleda, Moreira y Caballero, 2005; López Ríos, 2005; López Ríos y Covaleda, 2005; Rezende y de Souza Barros, 2008; Moreira y Sperling, 2009; Wainmaier, Speltini y Salinas, 2011) se enfoca en la identificación de subsumidores o conocimientos previos y relaciones conceptuales previas establecidas por los estudiantes entre conceptos de la dinámica Newtoniana, antes de dar inicio al proceso de instrucción.

Otros aspectos de la Teoría del Aprendizaje Significativo como el diseño de materiales de enseñanza potencialmente significativos que faciliten la adquisición y negociación de significados entre alumno y profesor, se ven ampliamente abordados en estudios como el de Santos, Otero y Fanaro (2000); y López Ríos (2005); siendo ésta una condición necesaria para facilitar el aprendizaje significativo en el aula de clase, junto a la predisposición del estudiante para aprender; condición valorada también en el estudio realizado por López Ríos (2005).

De otro lado, el estudio realizado por Sánchez, Moreira y Caballero (2005) aborda concretamente los principios de la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora en una propuesta metodológica que permite visualizar la jerarquía de los contenidos (general a lo particular) y eliminar la fragmentación de los mismos. Y en relación con el uso de estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo, Moreira y Sperling (2009) adoptan la implementación de los mapas conceptuales en el aula de clase, para abordar el aprendizaje de conceptos de dinámica Newtoniana.

Por último, con el propósito de mostrar evidencias de aprendizaje significativo, López Ríos (2005) hace una valoración del aprendizaje significativo en términos del progreso conceptual y el establecimiento de relaciones conceptuales logrado por los estudiantes; mientras que Moreira y Sperling (2009) valoran el uso de los conocimientos adquiridos por los estudiantes para enfrentarse a la solución de situaciones nuevas.

Dado que el presente trabajo tiene como propósito favorecer en los estudiantes no sólo el aprendizaje significativo, sino además, el aprendizaje significativo crítico en los términos planteados por Moreira (2005), se realizó una búsqueda de estudios que tuvieran como referente teórico la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico para abordar la enseñanza de la Física en general. Debido a que es un referente conceptual relativamente nuevo, es poca la probabilidad de que existan trabajos concretos fundamentados en este referente teórico, que aborden el proceso de enseñanza-aprendizaje de conceptos de dinámica Newtoniana. De hecho, sólo fue encontrado un estudio (Paulo, 2006) que hace referencia explícita a la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC), pero en el que se aborda el aprendizaje de conceptos de mecánica cuántica.

Este trabajo tuvo como principal propósito investigar la viabilidad de la enseñanza de la mecánica cuántica en la enseñanza media, en la perspectiva de la interpretación de Copenhagen/Bohr. El estudio se realizó con aproximadamente cien estudiantes de dos escuelas de enseñanza media. La implementación de los principios de la TASC en este estudio, fueron coherentes con la metodología propuesta, favoreciendo la interacción social, la no adopción del libro de texto como único recurso didáctico; y la implementación de diversas estrategias didácticas (principios 1, 2 y 9 de la TASC). Asimismo, las discusiones generadas en el ámbito de los modelos, leyes y teorías como construcciones humanas, permitió la aplicación de los principios referentes a la conciencia semántica, el aprendizaje por error y la incertidumbre del conocimiento (principios 5, 6 y 8 de la TASC, respectivamente).

Al enfrentar a los estudiantes al aprendizaje de conceptos básicos de la mecánica cuántica, éstos se vieron obligados a familiarizarse con un nuevo vocabulario propio de este campo de conocimiento, con una nueva manera de percibir el mundo, a la cual no estaban acostumbrados; y por lo tanto al desaprendizaje o no utilización de conceptos clásicos

previamente asimilados. Lo que permitió aplicar los principios relativos al conocimiento como lenguaje y al desaprendizaje (principios 4 y 7 de la TASC).

Los resultados obtenidos en este estudio se refieren a la posibilidad de percibir la manera en que los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico se evidencian en las clases, a partir de la interacción de larga duración entre profesor y estudiantes; considerando que cuando se permite al estudiante construir su conocimiento, intercambiando significados entre profesor, material didáctico y sus compañeros de clase, los principios de la TASC están siendo naturalmente contemplados. Una importante conclusión que surge de este estudio es que si se quiere facilitar el aprendizaje significativo crítico, es el propio profesor quien debe asumir una actitud crítica y reflexiva en relación a una postura tradicional en el aula de clase.

En la siguiente sección se describe el cuarto y último tópico de la revisión de literatura, en el que se muestra un panorama bastante general de la investigación en el campo de los modelos y la modelación científica, así como las simulaciones y la modelación computacional en la enseñanza de la Física.

2.4 Modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física

Para describir este tópico se aprovecha una reciente y extensa revisión hecha por Brandão (2011) entre los años 1990 y 2009 en un importante número de revistas de Educación en Ciencias y de Física en particular. Los 97 estudios (listados en el anexo A) encontrados sobre el tópico “los modelos y la modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física”, fueron clasificados en las seis categorías descritas a continuación:

Categoría 1. Concepciones y actitudes de profesores sobre modelos y modelación científica: en esta categoría fueron encontrados diez trabajos (cuadro 1 del anexo A) cuyo interés estaba centrado en la exploración y conocimiento de las concepciones y actitudes de los profesores en relación con los modelos y la modelación científica. Estos trabajos hicieron uso esencialmente de instrumentos como cuestionarios tipo Likert y entrevistas semi-estructuradas, que fueron aplicados a profesores de ciencias en general, que se

encontraban bien sea en formación o en ejercicio docente. En relación con esta categoría, Brandão (2011) encuentra que la mayoría de los profesores que fueron indagados, no poseen experiencia y no acostumbran reflexionar ni enseñar en el aula de clase sobre la naturaleza y el papel de los modelos científicos y del proceso de modelación en los contextos científico y educativo. Hecho que sugiere la imperante necesidad de formular propuestas de formación de profesores de ciencias fundamentadas en el uso y/o construcción de modelos; y que propicien la reflexión crítica sobre el proceso de modelación científica.

Categoría 2. Reflexiones y propuestas enfatizando el papel de los modelos y de la modelación científica en la enseñanza de la Física: en esta categoría se ubican veintinueve trabajos (cuadro 2 del anexo A) que reflejan la importancia de los modelos y de la modelación científica en la enseñanza de la Física. Algunos de estos trabajos generan una reflexión en torno a la manera como los modelos están siendo entendidos en la educación en Ciencias; lo que evidencia -de acuerdo con Brandão (2011)- la polisemia de los términos modelo y modelación en la enseñanza de las Ciencias.

En esta categoría en la que se ubica el mayor número de trabajos encontrados en la revisión de literatura sobre modelos y modelación científica, los autores hacen fuerte énfasis en la conveniencia de incorporar en el aula de clase actividades basadas en modelos y en modelación científica, que permitan a los estudiantes: familiarizarse con el uso, la construcción y validación de modelos para explicar, predecir y describir fenómenos físicos; comprender conceptos científicos, comprender el rol que desempeñan los modelos en las explicaciones científicas; llevar a cabo un análisis crítico de la relación entre modelo y realidad; utilizar diversos modelos en el aula de clase que posibilite el intercambio de significados de la noción de modelo. Pero sobre todo, resaltan la importancia de generar e implementar propuestas de enseñanza fundamentadas en modelos y en modelación científica para incorporar contenidos de historia y epistemología de la ciencia en el currículo de las disciplinas científicas.

Categoría 3. Implementación y resultados de estrategias centradas en los modelos y en la modelación científica en la enseñanza de la Física: en esta categoría fueron encontrados once trabajos (cuadro 3 del anexo A) que reportan diferentes resultados

alcanzados a partir de la implementación de estrategias didácticas basadas en los modelos y en la modelación científica en la enseñanza de la Física. Las diversas estrategias centradas en los modelos y en la modelación científica implementadas en la enseñanza de la Física, han tenido como principales propósitos: la comprensión de conceptos científicos, la resolución de problemas auténticamente científicos, propiciar la formulación de explicaciones científicas de fenómenos físicos, incentivar razonamientos más articulados sobre situaciones físicas, posibilitar el análisis de situaciones reales e idealizada, favorecer la construcción de visiones adecuadas sobre la ciencia y la construcción del conocimiento científico; y generar reflexiones críticas sobre el papel y la naturaleza de los modelos en ciencia, entre otros. Propósitos absolutamente coherentes con los descritos en la categoría 2, en los que se fundamentaban las diferentes propuestas relacionadas con el papel de los modelos y de la modelación científica en la enseñanza de la Física.

Categoría 4. Reflexiones y propuestas enfatizando el papel de las simulaciones y de la modelación computacional en la enseñanza de la Física: en esta categoría se ubican veinte trabajos (cuadro 4 del anexo A) que muestran la importancia de la simulación y la modelación computacional en la enseñanza de la Física. En estos trabajos se encuentran algunos aspectos comunes entre los cuales destacamos los siguientes: la variedad de programas de simulación y modelación computacional, la descripción de las principales características y potencialidades de los programas, las instrucciones y recomendaciones para la implementación de los programas de simulación y modelación computacional, la descripción de ejemplos concretos de la aplicación de dichos programas, entre otros. Uno de los principales aspectos a resaltar en estos trabajos es el énfasis puesto en la necesidad de hacer un uso crítico y reflexivo de las simulaciones y la modelación computacional en el aula de clase.

Categoría 5. Implementación y resultados de estrategias centradas en las simulaciones y en la modelación computacional en la enseñanza de la Física: esta categoría cuenta con veinte trabajos (cuadro 5 del anexo A) que se refieren a los resultados alcanzados a partir de la implementación de estrategias didácticas centradas en las simulaciones y en la modelación computacional en la enseñanza de la Física. Es posible destacar algunos de los principales resultados obtenidos en estos estudios que hacen referencia a: la conveniencia de utilizar modelos para apoyar los procesos de conceptualización de fenómenos y conceptos científicos abstractos, la potencialidad de las

simulaciones computacionales para facilitar procesos de aprendizaje significativo, el favorecimiento de la percepción de los estudiantes en relación con los conceptos y las relaciones matemáticas, así como la motivación que las simulaciones y la modelación computacional genera en los estudiantes.

Es importante resaltar que tanto en esta categoría como en la anterior, la gran mayoría de trabajos carece o no hace explícito el uso de referentes teóricos y/o estrategias metodológicas para orientar las actividades de simulación y modelación computacional en la enseñanza de la Física. Del mismo modo, puede notarse que un importante número de trabajos no establecen una clara diferenciación entre los términos simulación y modelación computacional, haciéndose referencia a éstos de manera indiscriminada.

Categoría 6. Fundamentos epistemológicos sobre modelos y modelación científica: en esta categoría se concentran quince trabajos (cuadro 6 del anexo A) que abordan explícitamente los aspectos epistemológicos referentes al trabajo con modelos y modelación científica. Esta categoría es posiblemente la que más se destaca -de la revisión bibliográfica adelantada por Brandão (2011)-, en términos de la importancia que tiene para la presente investigación, la cual tiene un fuerte componente epistemológico abordado desde la perspectiva de los modelos y la modelación científica.

De los trabajos encontrados en esta revisión es importante resaltar los siguientes aspectos: se antepone el papel fundamental que desempeñan las idealizaciones como componentes del proceso de modelación científica, se pone de relieve la pertinencia de discutir sobre modelos y modelación en el aula de la clase para favorecer la comprensión del proceso de construcción de conocimiento científico, se discute el papel desempeñado por los modelos en las explicaciones científicas, así como sus implicaciones para la enseñanza de las Ciencias; y por último, es importante destacar la relevancia que ha tomado la concepción bungeana de los modelos y la modelación científica para la enseñanza de las Ciencias; visión epistemológica que orienta la presente investigación, tal como se presenta en el siguiente capítulo referente a la fundamentación epistemológica.

La incursión que se ha hecho en las últimas décadas en el campo de los modelos y de la modelación científica orientada a procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias; y la posibilidad de que dicho campo sea orientado desde una perspectiva didáctica

fundamentada en la modelación y simulación computacional, sugiere 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 ampliamente pertinente la visión epistemológica de Mario Bunge para orientar una enseñanza de las Ciencias centrada en los modelos y en la modelación, tal y como se describe en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

FUNDAMENTACIÓN EPISTEMOLÓGICA

Partiendo del hecho de que el mundo no lo captamos directamente sino que lo representamos, nos referimos a la modelación científica como el proceso por excelencia para representar, colectivamente, el mundo que nos rodea y por lo tanto para construir el conocimiento científico. Tal como lo afirma Hestenes (1992, p. 732):

“el gran juego de la ciencia es modelar el mundo real [...] el objetivo del juego es construir modelos válidos de objetos y procesos reales. Tales modelos constituyen el núcleo del conocimiento científico”.

Lo que convierte a la modelación en la esencia del pensamiento y del trabajo científico (Gilbert, 1991; Harrison y Treagust, 2000).

En estos términos, la modelación científica es entendida como un proceso de construcción de modelos con el propósito de apresar la realidad (Bunge, 1972; Giere, 1988; Hestenes, 1995; Halloun, 1996, 2004). Y los modelos científicos, los entendemos como representaciones idealizadas y simplificadas de la realidad, diseñados para describir, predecir y/o explicar una cierta situación problema relacionada con algún aspecto del mundo. Lo que hace especial a los modelos es que están diseñados para que sus elementos

puedan ser identificados con características del mundo real. Esto es lo que hace posible el uso de modelos para representar aspectos del mundo (Giere, 2004, p. 747); considerando la representación como una de las principales funciones de los modelos en la Ciencia (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998a; Giere, 2004, 2009).

Indiscutiblemente, los modelos juegan un papel fundamental no solo en la construcción de conocimiento científico, sino también en la enseñanza de dicho conocimiento; sin embargo, es de resaltar que no existe una amplia comprensión sobre la naturaleza de dichos modelos y por lo tanto, del proceso de modelación en el desarrollo del conocimiento científico (Justi y van Driel, 2005); lo que hace suponer que todo intento por lograr una mejor comprensión de los modelos científicos y de su implementación en actividades de enseñanza, tendrá una buena acogida entre investigadores y enseñantes de las Ciencias.

En coherencia con dicho propósito, adoptamos para este trabajo la visión de Mario Bunge, principalmente en lo que se refiere a la modelación y a los modelos científicos, resaltando la relevancia de esta concepción no solo para la comprensión del proceso de construcción de conocimiento científico, sino para su enseñanza.

3.1 La visión epistemológica de Mario Bunge

El referente epistemológico de este trabajo está fundamentado en la visión de Mario Bunge acerca de la modelación científica y del papel que desempeñan los modelos científicos en la construcción de conocimiento; con la firme convicción de que los modelos científicos juegan un papel fundamental en la enseñanza de las Ciencias (Cupani y Pietrocola, 2002; Justi y Gilbert, 2002a, 2002b; Justi, 2006); y particularmente en la enseñanza de la Física (Pietrocola, 1999; Brandão, Araujo y Veit, 2010).

La postura crítica que asume Bunge en relación con la ciencia rompe con una visión dogmática, asumiendo la ciencia como un proceso racional, pero además creativo; lo que se denomina como realismo crítico; y que de acuerdo con Cupani y Pietrocola (2002, p. 119) implica la necesidad de adquirir conocimiento teórico para poder enriquecer nuestra

aprehensión del mundo. Siendo ésta la esencia de la modelación científica desde la perspectiva bungeana.

Su concepción de ciencia desde un punto de vista racional y realista implica una concepción crítica y no dogmática del conocimiento científico; de la misma manera que concibe la ciencia como un proceso creativo, resaltando el papel activo del sujeto y considerando la construcción de modelos conceptuales y modelos teóricos como una actividad creadora que pone en juego los conocimientos, las preferencias y aún la pasión intelectual del constructor (Bunge, 1972, p. 23).

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 la realidad y no como la realidad misma; visión que es compartida por autores como Grosslight et al. (1991), Gilbert (1991), Halloun (1996, 2004), Greca y Moreira (1997), Gilbert, Boulter y Rutherford (1998a), Del Re (2000), Harrison y Treagust (2000), Moreira, Greca y Rodríguez Palmero, (2002) Justi y Gilbert (2000, 2002a), Justi (2006) y Giere (1988, 2004, 2010). El proceso de construcción de dichos modelos es lo que se entiende como modelación científica desde la perspectiva bungeana, considerando que todo modelo científico contribuye a optimizar la comprensión de la realidad, la aprehensión del mundo.

Bunge considera que uno de los principales objetivos de la ciencia es producir explicaciones para los hechos reales y que dichas explicaciones pueden generarse a partir de modelos; lo que hace del concepto de modelo el elemento esencial del trabajo científico (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998a). Sin embargo, la construcción de dichos modelos, o más bien, la modelación científica como piedra angular del conocimiento científico, no debe ser entendida como un proceso atóxico; muy al contrario, la modelación es una actividad creadora, impregnada de teoría y llevada a cabo en un contexto conceptual; en el que juegan un papel fundamental la creatividad, intuición e imaginación del constructor.

Los modelos a los que Bunge hace referencia son modelos conceptuales y modelos teóricos como esquemas hipotéticos de cosas y hechos supuestamente reales. De este modo, un modelo conceptual es entendido como un objeto-modelo que se refiere a objetos supuestamente reales y tiene como propósito aportar una imagen simbólica de la realidad

(Bunge, 1972, p. 13). Los objetos-modelo son creaciones humanas idealizadas y abstraídas de objetos reales o supuestos reales y representan apenas de forma parcial los objetos o hechos reales a los cuales se refieren.

De acuerdo con Bunge (1972, p. 40):

“Puede darse el nombre de objeto-modelo a cualquier representación esquemática de un objeto. Si el objeto representado es concreto, entonces su modelo es una idealización del mismo. La representación puede ser pictórica, como en el caso de un dibujo, o conceptual, como en el caso de una fórmula matemática; puede ser figurativa, como el modelo de bola-y-varilla de una molécula, semi-simbólica, como en el caso del mapa de contorno de la misma molécula, o simbólica como el operador hamiltoniano para ese objeto. Y el objeto-modelo puede ser intrateórico, como en el caso del modelo de red aleatoria del cerebro o extrateórico como el modelo de la jerarquía celestial del Pseudo Areopagita”.

En cualquier caso, un modelo conceptual u objeto-modelo es como una imagen conceptual construida a partir de un objeto real o supuesto real que se construye con el propósito de comprenderlo y/o explicarlo. Un objeto-modelo puede entenderse como una descripción o una lista de propiedades atribuidas a un objeto o referente concreto. Pero éstas no aportan la suficiente información para permitir comprender el comportamiento de ese objeto; razón por la cual es necesario que el objeto-modelo sea insertado en una teoría general para generar un modelo teórico; ya que es éste el que permite representar el comportamiento del objeto-modelo a partir de la teoría general, aportando una explicación acerca cómo se comporta ese objeto-modelo. En palabras de Bunge, “un modelo teórico es una teoría genérica junto con un objeto-modelo” (Bunge, 1972, p. 45).

Puesto que las teorías generales no se refieren específicamente a nada perteneciente al mundo real; es decir, no se refieren directamente a los objetos reales; modelos conceptuales u objetos-modelo deben ser insertados en ellas con el fin de producir representaciones de la realidad; o sea, modelos teóricos. Los modelos teóricos que describen modelos conceptuales u objetos-modelo se denominan también teorías específicas. Los modelos teóricos o teorías específicas pueden entenderse como explicaciones que las teorías generales producen sobre los objetos-modelo. En estos

términos, un modelo teórico de un objeto supuesto real es una teoría específica que resulta de la de la inserción de un modelo conceptual en una teoría general.

En concordancia con lo anterior, el modelo teórico se define como un sistema hipotético-deductivo específico cuyo referente directo es el objeto-modelo que le dio origen y que a su vez, es una representación conceptual esquemática de una cosa o de una situación real o supuesta real. El modelo teórico está constituido por un conjunto de relaciones coherentemente establecidas y normalmente expresadas en lenguaje matemático; y es producido por un objeto-modelo unido a un conjunto de enunciados legales y otras premisas (Bunge, 1978, p. 60).

Desde la concepción bungeana, los modelos son vistos como representaciones de modo más o menos simbólico y con alguna aproximación de ciertos aspectos de los sistemas reales. Estos modelos están incluidos en teorías; y dichas teorías tienen como referencia sistemas reales. En la figura 3.1 se muestra una ilustración a la que recurre Bunge para esclarecer la idea de que las teorías no son modelos, sino que más bien éstas incluyen modelos; y tienen como referencia sistemas reales.

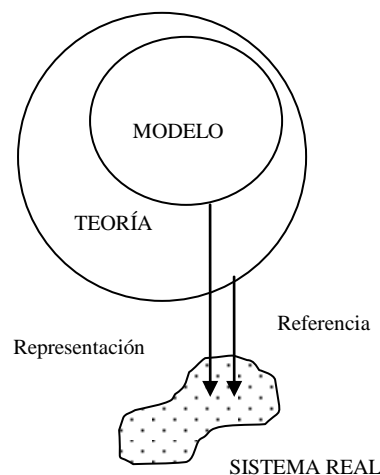


Figura 3.1. Relación entre teoría, modelo y sistema real (extraído de Bunge, 1985, p. 420).

De este modo, los modelos se constituyen en imágenes conceptuales de los elementos pertenecientes a un sistema real que se pretende interpretar a través de una teoría general. Sin embargo, es importante resaltar, que ningún objeto-modelo pertenece exclusivamente a

una determinada teoría, que éste puede ser compartido por un cierto número de modelos teóricos. Es decir, un objeto-modelo cualquiera, puede dentro de ciertos límites, incorporarse dentro de varias teorías. De acuerdo con Bunge (1978, p. 62):

“puesto que un objeto modelo es solo una lista de rasgos, estos rasgos pueden caracterizarse y relacionarse mutuamente en un número ilimitado de modos para producir otros tantos modelos teóricos. Inversamente, cualquier teoría general puede unirse a objetos modelos alternativos siempre que los últimos se construyan con conceptos que figuren en la estructura general”.

Esta visión del proceso de modelación científica que sugiere la construcción de modelos conceptuales y su incorporación en teorías generales, podría considerarse la base de la construcción del conocimiento científico. Desde esta perspectiva, para un sistema real o hipotético, debe construirse un objeto-modelo, esto es, una idealización o esquema de la cosa real e insertarse en una teoría general para obtener un modelo teórico o teoría específica de dicho sistema. En la tabla 3.1 Bunge (1979, p. 59), presenta algunas situaciones modelizadas que ilustran de una manera bastante sintética, su visión acerca de los modelos y las teorías.

Tabla 3.1. Algunos ejemplos de situaciones modeladas.

SISTEMA	OBJETO MODELO	MODELO TEÓRICO	TEORÍA GENERAL
Luna	Sólido esférico que gira en torno a su eje, que rota en torno a un punto fijo, etc.	Teoría lunar	Mecánica clásica y Teoría de la gravitación
Luz lunar	Onda electromagnética polarizada plana.	Ecuaciones de Maxwell para el vacío	Electromagnetismo clásico
Pieza de vidrio	Cadena lineal aleatoria de cuentas	Mecánica estadística de cadenas aleatorias	Mecánica estadística
Cristal	Retículo más nube de electrones	Teoría de Bloch	Mecánica cuántica

Se modeliza con el propósito de aprehender la realidad; y justamente por la complejidad propia de explicar la realidad, se construyen modelos conceptuales u objetos-modelo que tienen como punto de partida las idealizaciones y simplificaciones (acerca de sistemas reales). En este sentido, Pietrocola (1999, p. 224) considera que el proceso de producción

de modelos se inicia por las idealizaciones de las situaciones tratadas que resultarían en los objetos-modelo; y termina con la construcción de modelos teóricos que serían las estructuras que emularían lo real a través de sistemas conceptuales hipotético deductivos.

Las idealizaciones ocupan un lugar destacado en el estándar de los modelos científicos (Giere, 2010, p. 279); por lo que considerar la idealización como punto inicial del proceso de modelación, permite concebirla como elemento fundamental en la construcción de conocimiento científico; pues la construcción de un modelo implica necesariamente una serie de idealizaciones (simplificaciones), que buscan ser disminuidas para generar un modelo cada vez más complejo, con el propósito de que brinde una explicación lo más satisfactoria posible acerca de la realidad.

Desde esta perspectiva los objetos-modelo son representaciones idealizadas de sistemas reales, éstos no reflejan la realidad tal y como es, pero se aproximan a ella. Refiriéndose al objeto-modelo, Pietrocola (1999, p. 224), afirma: “siendo una idealización más o menos arbitraria (en función de las decisiones del investigador), y más o menos vinculada a los intereses y posibilidades que la ciencia tiene en determinado momento, acaba por tener un estatus apenas convencional”. Y es que de la misma manera que las teorías científicas son permanentemente mejoradas y perfeccionadas; asimismo, a los objetos-modelo puede atribuírseles ese carácter de temporalidad y provisionalidad que caracterizan el conocimiento científico.

En síntesis, la tarea de construcción de modelos con el propósito fundamental de aprehender y explicar la realidad, denominada modelación científica, es un proceso que busca respuestas a preguntas formuladas por los científicos; preguntas de investigación en las que se fundamenta el conocimiento científico. De acuerdo con Bachelard (1982, p. 16), “para un espíritu científico todo conocimiento es una respuesta a una pregunta. Si no hubo pregunta, no puede haber conocimiento científico”.

En el intento de dar respuesta a esos cuestionamientos sobre hechos reales o supuestos reales, los científicos imaginan y construyen modelos conceptuales (objetos-modelo) para aportar una imagen simbólica de la realidad. Sin embargo, el proceso de modelación no se restringe a la construcción de modelos conceptuales, es necesario que cada modelo conceptual esté insertado en una teoría general capaz de aportar respuestas a situaciones

particulares, generando modelos teóricos (teorías específicas) que describen los objetos-modelo.

Los objetos-modelo son contruidos a partir de idealizaciones acerca de los referentes (objetos, fenómenos, hechos) que corresponden a la realidad; lo que significa que no tendrán en cuenta algunos aspectos de su referente real; por lo que se dice de éstos, que son representaciones conceptuales esquemáticas de los referentes, que representan apenas de manera parcial la realidad. En palabras de Hestenes (1987, p. 445), “cada modelo es solo una representación parcial de un objeto, algunas veces ignorando propiedades obvias”. Del mismo modo, un modelo teórico es parcial y aproximativo; es decir, que no capta sino una parte de las particularidades del objeto representado. Sin embargo, aporta más información sobre un referente concreto un modelo teórico, que el objeto-modelo por sí solo.

De acuerdo con Bunge (1972, p. 43):

“un modelo teórico de un objeto concreto queda con seguridad corto respecto de la complejidad de su referente, pero en cualquier caso es mucho más rico que el mero objeto-modelo que no es sino una lista de rasgos del objeto concreto. Así es poco lo que se dice si se modeliza un planeta como un punto de masa o incluso como una bola. Sólo al asumir posteriormente que un modelo tal satisface ciertos enunciados legales, en particular las leyes del movimiento, obtenemos un fragmento de conocimiento científico”.

Los modelos teóricos o teorías específicas generan datos teóricos que se confrontan con datos empíricos aportados por la experimentación. Si se da una discordancia o incoherencia entre estos datos, se genera un error que determina el grado de precisión del modelo. De tal manera que cuanto menor sea la discordancia entre datos teóricos y empíricos, mayor será la precisión del modelo. Y de acuerdo con Bunge (1972, p. 25), “si el modelo teórico no concuerda con los hechos y si razonablemente se puede estar seguro de que el error no proviene de los datos experimentales, habrá que modificar las ideas teóricas”.

La modificación del modelo teórico implica la inclusión de aspectos ignorados en su construcción y la disminución del número de idealizaciones con el propósito de obtener un

modelo teórico cada vez más complejo y con un mayor grado de precisión entre resultados teóricos y experimentales dentro de su contexto de validez. Los modelos teóricos no buscan representar con toda exactitud un sistema real, ellos apenas logran aproximarse con determinado grado de precisión, describiendo ciertos aspectos relativos al sistema, por lo que se dice que poseen un contexto de validez. Ampliar el dominio o contexto de validez de un modelo implica el perfeccionamiento de éste, de modo que genere resultados más precisos en la descripción de los sistemas reales.

El mapa conceptual de la figura 3.2 intenta mostrar una síntesis de la concepción bungeana sobre la modelación científica, estableciendo relaciones entre los conceptos fundamentales que intervienen en este proceso.

3.2 Implicaciones de la visión epistemológica de Bunge para la Enseñanza de las Ciencias

Sin duda alguna un enfoque fundamental en la enseñanza de las Ciencias es el uso de la modelación en el aula de clase; lo que implicaría 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 general, las personas construyen sus propios modelos para representar el mundo que los rodea; y aunque tales modelos no obedecen al rigor de los modelos científicos, éstos se constituyen en formas de apresar la realidad y generar explicaciones sobre ella. Sin embargo, lo que sería deseable en términos de los objetivos de la enseñanza de las ciencias, es que la realidad fuera representada exclusivamente a partir de modelos científicos; por lo que es altamente pertinente que los estudiantes de ciencias aprendan a construir modelos (Harrison y Treagust, 2000; Justi y Gilbert, 2002a; Maia Ferreira y Justi, 2007).

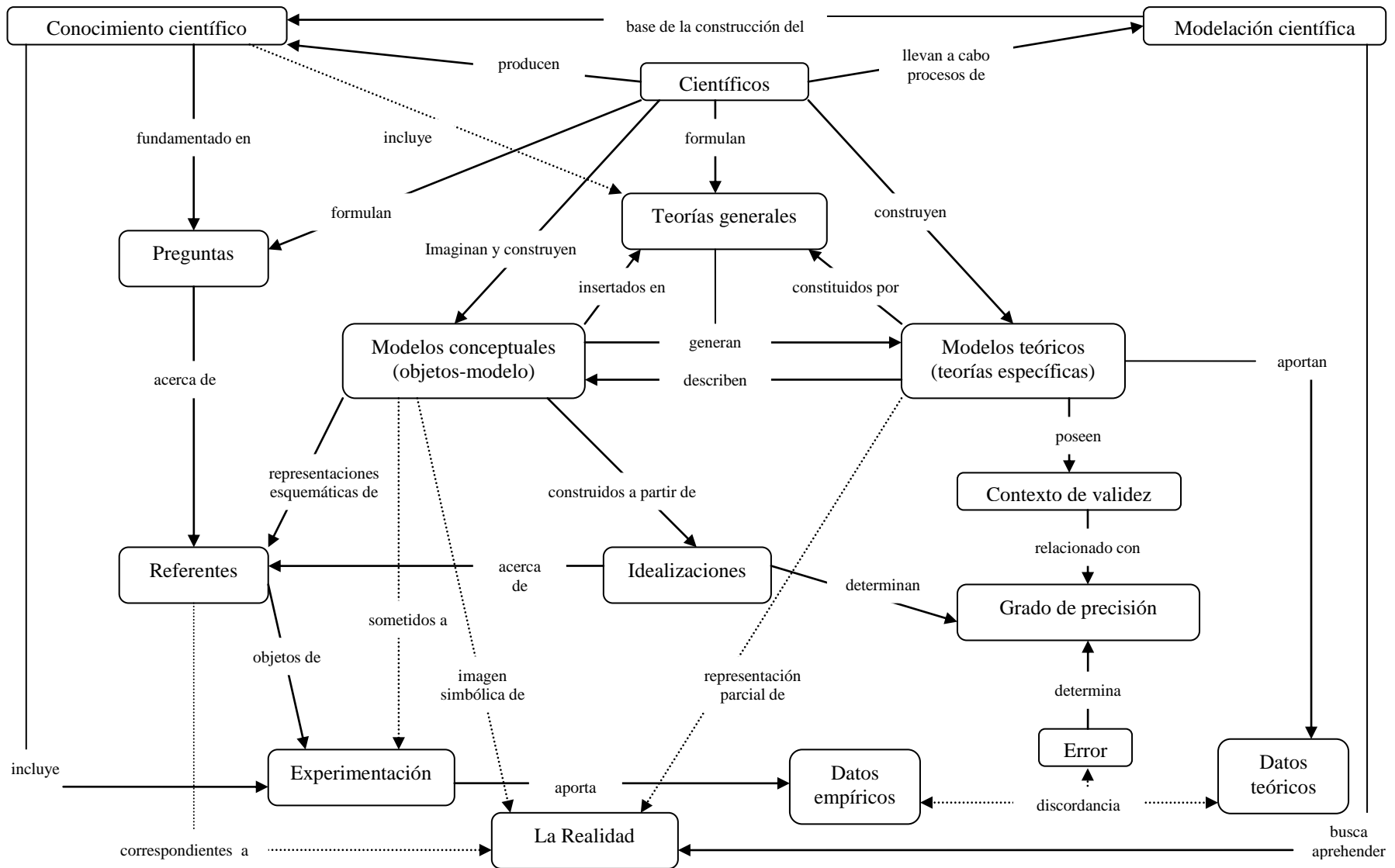


Figura 3.2. Mapa conceptual de la concepción bungeana sobre la modelación científica.

De acuerdo con Justi y Gilbert (2002a), a partir de la modelación científica es posible aprender ciencia, aprender acerca de la ciencia y aprender a hacer ciencia; y éstos son los principales propósitos de la enseñanza de las ciencias (Hodson, 1992). Por lo que intentar acercar a los estudiantes al proceso de modelación científica mediante actividades de enseñanza y orientar de una manera apropiada el proceso de modelación en el aula de clase, requiere de un profesor con un adecuado conocimiento de la naturaleza de la ciencia, de los modelos y de la modelación (Justi y van Driel, 2005; Maia Ferreira y Justi, 2007).

Una enseñanza de las ciencias basada en el uso y construcción de modelos, requiere no solo de una adecuada comprensión por parte de los docentes del proceso de modelación científica como tal, sino de la mejor manera de abordarlo en el aula de clase; y de los referentes teóricos y metodológicos necesarios para orientar las actividades de modelación en el entorno escolar; de tal manera que los modelos científicos sean vistos por los estudiantes como elementos que juegan un papel fundamental en la construcción de conocimiento científico, contribuyendo a una mejor comprensión del mundo que les rodea.

Existen importantes evidencias en relación con la implementación de los modelos y la modelación científica en la enseñanza de la Física (Hestenes, 1987, 1992, 1995; Halloun, 1996; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998a); lo que nos muestra que el uso de la modelación, además de propiciar el aprendizaje de conceptos científicos, permite lograr una adecuada comprensión del concepto de modelo y del proceso de modelación por parte de los estudiantes (Halloun, 1996, 1998; Wells, Hestenes y Swackhamer, 1995).

La modelación científica desde la concepción bungeana es un proceso creativo en el que el sujeto juega un papel activo en la construcción de modelos; por lo que esta actividad de modelación se considera altamente relevante para la enseñanza de las ciencias y particularmente para la enseñanza de la Física; en el sentido de favorecer en el aula de clase la construcción de modelos conceptuales por parte de los estudiantes, de tal manera que los modelos construidos por éstos se aproximen cada vez más a los modelos científicamente aceptados o modelos consensuados -como uno de los principales resultados de la investigación científica- (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998a, 1998b). Así, “la búsqueda por construir no solo modelos, sino modelos que mejoren nuestra forma de construir la realidad, genera un cambio en la “calidad” del conocimiento científico escolar” (Pietrocola, 1999, p. 224).

Con la convicción de que los modelos son elementos fundamentales del conocimiento científico, consideramos que tiene sentido favorecer una enseñanza de las ciencias que tenga en cuenta la incorporación de modelos en el aula de clase; y más aún, si éstos son utilizados para abordar contenidos referentes a la epistemología de las ciencias (Hodson, 1992; Justi y Gilbert, 2000); que como ya fue mencionado, son contenidos fundamentales pero escasamente atendidos en los currículos de ciencias.

Indiscutiblemente, la implementación de actividades de modelación en el aula de clase, acerca a los estudiantes al verdadero proceso de construcción de conocimiento científico; en el que son contemplados elementos esenciales de la ciencia tales como: los modelos, las teorías, los referentes, las idealizaciones, las simplificaciones, entre otros; y que posibilita a los estudiantes la comprensión de la ciencia como un cuerpo de conocimientos en permanente construcción, de naturaleza provisional y susceptible de ser constantemente perfeccionado.

De cualquier manera, 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”.

3.3 La visión epistemológica de Bunge en el ámbito de este trabajo

Sin desconocer importantes visiones acerca de los modelos científicos y de la modelación científica, así como del papel que desempeñan dichos modelos en la construcción de conocimiento (Toulmin, 1977; Giere, 1988; Bachelard, 1982; Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998a, 1998b; Justi y Gilbert, 2000), nos referimos en el ámbito de este trabajo a la concepción bungeana de los modelos en la ciencia (Bunge, 1972), por considerarla altamente compatible con los referentes teóricos abordados en esta investigación.

Su visión del proceso de modelación científica sugiere la construcción de modelos conceptuales y su incorporación en teorías generales, lo que puede considerarse como la base de la construcción del conocimiento científico. Por lo que consideramos que la incorporación en el aula de clase de elementos propios de la modelación científica en los términos planteados por Bunge, ayudará a los estudiantes a construir modelos para explicar el mundo y aprehender la realidad de una manera más crítica y reflexiva; permitiéndoles la comprensión de aspectos relacionados con la epistemología de la ciencia (Justi y Gilbert, 2000).

De este modo, la visión de Bunge en relación con los modelos y la modelación científica es altamente compatible no solo con la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico y sus principios epistemológicos (principio de la conciencia semántica, principio del aprendizaje por error, principio del desaprendizaje, principio de incertidumbre del conocimiento), sino con algunos de los principales elementos del diagrama AVM (teorías, referentes, idealizaciones, relaciones, validación, expansión) utilizado como estrategia de enseñanza para orientar a los estudiantes en la exploración y/o construcción de modelos computacionales.

Algunos aspectos importantes de resaltar en la concepción bungeana de la modelación científica que son perfectamente compatibles con el enfoque de este trabajo son:

- “La ciencia carece de axiomas evidentes; incluso los principios más generales y seguros son postulados que pueden ser corregidos o reemplazados. A consecuencia del carácter hipotético de los enunciados de leyes, y de la naturaleza perfectible de los datos empíricos, la ciencia no es un sistema dogmático y cerrado sino controvertido y abierto. O más bien la ciencia es abierta como sistema porque es falible y por consiguiente capaz de progresar” (Bunge, 1979, p. 33). Esta postura es congruente con la de Toulmin (1977, p. 36), quien considera que “todo aspecto de la naturaleza es hoy considerado como en desarrollo histórico o “en evolución”, desde las partículas últimas e inmutables de la materia, pasando por el sistema planetario y las especies animales, hasta los imperativos intemporales de la moralidad y la vida social”.

- La modelación científica es entendida como un proceso creativo de construcción de modelos con el objetivo de comprender la realidad.
- Los modelos son entendidos como representaciones simplificadas e idealizadas de la realidad y no como la realidad misma. Desde la perspectiva de Bunge, los modelos desempeñan el papel de mediadores entre teoría y realidad; postura que concuerda con la de Giere (2010), quien considera que no existe una relación de verdad entre los modelos y el mundo.
- “Un objeto modelo o modelo conceptual no es ni verdadero ni falso. Siendo una idealización más o menos arbitraria (en función de las decisiones del investigador) y más o menos vinculada a los intereses y posibilidades que la ciencia tiene en determinado momento, acaba por tener un status apenas convencional” (Pietrocola, 1999, p. 224).
- La construcción de modelos es un proceso creativo que pone en juego la imaginación e intuición del modelador, permitiéndole representar la realidad y favoreciendo una comprensión crítica del mundo que lo rodea.
- “Todo modelo teórico es parcial y aproximativo: no capta sino una parte de las particularidades del objeto representado. Por esta razón fracasará pronto o tarde” (Bunge, 1972, p. 34).
- Los modelos conceptuales son construidos con la ayuda de la intuición y la razón y son insertados en teorías generales para generar modelos teóricos que los describan. Dichos modelos son sometidos a contrastación empírica para determinar su validez; y en caso de que ésta no se dé, se recurre a modificaciones que proporcionen un modelo más realista.
- “Los modelos teóricos son teorías que especifican representaciones esquemáticas de objetos físicos” (Bunge, 1972, p. 14).

- “Dos investigadores construirán modelos diferentes del mismo sistema. Incluso teniendo acceso a la misma información sólo por azar llegarán al mismo modelo, puesto que la construcción de objetos modelos y modelos teóricos es una actividad creadora que pone en juego los conocimientos, las preferencias y aún la pasión intelectual del constructor” (Bunge, 1972, p. 23). Bunge, al igual que Grosslight et al. (1991), hace referencia a la existencia de múltiples modelos para representar un mismo objeto o fenómeno.

Siendo la concepción bungeana de los modelos y la modelación científica el principal referencial epistemológico en el que se fundamenta esta tesis, es importante aclarar que para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación, los conceptos relativos al referencial teórico de Mario Bunge no fueron explícitamente discutidos en el aula de clase, pero sí considerados en el diseño de las diferentes actividades de modelación computacional con diagrama AVM, con las que son totalmente compatibles.

En el siguiente capítulo es presentado el marco teórico que orientó el diseño, ejecución y análisis de resultados del presente trabajo.

Capítulo 4

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el referencial teórico en que se fundamenta esta investigación, conformado por la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (Moreira, 2000; Ausubel, 2002); la Modelación Esquemática de Halloun (Halloun, 1996, 2004); la Modelación Computacional con diagrama AVM (Araujo, 2005; Araujo, Veit y Moreira, 2006, 2007, 2011); la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira (Moreira, 2005) y la Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard (Chevallard, 1991).

4.1 Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel

Como una teoría psicológica cognitivista, enmarcada en un enfoque constructivista y basada en el supuesto de que los seres humanos construyen su propia concepción de la realidad y del mundo en que viven, surge la Teoría del Aprendizaje Significativo; que considera el aprendizaje como un proceso en el que una nueva información (estructura de conocimiento organizada, clara y diferenciada) interactúa con aspectos relevantes (subsunores) de la estructura cognitiva del individuo que aprende, caracterizados por su grado de claridad, estabilidad y diferenciación; sirviendo de anclaje para la nueva información. Ausubel resume este hecho en el epígrafe de su obra de la siguiente manera: "Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el

factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente" (Moreira, 2000, p. 9).

Para que se dé en el sujeto un aprendizaje significativo, es necesario que la información que adquiere el alumno (nueva información) a través del material de aprendizaje interactúe de manera no arbitraria y no literal con información ya existente en su estructura cognitiva; y es en este proceso donde actúa el profesor como intermediario entre el alumno y el contenido científico, mediante la incorporación de diferentes materiales de aprendizaje en el aula de clase. Materiales que deben ser potencialmente significativos, de tal forma que permitan el anclaje de la nueva información y la información previa en la estructura cognitiva del alumno.

Condiciones para que se dé el aprendizaje significativo

Para que el aprendizaje sea significativo, se requiere un material potencialmente significativo y la disposición del alumno para relacionarlo sustancial y no arbitrariamente con su estructura cognitiva preexistente. Además, exige un tipo de enseñanza que reconozca como principios la diferenciación progresiva, donde los conceptos más generales se presentan al comienzo de la instrucción y se diferencian progresivamente en términos de detalle y especificidad; y la reconciliación integradora que consiste en explorar relaciones entre ideas y apuntar similitudes y diferencias para integrarlas en ideas más generales e inclusivas que puedan establecerse en la estructura cognitiva del alumno. Estos procesos se dan a medida que el aprendizaje significativo ocurre.

Al mismo tiempo, el material de aprendizaje tiene como condición un significado lógico y un significado psicológico. El significado lógico del nuevo material de aprendizaje -que está relacionado con la disciplina- se convierte en contenido psicológico o cognoscitivo nuevo cuando pasa a ser parte de la estructura cognitiva del alumno como resultado del proceso de aprendizaje significativo.

De acuerdo con Ausubel (2002, p. 25), el aprendizaje significativo basado en la recepción supone principalmente la adquisición de nuevos significados a partir del material de aprendizaje presentado. Dicho aprendizaje requiere tanto de una actitud de aprendizaje significativa como de la presentación al estudiante de un material

potencialmente significativo. A su vez, esta última condición supone: 1) que el propio material de aprendizaje se pueda relacionar de una manera *no arbitraria* (plausible, razonable y no aleatoria) y *no literal* con alguna estructura cognitiva apropiada y pertinente (esto es, que posea un significado “lógico”); y 2) que la estructura cognitiva de la persona *concreta* que aprende *contenga* ideas de anclaje pertinentes con las que el nuevo material se pueda relacionar. La interacción entre significados potencialmente nuevos e ideas pertinentes en la estructura cognitiva del estudiante da lugar a significados reales o psicológicos.

Tipos de Aprendizaje Significativo

Ausubel reconoce tres formas en las que puede darse el aprendizaje significativo: el aprendizaje representacional, el aprendizaje de conceptos y el aprendizaje proposicional.

Aprendizaje representacional

Es el aprendizaje, por así decirlo, más elemental, del cual dependen los demás tipos de aprendizaje. Consiste en la atribución de significados a determinados símbolos y ocurre cuando se igualan en significado símbolos arbitrarios con sus referentes (objetos, eventos, conceptos) y representan para el alumno cualquier significado al que sus referentes aludan. Este tipo de aprendizaje se da básicamente en los niños en etapa preescolar y se refiere al acto de asignar símbolos y signos para representar los objetos que tienen a su alrededor. No se trata solamente de nombrar; sino más bien de establecer una relación entre los objetos y los símbolos que se le asignan para representarlos, que normalmente son palabras. Este tipo de aprendizaje aunque con menos frecuencia también puede darse durante la etapa escolar y la adultez; pues en cualquier momento pueden presentársele al alumno objetos o situaciones para las cuales no poseía un signo o símbolo con que representarlas.

Así, para Ausubel (2002, p. 26), el aprendizaje *representacional* es el más parecido al aprendizaje memorista, se produce cuando el significado de unos símbolos arbitrarios se equipara con sus referentes (objetos, eventos, conceptos) y muestran para el estudiante cualquier significado que expresen sus referentes.

Aprendizaje de conceptos

Este tipo de aprendizaje es en cierta forma un aprendizaje representacional. En el aprendizaje de conceptos, éstos son objetos, eventos, situaciones o propiedades que presentan unas características comunes y a los cuales se puede asignar un mismo signo o símbolo para representarlos; considerando que aquí ya se poseen criterios para designar el objeto o evento. Existen dos formas de aprender conceptos: la primera es la formación de conceptos que se da principalmente en los niños en etapa preescolar y se adquiere por medio de la experiencia directa; es decir, mediante etapas sucesivas de generación de hipótesis, comprobación y generalización. Este método de aprender conceptos tiene una estrecha relación con lo que es el aprendizaje por descubrimiento.

La otra forma de aprender conceptos es por asimilación, que es la forma predominante de aprendizaje de conceptos en la etapa escolar y en los adultos y se da precisamente a medida que el alumno enriquece su vocabulario; puesto que los atributos característicos de los nuevos conceptos se pueden definir mediante el uso, en nuevas combinaciones, de referentes ya existentes disponibles en la estructura cognitiva del alumno.

Para Ausubel, los conceptos constituyen un aspecto importante de la teoría de la asimilación porque la comprensión y la resolución significativa de problemas dependen en gran medida de la disponibilidad, en la estructura cognitiva del estudiante, de conceptos de orden superior y de conceptos subordinados.

Aprendizaje proposicional

Aunque el aprendizaje significativo de proposiciones verbales es algo más complejo que aprender los significados de las palabras, es similar al aprendizaje representacional en el sentido de que, después de que una tarea de aprendizaje potencialmente significativa se relacione e interactúe con ideas pertinentes ya existentes en la estructura cognitiva, aparecen nuevos significados; sin embargo, en este caso, la tarea de aprendizaje, o la proposición potencialmente significativa, consta de una idea compuesta que se expresa verbalmente en una expresión que contiene tanto significados de palabras de carácter denotativo y connotativo como las funciones sintácticas de las palabras y las relaciones entre ellas (Ausubel, 2002, p. 28).

En este tipo de aprendizaje, la tarea, que en este caso es una proposición potencialmente significativa, consta de una idea compuesta que se expresa verbalmente y que tiene tantos significados como conceptos hacen parte de ella; pues tal proposición es precisamente una combinación de conceptos y significados a partir de los cuales es posible elaborar un discurso. Pero es preciso considerar que este tipo de aprendizaje va más allá de la simple asimilación de lo que representan las palabras, combinadas o aisladas, puesto que exige captar el significado de las ideas expresadas en forma de proposiciones. El aprendizaje proposicional implica la combinación y relación de varias palabras cada una de las cuales constituye un referente unitario, luego estas se combinan de tal forma que la idea resultante es más que la simple suma de los significados de las palabras componentes individuales, produciendo un nuevo significado que es asimilado en la estructura cognitiva.

Dentro del aprendizaje de proposiciones, la relación del nuevo contenido con las ideas pertinentes ya establecidas en la estructura cognitiva puede ser de tipo subordinada, de orden superior, o una combinación de los dos. Así, el aprendizaje proposicional puede ser subordinado (subsumidor), de orden superior o combinatorio. El aprendizaje subordinado se produce cuando una proposición “lógicamente” significativa de una disciplina particular, se relaciona significativamente con unas proposiciones específicas de orden superior en la estructura cognitiva del estudiante. Este aprendizaje se puede llamar derivativo si el material de aprendizaje simplemente ejemplifica o apoya una idea que ya existe en la estructura cognitiva; y se llama correlativo si es una extensión, una elaboración, una modificación o una matización de proposiciones previamente aprendidas (Ausubel, 2002, p. 28).

El aprendizaje proposicional de orden superior se produce cuando una proposición nueva se puede enlazar o bien con unas ideas subordinadas específicas de la estructura cognitiva ya existente o bien con un amplio fondo de ideas pertinentes en general de la estructura cognitiva que se pueden subsumir en ella. Y el aprendizaje proposicional combinatorio se refiere a los casos en los que una proposición potencialmente significativa no es enlazable con unas ideas específicas subordinadas o de orden superior en la estructura cognitiva del estudiante pero sí lo es con una combinación de contenidos pertinentes en general, y también menos pertinentes, de esa estructura (Ausubel, 2002, p. 28).

Ausubel (2002, p. 33) considera que el aprendizaje significativo exige un tipo de enseñanza expositiva que reconozca los principios de la diferenciación progresiva y de la reconciliación integradora en los materiales de instrucción. El primer principio reconoce que la mayoría del aprendizaje y toda la retención y la organización de la materia es de naturaleza jerárquica, yendo de arriba hacia abajo en función del nivel de abstracción, generalidad e inclusividad. La reconciliación integradora se facilita en la enseñanza expositiva si el enseñante y/o los materiales de instrucción previenen y neutralizan explícitamente las similitudes y las diferencias confundibles entre las ideas nuevas y las ideas pertinentes y establecidas ya existentes que están presentes en las estructuras cognitivas de los alumnos.

Diferenciación Progresiva y Reconciliación Integradora

El principio de la diferenciación progresiva consiste básicamente en el carácter de inclusividad y generalidad que poseen las ideas, conceptos y significados que se presentan a los alumnos y a partir de los cuales se pueden ir diferenciando significados, estableciendo una especie de jerarquía entre ellos hasta llegar a los más específicos o particulares. En cambio, el principio de reconciliación integradora, consiste en encontrar diferencias y similitudes entre los conceptos y significados presentados al alumno y a partir de éstas establecer relaciones e integrar (por así decirlo) tales conceptos y significados en ideas más generales e inclusivas que puedan establecerse en la estructura cognitiva del alumno.

A diferencia de lo que se podría pensar, Ausubel (2002, p. 32) define el aprendizaje significativo basado en la recepción como un proceso intrínsecamente activo porque como mínimo requiere: 1) el tipo de análisis cognitivo necesario para determinar qué aspectos de la estructura cognitiva ya existente son más pertinentes al nuevo material potencialmente significativo; 2) algún grado de conciliación con ideas ya existentes en la estructura cognitiva; es decir, percibir similitudes y diferencias y resolver contradicciones aparentes o reales, entre conceptos y proposiciones nuevos y ya establecidos; y 3) la reformulación del material de aprendizaje en función del vocabulario y del fondo intelectual idiosincrásico de la persona concreta que aprende. Y lo que precisamente hace que este aprendizaje sea un proceso activo, es el hecho de que su núcleo, su esencia, es el principio de asimilación; el cual consiste en la interacción del nuevo conocimiento con el conocimiento previo originándose una resignificación de los nuevos y antiguos conocimientos y significados,

modificando el conocimiento existente en el sujeto. Tal principio es el mecanismo humano, por excelencia, para adquirir la gran cantidad de información que constituye cualquier cuerpo de conocimiento.

Asimilación

El proceso de asimilación contempla dos etapas consecutivas: el proceso de aprendizaje significativo y la asimilación obliteradora u olvido que consiste en una pérdida espontánea y gradual de la disociabilidad de los nuevos significados de sus ideas de anclaje.

Por asimilación podemos entender el proceso mediante el cual la nueva información (a) interactúa con aspectos relevantes existentes en la estructura cognitiva (A), proceso en el cual se modifica la nueva información adquirida (a') y contribuye a la diferenciación de la estructura cognitiva existente (A'). El proceso de asimilación es pues el resultado de la interacción que se lleva a cabo en el Aprendizaje Significativo entre el nuevo material que se va a aprender y la estructura cognitiva existente (A'a'), permitiendo la asimilación de antiguos y nuevos significados que contribuyen a la diferenciación de esa estructura.

El producto de la interacción A'a' puede modificarse después de un tiempo; por lo tanto la asimilación no es un proceso que concluye después de un aprendizaje significativo sino, que continúa a lo largo del tiempo y durante cierto tiempo son disociables, por lo que pueden ser reproducidos como entidades individuales favoreciendo la retención de a'.

La teoría de la asimilación considera también un proceso posterior de olvido y que consiste en la reducción gradual de los significados con respecto a los subsunores. Olvidar representa así una posterior pérdida espontánea y gradual de la disociabilidad de los nuevos significados, adquiridos mediante esta interacción, de sus ideas de anclaje.

Se puede decir entonces que, inmediatamente después de producirse el aprendizaje significativo como resultado de la interacción A'a', comienza una segunda etapa de asimilación a la que Ausubel llama: asimilación obliteradora (olvido). En esta etapa las nuevas ideas se vuelven espontánea y progresivamente menos disociables de los subsunores (ideas ancla); hasta que no son reproducibles como entidades individuales; esto quiere decir que en determinado momento la interacción A'a', es simplemente indisociable, reduciéndose a (A''). Desde esta perspectiva el olvido es una continuación

del proceso de aprendizaje significativo; esto se debe a que es más fácil retener los conceptos y proposiciones subsunsores, que son más estables que recordar las ideas nuevas que son asimiladas en relación con dichos conceptos y proposiciones.

La asimilación obliteradora, es una consecuencia natural de la asimilación; sin embargo, no significa que el subsunsores vuelva a su forma y estado inicial, sino, que el residuo de la asimilación obliteradora (A'), es el miembro más estable de la interacción ($A'a'$), que es el subsunsores modificado. Este proceso de asimilación puede sintetizarse en la figura 4.1.

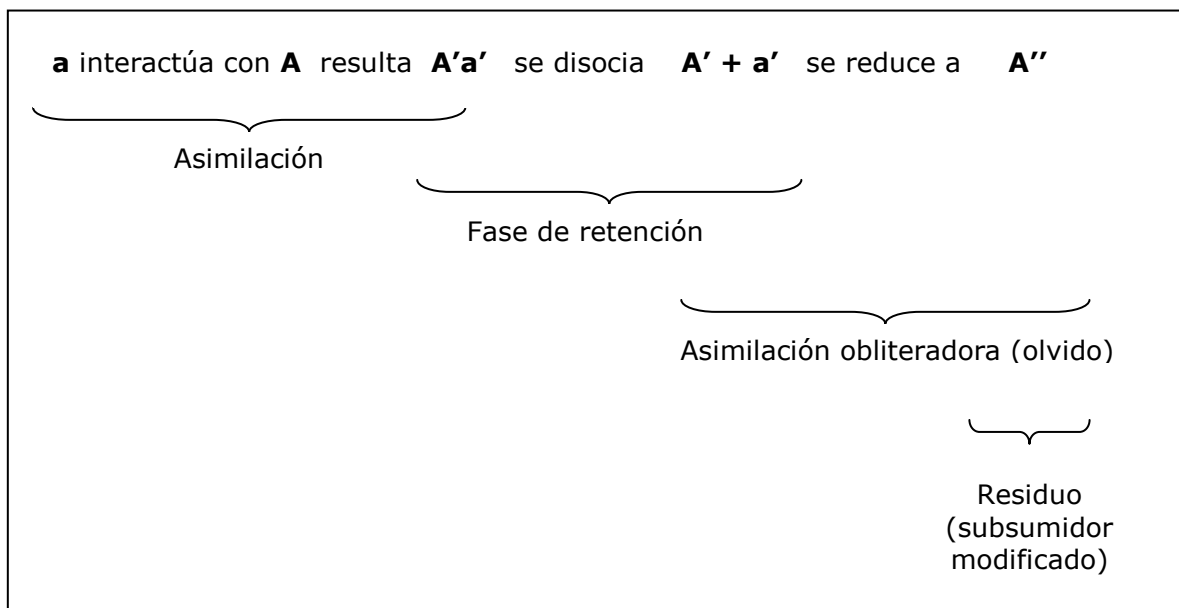


Figura 4.1. Proceso de asimilación.

Los procesos del aprendizaje significativo frente a los procesos del aprendizaje memorista

Ausubel establece una diferencia fundamental entre el aprendizaje significativo y el aprendizaje memorista; y ésta radica en la capacidad de enlace de las nuevas ideas con la estructura cognitiva. En el aprendizaje significativo, el enlace de las nuevas ideas con la estructura cognitiva se da como una interacción a través de la cual las nuevas ideas adquieren significado y se integran en la estructura cognitiva de manera no arbitraria y no literal; mientras que en el aprendizaje memorista, el enlace de las nuevas ideas con la estructura cognitiva se da de manera arbitraria y literal, de tal forma que no produce la adquisición de algún significado; pues el alumno se limita a memorizarlo sin establecer relaciones con sus conocimientos previos; generando así algunas consecuencias para el

aprendizaje como el hecho de que sólo se interioricen tareas de aprendizaje breves y se retengan durante cortos períodos de tiempo; y además, las tareas de aprendizaje son muy vulnerables a la interferencia de materiales similares previamente aprendidos.

Contrario a lo que podría pensarse, Ausubel no concibe la diferencia entre el aprendizaje mecánico y significativo como una dicotomía sino más bien como un continuo. En el caso en que no existan subsunsores o éstos no sean apropiados, el aprendizaje que se da es mecánico; por ejemplo en una etapa inicial de adquisición de conocimientos. Sin embargo, ese aprendizaje puede evolucionar para convertirse en un aprendizaje significativo.

4.1.1 La Teoría del Aprendizaje Significativo en el ámbito de este trabajo

Ante la inminente necesidad de orientar los procesos de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva teórica que posibilite a los profesores conocer los procesos cognitivos que se dan en los estudiantes cuando son enfrentados a una actividad de enseñanza, la Teoría del Aprendizaje Significativo se constituye en un excelente referente pedagógico que proporciona elementos y estrategias para posibilitar que en el aula de clase se den aprendizajes realmente significativos.

De manera muy breve, son presentados algunos de los elementos de la Teoría del Aprendizaje Significativo considerados en el marco de esta investigación:

- La indagación de los conocimientos previos de los estudiantes como base para la orientación y diseño de los diferentes materiales y actividades de enseñanza.
- El diseño del material de aprendizaje (material potencialmente significativo) se realizó atendiendo a los principios de diferenciación progresiva y reconciliación integradora.
- La implementación del diagrama AVM (Adaptación de la V de Gowin a la modelación computacional) como instrumento heurístico potencialmente facilitador del aprendizaje significativo.

- Valoración permanente de la predisposición de los estudiantes para aprender significativamente las nuevas ideas de aprendizaje presentadas a partir del material potencialmente significativo.

4.2 Modelación esquemática de Halloun

Halloun (1996, 2004) define la modelación esquemática como una teoría epistemológica evolucionando, enmarcada en una investigación cognitiva. En ella se admite que los modelos son los mayores componentes del conocimiento de una persona, son sistemas conceptuales proyectados en el contexto de una teoría específica; y la modelación es un proceso cognitivo mayor para la construcción y empleo del conocimiento en el mundo real.

La investigación de Ibrahim Halloun (1996) se centra en el principio de que, en Física, el aprendizaje del estudiante será tanto más significativo cuanto mayor sea su capacidad de modelar. Este autor argumenta que la Física es una ciencia de modelos y la modelación es una actividad sistemática de los físicos para construir y aplicar el conocimiento científico. Desde esta perspectiva, aprender Física supone, entonces, aprender a jugar el “juego de la modelación”.

Halloun (1996, p. 1021) establece tres de los más fundamentales principios para la modelación esquemática:

- “1. Construimos modelos mentales que representan aspectos significativos de nuestro mundo físico y social, y manipulamos elementos de esos modelos cuando pensamos, planeamos e intentamos explicar eventos de ese mundo.
2. Nuestra visión del mundo es causalmente dependiente tanto de cómo es el mundo como de cómo somos nosotros. Deriva de lo anterior un obvio pero importante corolario: “Todo nuestro conocimiento sobre el mundo depende de nuestra habilidad para construir modelos del mismo” (Johnson-Laird *apud* Halloun, 1996).

3. Los modelos mentales son internos a las mentes de las personas; son tácitos y no pueden explorarse directamente. Ellos pueden ser explorados vía modelos conceptuales que son los modelos utilizados por una persona para comunicarse con otras verbalmente, simbólicamente o de forma pictórica (y/o vía *modelos físicos*, definidos como artefactos materiales)”.

De acuerdo con Halloun, cuando los científicos se proponen estudiar un sistema físico, se concentran sobre un número limitado de características que consideran primarias en la estructura y/o comportamiento de estos sistemas; es decir, pertinentes al propósito de su estudio. Ellos construyen un modelo conceptual (por ejemplo, uno matemático) y/o uno físico (un artefacto material). Analizan el modelo así construido y hacen inferencias acerca de los sistemas físicos representados por el modelo. El proceso completo es usualmente gobernado por alguna teoría de la Física.

Los modelos científicos son esquemas en el sentido que, como otros esquemas científicos (conceptos, leyes y otras estructuras conceptuales compartidas por los científicos), son (a) reducidos a un número limitado de características primarias que son casi independientes de las idiosincrasias de científicos individuales y (b) desarrollados y aplicados siguiendo esquemas de modelación genéricos; es decir, planos sistemáticos de interacción con el mundo real que le permita a uno construir y emplear no solo algunos modelos de interés sino todas las clasificaciones de nuevos esquemas.

Desde la perspectiva de este autor, el conocimiento necesario para la comprensión real de un modelo conceptual científico puede ser resumido en cuatro dimensiones: dominio, composición, estructura y organización. La composición y estructura “definen” el modelo. El dominio y la organización sitúan al modelo en la teoría a la cual pertenece.

a) Dominio

El dominio de un modelo consiste de un conjunto de sistemas físicos (llamados los referentes del modelo) los cuales comparten estructuras comunes y/o comportamientos característicos que el modelo puede ayudarnos a describir, explicar y/o predecir en algunos aspectos y a un cierto grado de aproximación y precisión. El modelo podría subsecuentemente permitirnos controlar estos referentes y diseñar unos nuevos.

b) Composición

Cuando se modela una situación física, los científicos tienden a agrupar los objetos involucrados en los sistemas finitos. Cada sistema incluiría una o más entidades físicas que exhiben propiedades de interés específico y que interactúan unas con otras, así como con algunas otras entidades físicas afuera del sistema delineado. Las entidades físicas dentro y fuera del sistema pueden ser representadas en el correspondiente modelo por entidades conceptuales que pertenecen al contenido y al ambiente del modelo, respectivamente, y que son caracterizadas por descriptores apropiados. El contenido y el ambiente junto con el respectivo descriptor de objeto y descriptor de interacción hacen la composición del modelo.

c) Estructura

La estructura de un modelo está constituida por las relaciones existentes entre los descriptores que representan propiedades físicas de los referentes del modelo. Estas relaciones comprenden tres tipos de estructura: geométrica, interactiva y comportamental. La estructura geométrica se refiere a la configuración espacial de objetos y agentes. Tal estructura es a menudo expresada en términos de la posición de objetos individuales y agentes en un marco de referencia dado y/o de relaciones no temporales entre las posiciones relativas de las varias partes de entidades individuales.

La estructura interactiva se refiere a leyes no temporales expresadas en leyes de interacción entre un descriptor de interacción y un descriptor de objeto (por ejemplo, la ley universal de gravitación de Newton). La estructura comportamental se refiere a las relaciones espaciotemporales que describe o explica el comportamiento bajo condiciones específicas de objetos individuales en el contenido de un modelo.

d) Organización

Modelos pertenecientes a la misma teoría pueden ser clasificados en grupos y subgrupos (o familias) de modelos siguiendo criterios convenientes. Cada grupo incluye una familia especial de modelos llamados modelos básicos. Un modelo básico es a menudo un simple pero comprensivo modelo que describe y explica un fenómeno físico elemental.

Los modelos básicos son indispensables para (a) un aprendizaje significativo de conceptos individuales y principios de una teoría científica dada y de reglas de modelación; y (b) el desarrollo de modelos más complejos.

Además de criterios de clasificación, cada teoría contiene leyes y reglas de organización que especifican: a) como los modelos se relacionan dentro de una familia dada unos con otros y esos en otras familias, y consecuentemente, b) como combinar diferentes modelos para estudiar situaciones físicas que están fuera del dominio comprensivo de modelos disponibles.

4.2.1 El proceso de Modelación esquemática

La figura 4.2 muestra el proceso de modelación esquemática propuesto por Halloun (1996, 2004). Dicho proceso puede ser sistemáticamente aplicado en el contexto de una teoría conveniente para la construcción de nuevos modelos, refinándolos y empleándolos en situaciones específicas (situaciones del mundo real, experimentos de laboratorio o problemas de libros de texto). (Hestenes *apud* Halloun, 1996).

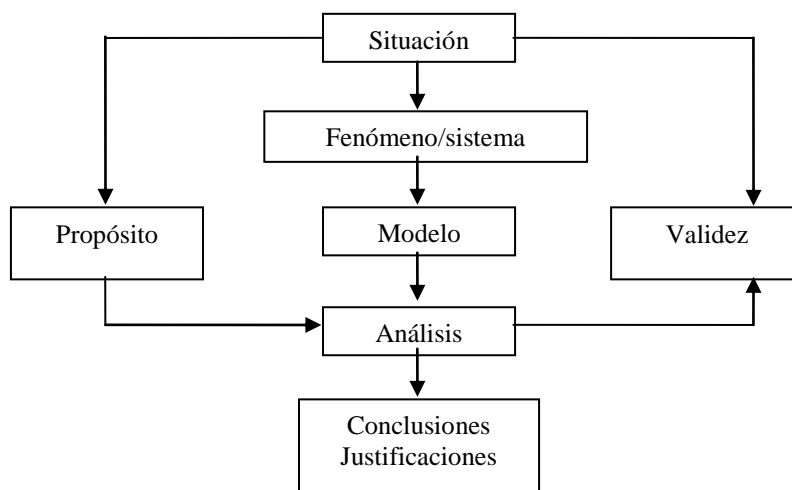


Figura 4.2. Representación esquemática del proceso de Modelación (Hestenes *apud* Halloun, 1996).

El primer paso en el proceso de modelación esquemática consiste en identificar y describir la composición de cada sistema físico en la situación y el respectivo fenómeno. Paralelamente se debe identificar también el propósito y la validez de los resultados esperados (incluyendo la precisión de los resultados). Siguiendo estos pasos importantes

para escoger la teoría apropiada en el contexto que el modelo debe seguir, un modelo apropiado es seleccionado y construido. El modelo es entonces procesado y analizado, mientras está siendo continuamente validado. A partir de este análisis, las conclusiones apropiadas son inferidas sobre el sistema en cuestión y los resultados son justificados en función del propósito de la modelación y de la validez requerida.

Halloun presenta la modelación esquemática como una estructura epistemológica para la instrucción en Física. En la idea de “instrucción adecuada” entra la modelación esquemática, o proceso de modelación cuyos cinco estadios son:

- *Selección del modelo:* (identificación y descripción de la composición de cada sistema físico de la situación física y del respectivo fenómeno);
- *Construcción del modelo:* el modelador procura construir modelos (conceptual o físico; en el caso de la resolución de problemas, los estudiantes son guiados en la construcción de un modelo conceptual matemático);
- *Validación del modelo:* este estadio puede ser simultáneo con la construcción del modelo considerando esencialmente la consistencia interna del modelo.
- *Análisis del modelo:* una vez que el modelo ha sido validado, un análisis puede ser hecho en el sentido de verificar si todos los propósitos están siendo contemplados en el modelo que está siendo construido. En el caso de la resolución de problemas, consiste principalmente en ejecutar el modelo matemático, obtener respuestas a los problemas e interpretarlas.
- *Expansión del modelo:* una vez que un modelo fue analizado y completamente validado, algunas implicaciones pueden ser inferidas en relación al propósito original y a otros propósitos de validación. Esto ayuda al modelador a desarrollar sus habilidades de transferencia. Una expansión de modelos incluye:
 - Uso de un modelo dado para describir, explicar y/o predecir nuevas situaciones físicas pertenecientes al sistema en estudio.

- Inferir implicaciones para otros sistemas físicos de referencia del modelo.
- Extrapolar el modelo para una construcción de otros nuevos modelos.

Una expansión de modelos también incluye actividades reflexivas, donde el modelador examina y refina su conocimiento en términos de la nueva experiencia de modelación.

4.2.2 La modelación esquemática de Halloun en el ámbito de este trabajo

La modelación esquemática de Halloun (1996, 2004), a partir de sus cinco estadios (selección, construcción, validación, análisis y expansión del modelo) se constituye en un referente fundamental para el diseño e implementación de actividades de modelación computacional en la enseñanza de la Física. Y fue precisamente éste, uno de los principales referentes metodológicos que inspiró la construcción del diagrama AVM como un instrumento heurístico para las actividades de modelación y simulación computacional aplicadas a la enseñanza de la Física (Araujo, Veit y Moreira, 2011).

En lo que sigue son expuestas de manera sucinta algunas de las principales razones que motivaron la elección de la modelación esquemática de Halloun como referente para esta investigación:

- La modelación esquemática es altamente pertinente para trabajar en el campo de la mecánica; permitiendo la estructuración y organización del conocimiento que se tiene acerca de ésta como campo de estudio.
- Como estrategia instruccional, la modelación esquemática se refiere principalmente a modelos conceptuales que el alumno externaliza.
- Uno de los principales principios de este referencial de trabajo es el hecho de considerar que, en Física, el aprendizaje será tanto más significativo cuanto mayor sea la capacidad de modelar.

- Halloun considera que los modelos son componentes principales del conocimiento de cualquier persona y que la modelación es un proceso cognitivo básico para construir y usar el conocimiento en el mundo real.
- Por la conveniencia de este referencial para el diseño de las actividades de modelación a partir de los cinco estadios (selección, construcción, validación, análisis y expansión).
- Por considerar el dominio, la composición, la estructura y la organización, como elementos esenciales de un modelo conceptual entendido como representación de un sistema físico de la mecánica.

4.3 Modelación computacional con diagrama AVM

Antes de abordar específicamente la modelación computacional como eje fundamental de este trabajo, es necesario establecer una diferencia importante entre lo que se entiende por modelación y simulación computacional, expresiones utilizadas en muchas ocasiones como sinónimos.

Lawrence (2006, p. 93) indica que existen diferentes tipos de actividades que pueden ser implementadas con el uso de herramientas computacionales, haciendo una escueta clasificación de acuerdo a su uso, en actividades de animación, simulación y modelación. Desde su perspectiva, la animación permite la observación de una secuencia predeterminada posibilitando (por decirlo de alguna manera), el sentir de los pensamientos de otros. Las simulaciones permiten al usuario hacer modificaciones en la entrada de valores y observar cómo varían los resultados, consiguiendo con esto una comprensión funcional de los pensamientos de otros; y por último, este autor concibe la modelación como una actividad que permite el cambio de reglas y de entrada de valores, observando la variación en los resultados obtenidos y permitiendo hacer una lectura de los pensamientos de otros y dándole la posibilidad de hacer modificaciones para expresar su propio pensamiento.

Lawrence (2006), considera que es justamente la habilidad para alterar las reglas lo que se entiende como modelación, siendo esta condición la que la hace diferente de actividades como la animación o simulación.

En este mismo sentido, Rogers (2006, p. 101) hace alusión a la modelación y simulación computacional, estableciendo una comparación entre los *software* utilizados para cada uno de estos propósitos; y aunque considera que ambos pueden ser usados para facilitar la investigación, la exploración de relaciones entre variables y la verificación de hipótesis; afirma que existe una obvia distinción en el diseño de la interface del usuario, ya que el *software* de modelación es usualmente de un diseño genérico, simbólico (por ejemplo: los *software Stella, Excel y Modellus*) mientras que las simulaciones usualmente ofrecen una interface gráfica personalizada a las necesidades del tema bajo consideración. Otra diferencia significativa que establece el autor, es que aunque cada simulación emplea un modelo matemático como una “máquina” para realizar cálculos, el modelo usualmente no es explícito o accesible al usuario. En contraste con esto, el *software* de modelación permite el acceso a todas las definiciones matemáticas en el modelo a ser analizado y, si se desea editado y modificado.

Una diferenciación mucho más elaborada entre modelación y simulación computacional es aportada por Araujo, Veit y Moreira (2007, p. 504), quienes 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 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.

Araujo, Veit y Moreira (2007) siguiendo la propuesta de Bliss y Ogborn (1989), hacen alusión a dos modos básicos de usar las actividades computacionales: el modo exploratorio y el modo expresivo; considerando que las actividades exploratorias son caracterizadas por

la observación, análisis e interacción del sujeto con modelos computacionales ya construidos en el intento de permitir al alumno la percepción y la comprensión de las eventuales relaciones entre la matemática subyacente al modelo y el fenómeno físico en cuestión. En este tipo de actividad, el alumno es motivado a interactuar con el modelo computacional a fin de responder cuestiones presentadas en forma de preguntas dirigidas y “desafíos”. Esta interacción es hecha a través de modificaciones en los valores iniciales y parámetros del modelo pudiendo ser utilizados recursos como “barras de desplazamiento” y “botones” para facilitar las modificaciones de los mismos. En el caso de la actividad exploratoria de modelación computacional el alumno tiene acceso a la estructura básica del modelo implementado, pudiendo modificarlo si desea.

Otro modo posible de trabajar con modelación computacional aplicada a la enseñanza, es el llamado modo expresivo. Las actividades desarrolladas en este modo pueden ser caracterizadas por el proceso de construcción del modelo desde su estructura matemática hasta el análisis de los resultados generados por él. En este tipo de actividad son presentadas cuestiones que proponen la elaboración de modelos a partir de determinados fenómenos de interés, sobre los cuales pueden ser aportadas tanto informaciones cualitativas como cuantitativas sobre el sistema. El alumno puede interactuar totalmente con su modelo, pudiendo reconstruirlo tantas veces como le parezca necesario para la producción de resultados que le sean satisfactorios (Araujo, Veit y Moreira, 2007, p. 504, 505).

Sin duda alguna la modelación computacional se ha convertido en una gran herramienta para la enseñanza de las ciencias, particularmente en las ciencias experimentales; 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; y además nos permite construir una idea, representación, imagen o modelo mental a partir de imágenes externas; necesarias para la comprensión del mundo físico.

En este sentido, Veit y Teodoro (2002) consideran que la introducción de la modelación computacional en el proceso de enseñanza-aprendizaje tiende a desmitificar la imagen que tienen los estudiantes de la Física, posibilitando una mejor comprensión de su contenido y contribuyendo para el desarrollo cognitivo en general; pues la modelación facilita la

construcción de relaciones y significados, favoreciendo el aprendizaje constructivista y la posibilidad de construir múltiples representaciones de una misma situación.

Lo anterior sugiere que, la incorporación de actividades de modelación computacional en el aula de clase debe ser guiada por referentes teóricos, epistemológicos y metodológicos, que brinden las pautas necesarias para la construcción y análisis de modelos; aportando estrategias que orienten dicha actividad y permitan a los estudiantes comprender el proceso de construcción de conocimiento.

Con la intención de alcanzar tal propósito, se plantea el uso del diagrama AVM (Adaptación de la V de Gowin a la Modelación Computacional) 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, p. 506) tiene como objetivo primordial fomentar la reflexión crítica, por parte de los alumnos, sobre los modelos físicos abordados, contribuyendo así a un aprendizaje significativo.

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 figura 4.3 muestra cada uno de los componentes de la versión original del diagrama AVM (dAVM), que orientó el estudio II de esta tesis. En el centro del diagrama aparece el fenómeno de interés que se desea abordar y las preguntas foco que orientan el análisis y/o construcción del modelo computacional. En el vértice del diagrama AVM está la situación problema, que es una descripción de la situación/evento que permite dar respuesta a las preguntas foco y contextualiza el fenómeno de interés.

En el lado izquierdo del diagrama AVM se concentran los aspectos teóricos del modelo computacional. Aparece la filosofía o sistema de creencias subyacente al proceso de

modelación de la situación problema; las teorías, principios, teoremas y leyes que guían la elaboración del modelo; los referentes (objetos/fenómenos reales o supuestos como tal) que se quieren modelar; las idealizaciones y aproximaciones asumidas, que determinan el contexto de validez del modelo; las variables y parámetros usados para representar estados y propiedades de los referentes del modelo; las relaciones matemáticas o proposicionales; los resultados conocidos usados para una validación inicial del modelo, que pueden ser extraídos de las teorías, principios, teoremas y leyes adoptados en la construcción del modelo científico que se quiere representar en el computador y que también dependerá del conocimiento previo del modelador sobre el sistema representado. Por último, se tienen las predicciones del sujeto en la tentativa inicial de responder a las preguntas foco, teniendo en cuenta aquello que él sabe, antes de construir/ejecutar el modelo computacional. Si el sujeto es un aprendiz del contenido, muchas veces estas predicciones no estarán correctas.

El lado derecho del diagrama AVM, corresponde al dominio metodológico, concentrándose en los aspectos pertinentes a la búsqueda de respuestas: los datos colectados para intentar responder a las preguntas foco; los elementos interactivos, relacionados con las posibilidades de alteración de los parámetros y variables durante el tiempo de ejecución del modelo computacional; las representaciones gráficas y/o sonoras aportadas por el modelo computacional (gráficos, tablas, secuencia de tonos, etc), hechas a partir de transformaciones de los datos colectados; y la categorización de la modelación conforme a la siguiente clasificación, en cuanto:

- a) al modo: (expresivo: cuando el modelo computacional es construido por el sujeto; o exploratorio: cuando el sujeto apenas lo explora);
- b) al tipo: (cualitativa: relacionada con la modelación de construcciones lingüísticas y producciones textuales; semicuantitativa: relacionada con el uso de diagramas causales, con ninguna o pocas relaciones matemáticas explícitas al usuario; cuantitativa: vinculada principalmente a las relaciones matemáticas, involucrando valores numéricos y relaciones del tipo desigualdades y ecuaciones);
- c) a la implementación: en el modo expresivo, una descripción de la forma en que el modelo fue implementado en el computador (a través de metáforas, lenguaje de programación, inserción de

ecuaciones semejantes a la forma manuscrita, etc) y de la herramienta utilizada (*PowerSim, Fortran, Modellus, etc*). En el modo exploratorio, una indicación si es una simulación autónoma, o requiere ser ejecutada dentro de un programa. Siempre que sea posible debe ser indicada la herramienta computacional usada para construir la simulación.

También en el lado derecho del diagrama AVM, se tiene la etapa de validación del modelo, donde son comparados los resultados conocidos para valores límites de algunos de los parámetros o variables (o aún para situaciones-problema más simples) con los resultados generados por el modelo computacional. En caso de que haya discordancia entre ambos, el modelo es considerado insatisfactorio y deberá ser modificado hasta que pase a reproducir los resultados conocidos. En este estadio se dice que el modelo está validado. Entonces se pasa a buscar las respuestas a las preguntas foco, de modo que éstas sean interpretaciones razonables de los datos colectados y de las representaciones aportadas por el modelo, permitiendo también la valoración de las predicciones. Por último, se tienen las posibles generalizaciones y expansiones de modelo, que son las generalizaciones sobre la aplicabilidad de la estructura del modelo y cómo expandirlo de modo que incluya variables y relaciones no consideradas inicialmente (modificación en los presupuestos teóricos y principios), ampliando su contexto de validez.

Es importante resaltar que hay una permanente interacción entre los dos lados del diagrama AVM, de modo que todo lo que es hecho en el lado metodológico, esté guiado por los componentes del lado teórico o conceptual, en la tentativa de construir/analizar el modelo y responder las preguntas foco.

En un trabajo posterior (Araujo, Veit y Moreira, 2011), presentan lo que ellos denominan una versión actualizada del diagrama AVM, diseñada a partir de algunas modificaciones en la versión original con la intención de mejorar y aclarar ciertos aspectos relacionados con el uso de este diagrama.

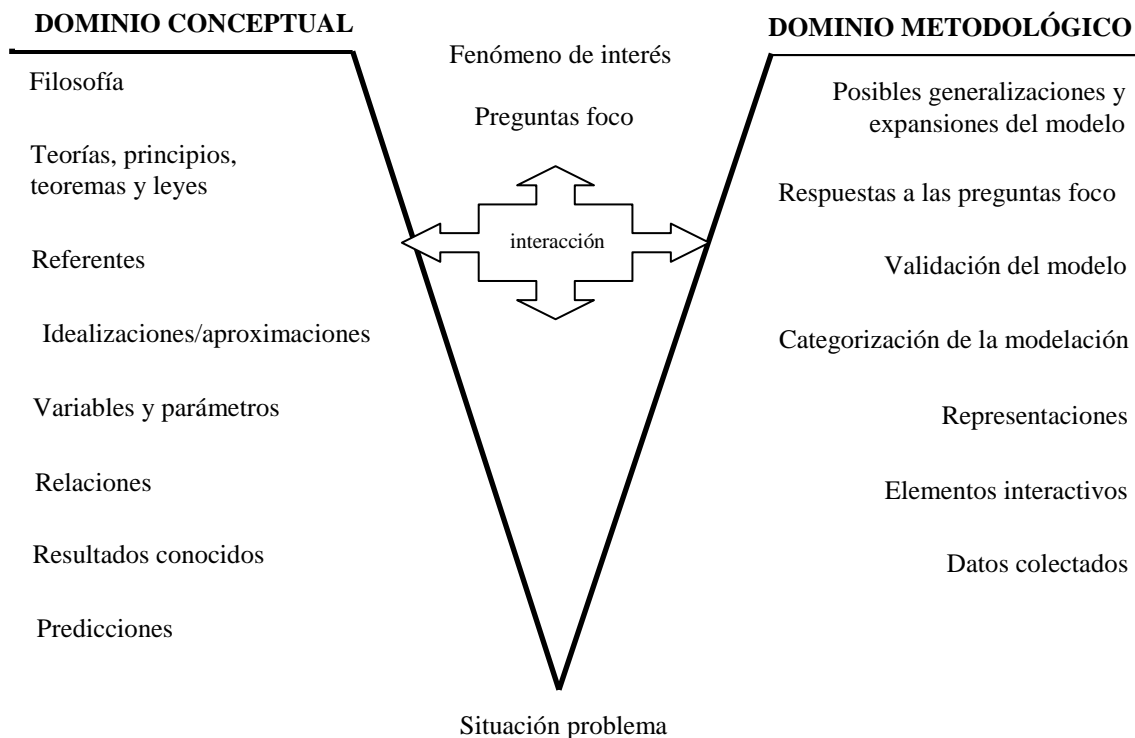


Figura 4.3. Formulación original del Diagrama AVM (Araujo, 2005).

Esta versión actualizada del diagrama AVM es implementada en el estudio III que integra esta tesis; y está constituida por tres partes interdependientes (como se muestra en la figura 4.4): I) propósito del modelo computacional (parte central de la V); II) el dominio conceptual (lado izquierdo de la V); y III) el dominio metodológico (lado derecho de la V). A continuación se presentan cada uno de los elementos que componen cada parte del diagrama AVM.

I) Propósito del modelo computacional

El propósito del modelo computacional está constituido por tres campos o elementos fundamentales: objetivo general, situación foco y preguntas foco.

La situación de enfoque o situación foco hace referencia a aquello que suponemos como hechos reales y que elegimos como objeto de estudio. La situación foco es una situación específica que, en cierta forma, contextualiza lo que fue definido como objetivo general representacional de la actividad de modelación abordada.

El objetivo general se asocia al objetivo cognoscitivo pretendido con la construcción y/o exploración del modelo computacional; y puede estar relacionado directamente con una determinada situación real, o con uno o más conjuntos de situaciones reales posibles de ser representadas por un modelo teórico que se quiera estudiar.

El tercer y último elemento del diagrama AVM referido al propósito del modelo computacional se refiere a la formulación de las preguntas foco a ser respondidas a partir de la construcción o exploración del modelo computacional. El planteamiento de estas preguntas y la búsqueda de sus respuestas por parte del alumno, es una actividad fundamental para promover aprendizajes significativos. En este punto podría decirse que la efectividad de la actividad de modelación computacional, dependerá directamente de la calidad de las preguntas formuladas.

La flecha vertical en el centro del diagrama AVM pretende resaltar la interacción necesaria entre los tres elementos constituyentes del propósito del modelo computacional; donde la formulación de las preguntas foco, se hace a la luz de la situación foco, o viceversa (de forma coherente con el objetivo general establecido).

II) Dominio Conceptual

El dominio conceptual que subyace al modelo computacional, está constituido por siete campos o componentes: teorías, principios, conceptos y leyes; referentes reales; idealizaciones y aproximaciones; variables, parámetros, constantes y sus representaciones; relaciones matemáticas y/o proposicionales; resultados conocidos; y predicciones.

El campo de los referentes reales permite explicitar, dentro de un abordaje sistémico, los objetos de estudio de la representación de los modelos teóricos; es decir, cuáles son los objetos y eventos reales que componen los sistemas físicos y definen sus interacciones con el entorno. Esas interacciones pueden ser discriminadas a partir de la definición de agentes externos que interactúan con el sistema.

Las idealizaciones hacen referencia a las esquematizaciones o simplificaciones que explicitan los elementos que se consideran importantes para ser representados, de acuerdo con los objetivos de la representación; así como aquellos que dentro del ámbito de la

representación podrían ser relevantes, pero que por alguna razón (por ejemplo, disminución de complejidad) no están siendo considerados. Una aproximación por su parte, puede ser pensada como una simplificación, usualmente matemática, hecha sobre un modelo teórico para facilitar la resolución matemática de problemas o para viabilizar la producción de una descripción teórica (no exacta) más manejable y lo suficientemente cercana de una solución más amplia.

En el diagrama AVM, las variables, constantes, parámetros y sus representaciones tienen como propósito explicitar las cantidades matemáticas que representan las magnitudes físicas en el modelo teórico, especificando también los símbolos que las representan y las unidades físicas adoptadas. Las variables, constantes, parámetros son propiedades que se atribuyen a los objetos y eventos reales y que representan algunos de sus rasgos característicos considerados como relevantes. Usualmente estas propiedades son cuantificables (magnitudes físicas); es decir, que pueden ser expresadas mediante un valor numérico acompañado de sus unidades. Puede hacerse una distinción entre las magnitudes físicas en términos de constantes, variables y parámetros.

Una constante física puede definirse como una magnitud invariable, independiente de una situación física en particular (constante gravitacional, constante de Planck, velocidad de la luz en el vacío, entre otras). Mientras que una variable sería una magnitud física que puede tener su valor numérico alterado, existiendo variables independientes y dependientes. Las variables independientes son aquellas que pueden variar libremente, sin estar subordinadas a las alteraciones en los valores de otras variables (por ejemplo, el tiempo, en contextos no relativísticos). Y las variables dependientes son aquellas que tienen sus valores directamente ligados a los valores asumidos por las variables independientes y por los parámetros. Tal distinción es contextual y está asociada con los modelos teóricos y con la forma en que están expresados matemáticamente.

Un parámetro, por su lado, es un tipo especial de variable que dentro de un contexto específico asume un valor constante (por ejemplo, la aceleración de un cuerpo en caída libre). Sin embargo, en sistemas físicos reales, las propiedades asociadas a los parámetros del modelo no son estrictamente constantes.

Otro campo referente al dominio conceptual, son las relaciones matemáticas y/o

proposicionales, que pretenden informar cuáles son las expresiones matemáticas y/o relaciones de causa y efecto que vinculan las variables y parámetros del modelo teórico representado computacionalmente.

Las teorías, principios, conceptos y leyes, se constituyen en un campo del diagrama AVM que discute aspectos jerárquicamente superiores a los dos últimos campos descritos. Los principios (postulados o axiomas) son supuestos iniciales en una teoría o argumento, que no están sujetos a prueba, pero se justifican por sus consecuencias. Los teoremas son consecuencias lógicas de los principios asumidos, son las proposiciones demostrables de una teoría.

Los resultados conocidos se constituyen en otro campo del dominio conceptual del diagrama AVM; y consisten en explicitar los resultados que se pretende sean reproducidos por el modelo. Este campo está íntimamente relacionado con el campo de la validación del modelo computacional, correspondiente al dominio metodológico del diagrama AVM. La validación inicial de modelo computacional estará asociada directamente a los resultados previstos por su modelo teórico subyacente e indirectamente con los resultados empíricos objeto de ese modelo teórico.

Y para terminar de describir el dominio conceptual del diagrama AVM, nos referimos al campo de las predicciones, el cual debe ser descrito por los estudiantes antes de hacer uso del modelo computacional y de dar las respuestas a las preguntas foco. Este campo del diagrama AVM tiene como propósito predecir cuáles serán las respuestas obtenidas para las preguntas foco, previa interacción con el modelo computacional. De este modo, se incrementa la reflexión necesaria para explicar en un momento subsecuente, posibles discrepancias entre lo previsto y lo aportado por el modelo.

III) Dominio metodológico

El dominio metodológico está compuesto por: los registros, las formas de presentación de los registros, los elementos interactivos, la categorización de la actividad computacional, la validación del modelo, las respuestas a las preguntas foco; y las posibles generalizaciones y expansiones del modelo.

Son indicados aquellos registros que se llevan a cabo en el intento de dar respuesta a las preguntas foco, teniendo en cuenta las variables y los parámetros utilizados para representar las propiedades de los sistemas físicos modelados, los resultados conocidos y las predicciones formuladas. Los resultados proporcionados por el modelo computacional constituyen el campo de los registros en el diagrama AVM.

Otro de los campos que componen el dominio metodológico, se denomina como la forma de presentación de los registros, estableciendo una organización en el registro de los valores asumidos por las variables y parámetros del modelo; que se hace necesaria para favorecer la comprensión de los resultados, la visualización de patrones y tendencias; y por supuesto, para conseguir dar respuesta a las preguntas foco planteadas. Es necesario resaltar formas de presentación de los registros como tablas, gráficas, animaciones, entre otras; que hacen parte del modelo computacional y que serán relevantes en las actividades realizadas.

Las posibilidades de interacción del estudiante con el modelo computacional, determinan otro de los campos en el diagrama AVM, denominado elementos interactivos; y constituido por aquellos elementos que están asociados al ajuste/inserción de valores para variables, parámetros y constantes, cuya manipulación ayuda a responder las cuestiones foco. Algunos de estos elementos interactivos que pueden distinguirse en las simulaciones computacionales son: barras de desplazamiento, botones deslizadores, espacios para la inserción de valores y botones de control de ejecución.

Con el propósito de facilitar la posterior lectura de los diagrama AVM producidos por los estudiantes, los autores incluyen un campo denominado categorización de la actividad computacional, que tiene como objetivo esclarecer el tipo de actividad (simulación o modelación), el modo en que ella es realizada (exploratorio o expresivo) y también la forma de implementación/interacción con el modelo (por ejemplo, metáfora de Forrester, ecuaciones manuscritas, ecuaciones definidas en lenguaje de programación, entre otras) acompañada en la medida de lo posible, del nombre de la herramienta computacional utilizada (por ejemplo, *Modellus*, *Stella*, *Powersim*, *Physlets*, *applets*, *Starlogo*, etc.).

Uno de los elementos fundamentales del diagrama AVM es el campo referido a la validación del modelo; pues de alguna manera, éste garantiza la confiabilidad de las

respuestas obtenidas con el modelo computacional, antes de ser usado para responder las preguntas foco. La valoración de la coherencia interna, se obtiene al comparar los resultados generados por el modelo computacional con los resultados conocidos, previamente definidos en el dominio conceptual, para casos particulares del modelo teórico, que por su vez, deberán estar de acuerdo con los resultados experimentales asociados a la situación en estudio dentro de cierto grado de precisión, definido por los objetivos de la modelación. Después de garantizar que el modelo computacional reproduce el modelo teórico de forma apropiada es que podemos considerar el primero como una forma materializada del segundo y valorar su coherencia externa; es decir, con qué grado de precisión el modelo computacional (teórico) representa al sistema físico (real) de referencia.

Después de validar el modelo, se hace una exploración de éste con el propósito de responder las preguntas foco, teniendo como punto de partida las predicciones realizadas en el dominio conceptual -campo fundamental del diagrama AVM-.

El último campo del diagrama AVM relativo al dominio metodológico, se refiere a las posibles generalizaciones y expansiones del modelo computacional; y con éste se pretende:

- Favorecer la percepción sobre las posibilidades de uso del mismo modelo matemático, subyacente al modelo teórico implementado computacionalmente, para representar otros sistemas físicos.
- Aumentar la complejidad del modelo teórico para que este pueda representar otros aspectos no tenidos en cuenta en su construcción, considerando la inclusión/modificación de idealizaciones, aproximaciones, variables, parámetros, constantes y relaciones matemáticas; ampliando su contexto de validez.
- Indicar que modificaciones podrían ser hechas en el modelo computacional para aumentar las posibilidades de representación gráfica (o sonora) de los datos y también de interacción con el usuario para ayudarlo a alcanzar el objetivo general de la actividad.

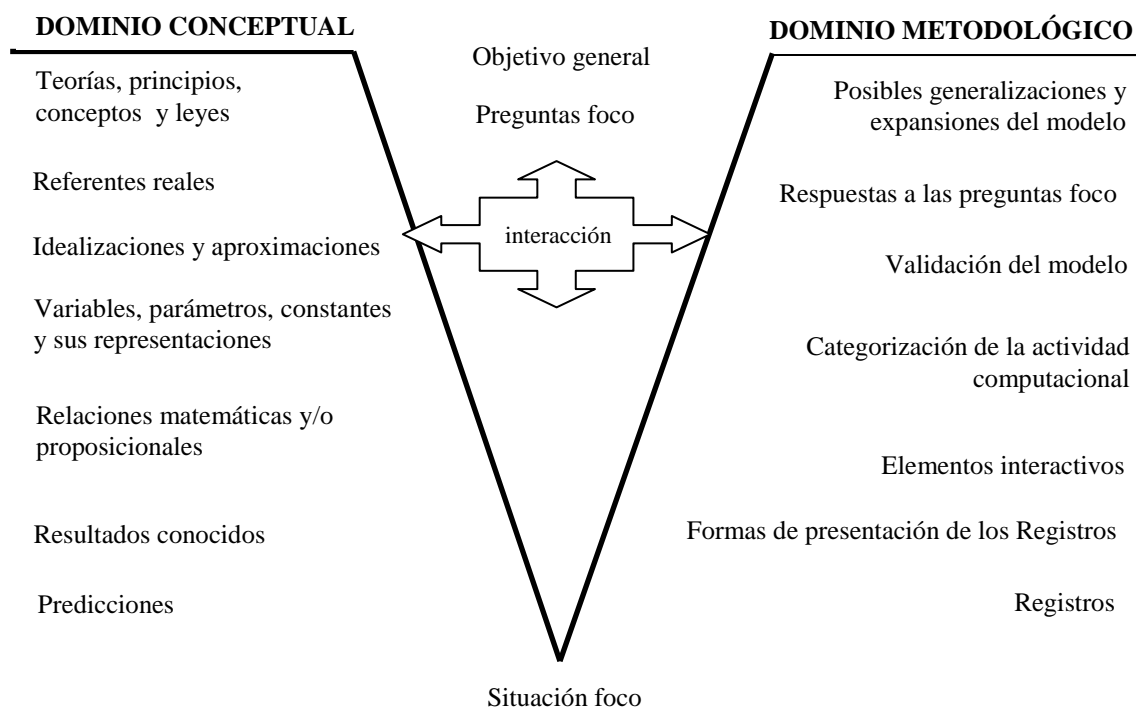


Figura 4.4. Versión actualizada del diagrama AVM (Araujo, Veit y Moreira, 2011)

Las diferencias sustanciales que presenta la versión actualizada del diagrama AVM en relación con la versión original, por lo menos en lo que concierne a su estructura, son:

- En la versión actualizada se define claramente el propósito del modelo computacional, constituido por los campos: objetivo general, situación foco y preguntas foco. Donde el campo del objetivo general desplaza el campo fenómeno de interés (de la versión original); relacionándose más con el objetivo cognoscitivo que se pretende alcanzar a partir de la construcción y/o exploración del modelo computacional.
- En la versión actualizada se suprime el campo relativo a la filosofía.
- El campo referentes de la versión original, es denominado en esta nueva versión, referentes reales; los cuales son considerados como los referentes indirectos del modelo computacional y se refieren a los objetos o eventos reales, o supuestos como tales.

- Al campo de variables y parámetros de la versión original, es agregado el concepto de constantes, así como la explicitación de sus respectivas representaciones.
- En el campo de las relaciones en la versión actualizada del diagrama AVM, se explicita que éstas son de carácter matemático y/o proposicional.
- En la versión actualizada, el campo de los datos colectados es denominado registros, siendo éstos los resultados aportados por el modelo computacional.
- El campo referente a las representaciones en la versión original, fue reemplazado por las forma de presentación de los registros, conservando el mismo propósito.

Las versiones original y actualizada del diagrama AVM -definiendo cada uno de sus elementos- son presentadas en los anexos B y C respectivamente.

Para la implementación del diagrama AVM en actividades de modelación computacional para el aprendizaje de contenidos específicos, 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 de la V 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 de la V 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.

4.3.1 La modelación computacional con diagrama AVM en el ámbito de este trabajo

Es innegable que los recursos computacionales desempeñan hoy un papel fundamental en la enseñanza de la Física; de manera particular, la implementación de actividades de modelación y simulación computacional son cada vez más exploradas por el gran potencial didáctico que poseen. Sin embargo, el uso de estas estrategias de enseñanza en el aula de clase, por sí solas, difícilmente propicia en los estudiantes aprendizajes significativos.

Lo anterior sugiere que la incorporación de la simulación y modelación computacional en actividades de enseñanza, debe estar orientada por el uso de herramientas teórico-metodológicas que incrementen su gran potencial; posibilitando un uso crítico de los modelos computacionales, que propicie el aprendizaje de conceptos científicos, pero que además, ayude a los estudiantes a comprender los elementos que forman parte del proceso de modelación, mediante el reconocimiento y comprensión de los componentes de un modelo científico, que es diseñado en el computador.

En este sentido, consideramos que el uso del diagrama AVM en el proceso de interacción y/o construcción de un modelo computacional, contribuye no solo al aprendizaje de conceptos físicos, sino que favorece una actitud crítica en el estudiante en relación con el proceso de construcción de conocimiento. Pues dicho diagrama sintetiza los principales aspectos que se consideran relevantes en el trabajo con simulación y modelación computacional en el contexto de la Física, posibilitando la reflexión a través de la descripción adecuada de cada uno de sus campos y de la percepción de las interacciones teórico-metodológicas que se hacen presentes en la elaboración y uso de modelos computacionales.

En relación con el uso del diagrama AVM para actividades de modelación y simulación computacional, sus creadores afirman: “nuestra propuesta fue desarrollada partiendo del presupuesto de que actividades de simulación y modelación computacional aplicadas a la enseñanza de la Física, necesitan ser realizadas de forma crítica y reflexiva” (Araujo, Veit y Moreira, 2011).

En el ámbito de este trabajo, las actividades de modelación computacional implementadas son del modo exploratorio dirigido y abierto; y del modo expresivo abierto; en los términos planteados por Araujo, Veit y Moreira (2006, 2011).

4.4 La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico

Podría decirse que la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel subyace a la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira -referente teórico fundamental para el desarrollo de este trabajo-, 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. Y una manera apropiada de facilitar esta segunda condición podría ser la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) propuesta por Moreira (2005). Pues este referente teórico a partir de sus principios facilitadores, aporta las condiciones para que el estudiante construya su conocimiento desde una perspectiva crítica y reflexiva.

Moreira (2005) formula la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, basándose en las ideas de Postman y Weingartner (1969) expuestas en su libro *La enseñanza como una actividad subversiva*; considerando 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, ideas o estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo crítico, susceptibles de ser implementadas en el aula de clase. Dichos principios, así como la viabilidad de atenderlos en el marco de esta investigación, son descritos brevemente:

1. Principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas:

Sin duda alguna, la tarea que tenemos como docentes es la de enseñar a preguntar en vez de pretender aportar a nuestros estudiantes siempre respuestas. El hecho de permitirle a éstos 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. Este principio se pondrá de relieve permanentemente al posibilitar al estudiante la interacción con actividades de modelación computacional (del modo exploratorio abierto y expresivo abierto) haciendo uso del diagrama AVM, donde es el estudiante quien formula las preguntas foco que posibilitan el análisis del modelo computacional que está siendo construido y explorado.

2. Principio 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, es un gran reto; pues éste sigue siendo visto por un gran número de estudiantes y profesores como una fuente segura de información, que contiene el conocimiento como verdad única y acabada. Contrariamente a esta idea, 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.

Este principio del aprendizaje significativo crítico es particularmente compatible con la propuesta didáctica que aquí se presenta, cuando se hace alusión a los modelos

computacionales y al diagrama AVM como parte de los materiales educativos que pueden ser fácilmente implementados en el aula de clase para propiciar procesos de aprendizaje.

3. Principio 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 que le rodea. En el caso concreto de las actividades de modelación computacional, el estudiante, a partir de sus percepciones, construye modelos como representaciones simplificadas e idealizadas de un sistema o fenómeno físico que le permiten comprender y explicar mejor el mundo.

4. Principio 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. En estos términos, aprender el campo de la modelación científica, es entrar a dominar un conjunto de términos y conceptos tales como: idealizaciones, aproximaciones, variables, parámetros, referentes, dominio de validez, expansión, generalización, entre otros; necesarios para la comprensión de la construcción de conocimiento a partir de modelos.

5. Principio de la conciencia semántica

Este principio del aprendizaje significativo crítico hace alusión a que 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. Asimismo, el modelo es concebido como un elemento que se construye para representar la realidad, pero no es la realidad en sí misma.

6. Principio 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. Y así como la ciencia es falible, es preciso entender que los modelos como elementos constitutivos del conocimiento científico, son siempre representaciones parciales de la realidad, susceptibles de ser permanentemente mejorados y perfeccionados. Específicamente, en el ámbito de la modelación computacional; incluso un modelo considerado apropiado para la descripción de un determinado evento/fenómeno físico, puede estar sujeto a errores en la implementación computacional por parte del aprendiz.

7. Principio del desaprendizaje

Para aprender significativamente es necesario que se dé un anclaje entre el nuevo conocimiento y el conocimiento previo (subsumidor); siempre y cuando éste sea claro, diferenciado y pertinente. En caso contrario, es necesario no usar (desaprender) aquellos subsumidores que nos impiden captar los significados del nuevo conocimiento. 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. Algunas ideas fuertemente arraigadas que se convierten en obstáculos epistemológicos a la hora de incursionar en el campo de la modelación científica y que es necesario desaprender, son por ejemplo: los modelos como copias exactas de la realidad, la existencia de un único modelo para representar un sistema o fenómeno determinado, entre otras.

8. Principio de incertidumbre del conocimiento

Este principio asume las preguntas como instrumentos de percepción y las definiciones y metáforas como instrumentos para pensar. De alguna manera podría decirse que éste principio resume los principios anteriores, donde 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.

A partir de la formulación de preguntas y de la construcción de modelos como representaciones del mundo, es posible acercarse al proceso de construcción de conocimiento científico y concebirlo como una construcción humana en permanente evolución.

9. Principio 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. Y así como se hizo alusión en el principio 2 a la diversidad de materiales educativos, es preciso hacer énfasis aquí en la necesidad de utilizar diversas estrategias instruccionales o didácticas que posibiliten la participación activa de los estudiantes; lo que sin duda facilita un aprendizaje significativo crítico a partir del intercambio de significados entre éstos y el profesor como mediador.

La implementación de estrategias de enseñanza como la modelación computacional y el uso del diagrama AVM, se constituyen en herramientas que posibilitan la participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje, en la tarea de construir una visión de mundo.

4.4.1 La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico (TASC) en el ámbito de este trabajo

Aunque relativamente nueva, no se puede negar que la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico se constituye en un referente altamente prometedor en la formulación de propuestas de enseñanza que tengan como objetivo el logro de aprendizajes no solo significativos, sino además, críticos y reflexivos por parte de los estudiantes.

Los principios del aprendizaje significativo crítico se hacen plenamente compatibles con la visión que tenemos del proceso de modelación en el contexto de esta investigación, 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 Henao y Stipcich (2008) se encuentra una postura altamente compatible con la filosofía que subyace a la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico. Las autoras, parafraseando a Toulmin, expresan: “la calidad de los procesos de enseñanza de las ciencias debe estar dirigida, no tanto a la exactitud con que se manejan los conceptos específicos, sino a las actitudes críticas con las que los estudiantes aprenden a juzgar aún los conceptos expuestos por sus profesores” (ibid., p.52); por lo que le atribuyen una gran relevancia a la enseñanza de actitudes críticas y reflexivas en el aula de clase.

Justamente este tipo de actitudes son las que pretendemos lograr en nuestros estudiantes a partir de la incorporación en el aula de clase de elementos propios del proceso de modelación científica, mediante actividades de modelación computacional y el uso del diagrama AVM y a la luz de los nueve principios facilitadores del aprendizaje significativo crítico; de tal manera que se permita al alumno acercarse a los procesos de producción de conocimiento científico, asumiendo el error y la incertidumbre del conocimiento como elementos fundamentales de la construcción de conocimiento; además de estimular el cuestionamiento como actividad fundamental de la ciencia; donde el conocimiento no se siga viendo como “verdadero” y las respuestas como “correctas”.

4.5 La Transposición Didáctica de Chevallard

El acto de enseñar tiene como principal propósito llevar al aula de clase el conocimiento que ha sido producido en el ámbito de las comunidades científicas; pero para lograrlo, este conocimiento debe sufrir necesariamente una serie de transformaciones que permiten una mejor selección del conocimiento científico y adecuación del mismo para responder a las demandas educativas.

Esta serie de transformaciones que buscan adaptar el conocimiento científico en conocimiento susceptible de ser enseñado y comprendido en el ámbito escolar, es lo que Yves Chevallard denomina *Transposición didáctica* (Chevallard, 1991); refiriéndose a ella

como el proceso de transición del objeto de saber al objeto de enseñanza. La idea de transposición didáctica de Chevallard supone que el saber que se enseña es una modificación cualitativa del saber académico; modificación que se lleva a cabo con el propósito de que sea comprendido por el estudiante.

Desde esta perspectiva, la transposición didáctica puede entenderse como un conjunto de transformaciones y adaptaciones que sufre un objeto de saber (saber sabio), con el fin de constituirse en objeto de enseñanza. Dichas transformaciones y adaptaciones son las que permiten llevar a cabo los procesos de enseñanza-aprendizaje en ámbitos escolares.

El saber sabio es un saber especializado, un conocimiento disciplinar que se origina en las instituciones productoras del saber. El saber sabio hace referencia al saber construido por un científico, que puede desarrollarse en laboratorios, centros de investigación, universidades, entre otros. Y ante la dificultad de llevar al aula de clase este saber tal y como es presentado en los textos científicos, existe la apremiante necesidad de transformarlo en un *saber a enseñar*; aquel que está constituido por los planes curriculares y programas de estudio propios del sistema educativo.

Ese *saber a enseñar* normalmente es presentado en los libros didácticos y materiales de apoyo para la enseñanza; y el proceso de manipulación y modificación de ese saber con miras a incorporarlo en el aula de clase, lo convierten en *saber enseñado*; de modo que es éste el resultado final del proceso de enseñanza y entra a constituir el sistema didáctico formado por la terna *profesor-estudiantes-saber enseñado*.

Realmente estamos hablando de dos transformaciones del saber: la primera transformación se da del *saber sabio* al *saber a enseñar* y la segunda, del *saber a enseñar* al *saber enseñado*. Y para referirse a ellas, Chevallard describe dos tipos de transposiciones: la *transposición externa* que es la transformación del *saber sabio* al *saber a enseñar* y la *transposición interna*, que se da cuando el profesor adapta el saber encontrado en los libros didácticos y lo lleva al aula de clase; es decir, la transformación del *saber a enseñar* en *saber enseñado*.

Por esta razón, en ocasiones se plantea que existe una enorme distancia entre el *saber sabio* y el *saber enseñado*. Tal y como lo afirma Paruelo (2003, p. 2), el concepto de

transposición didáctica, da cuenta de que “la teoría de los científicos y la teoría enseñada por el profesor no son idénticas, como tampoco lo es la aprendida por los alumnos”. Pues la transposición didáctica requiere una *descontextualización* y una *recontextualización* de los saberes con el propósito de ajustarlos a las condiciones particulares del ámbito escolar.

Indiscutiblemente, esos procesos de *descontextualización* y *recontextualización* de los saberes, propios de la transposición didáctica, conllevan a que el saber enseñado sea necesariamente distinto del saber inicialmente designado como el que debe ser enseñado, el saber a enseñar. Y según Chevallard (1991, p. 17), este es el terrible secreto que el concepto de transposición didáctica pone en peligro.

Para subsanar un eventual distanciamiento generado entre los saberes, Chevallard propone la vigilancia epistemológica; la cual hace referencia a la actitud crítica que debe asumirse frente a los diferentes tipos de saber y a sus transformaciones; prestando especial atención al distanciamiento entre el saber sabio y el saber a enseñar generado por la transposición didáctica. Pues si esa distancia es muy grande, puede ocurrir una ruptura epistemológica; por lo que el profesor tiene el deber de hacer una vigilancia epistemológica para que no se dé dicha ruptura, que significaría una gran deformación del conocimiento.

La vigilancia epistemológica pretende justamente que el saber enseñado sea visto como suficientemente cercano al saber sabio so pena de haber sido sometido a un doble proceso de transposición didáctica: la *transposición externa* (del *saber sabio* al *saber a enseñar*) y la *transposición interna* (del *saber a enseñar* al *saber enseñado*).

El proceso de transposición externa tal y como lo concibe Chevallard, consiste en hacer una manipulación del saber sabio para convertirlo en saber a enseñar. Dicha manipulación se lleva a cabo en la *noosfera* y obedece a los intereses sociales en un momento determinado. La *noosfera* es considerada el centro operacional del proceso de transposición (Chevallard, 1991, p. 34); y está compuesta por grupos influyentes o instituciones que seleccionan los contenidos, objetivos y metodologías que forman parte de los programas escolares. Es en la noosfera donde se concibe la organización y el funcionamiento del proceso educativo, que finalmente queda plasmado en los documentos del Ministerio de Educación.

En palabras de Chevallard:

“la noosfera opta prioritariamente por un reequilibrio *por medio de una manipulación del saber*. Es ésta, pues, la que va a proceder a la selección de los elementos del saber sabio que, designados como “saber a enseñar”, serán entonces sometidos al trabajo de transposición; también es ésta la que va a asumir la parte visible de ese trabajo, lo que podemos llamar el trabajo *externo* de la transposición didáctica, por oposición al trabajo *interno*, que se realiza en el interior mismo del sistema de enseñanza, bastante después de la introducción oficial de los nuevos elementos en el saber enseñado” (Chevallard, 1991, p. 36).

La transposición interna, consiste entonces en convertir el *saber a enseñar* en *saber enseñado* y podría decirse que tiene lugar al interior del sistema didáctico constituido por la terna *profesor-estudiantes-saber enseñado*. La responsabilidad de este proceso de transposición didáctica recae principalmente sobre el profesor, quien retoma el saber encontrado en los libros didácticos y lo adapta de tal manera que sea pertinente para su incorporación en el aula de clase.

En síntesis, la transposición didáctica se da por la real necesidad de adaptar los objetos de saber en objetos de enseñanza; como diría Chevallard (1991, p. 25): “porque el funcionamiento *didáctico* del saber es distinto del funcionamiento académico”.

4.5.1 Implicaciones de la Transposición Didáctica para la Enseñanza de las Ciencias

Aunque la transposición didáctica fue formulada inicialmente para abordar la enseñanza de la matemática, este concepto hace referencia a un proceso completamente ligado a la enseñanza, por lo que es perfectamente posible aplicarlo en otras disciplinas; siempre que la pretensión sea adaptar el conocimiento científico para ser llevado a las aulas de clase.

En el campo de la enseñanza de las ciencias y por las características y demandas de la escuela, de manera inevitable el profesor se ve en la obligación de manipular y transformar el conocimiento científico para ser enseñado; es decir, de llevar a cabo la transposición didáctica -del saber a enseñar en el saber enseñado-. Lo que se espera es que este proceso sea realizado de la manera más concienzuda, reflexiva y crítica posible; implicando esto

que el profesor además de tener un buen dominio sobre los contenidos que pretende enseñar (conocimiento disciplinar), debe tener una adecuada concepción de la ciencia (epistemología) y de su enseñanza (didáctica).

El proceso de transposición didáctica llevado a cabo por el profesor, que implica una transformación, modificación y manipulación del saber con fines determinados, puede verse como una reconstrucción del saber por parte de éste, que inevitablemente refleja su concepción o imagen de ciencia. Por lo que puede afirmarse que la transposición didáctica es una actividad intelectual que se encuentra necesariamente permeada por el nivel de formación del profesor, sus creencias epistemológicas y la interpretación que hace de los contenidos a enseñar. De acuerdo con Pietrocola (1999, p. 221), “después de la introducción de la idea de Transposición Didáctica por Chevallard, es cierto que ningún proceso de transposición puede ser entendido como neutro; intereses de todo tipo están presentes en el proceso, revelando los objetivos contenidos en la transposición pretendida”.

Aunque Chevallard no hace referencia explícita al saber aprendido, ni éste es objeto de interés del presente trabajo, es importante referirse al saber aprendido como el resultado final del proceso de transposición didáctica; que después de todas las transformaciones sufridas difiere del saber sabio, e inclusive difiere del saber enseñado.

En estos términos podría afirmarse que la transformación del saber enseñado en el saber aprendido, es posiblemente la etapa del proceso de transposición didáctica en la que el saber puede sufrir una mayor distorsión. Pues si consideramos que el saber aprendido representa el saber construido por el alumno como producto de la interacción con el saber enseñado, hemos de saber que ese proceso de construcción es un proceso esencialmente idiosincrásico en cada individuo, que depende exclusivamente de lo que el alumno ya sabe. Como diría Ausubel, depende de sus experiencias y conocimientos previos.

4.5.2 La Transposición Didáctica en el ámbito de este trabajo

La transposición didáctica implica la producción de estrategias didácticas y materiales de enseñanza que acerquen a los estudiantes no solo a la comprensión de los contenidos de la ciencia, sino también a conocer los procesos de producción de conocimiento científico. Y

es justamente eso lo que se pretende al introducir en el aula de clase elementos propios de la modelación científica, mediante la exploración y construcción de modelos computacionales haciendo uso del diagrama AVM.

Consideramos que la reflexión que pretende generarse al interior de este trabajo en relación con la modelación científica y el uso de modelos, posibilitará no solo una mejor comprensión de éstos, sino que permitirá una mayor valoración de los modelos, los cuales se convierten en una herramienta que facilita la transformación y adaptación de los contenidos a enseñar. Es decir, la construcción de modelos para ser implementados en el aula de clase como materiales de enseñanza, exige a su constructor cierto número de operaciones de transposición tales como: simplificaciones, aproximaciones, idealizaciones, predicciones, delimitación de referentes, contextualizaciones, entre otras; que indiscutiblemente le permiten un mayor acercamiento y comprensión de los procesos de producción de conocimiento científico.

En el ámbito de este trabajo, la modelación científica es entendida como un proceso de construcción de modelos con el propósito de aprehender la realidad; donde se construyen modelos como explicaciones del mundo y se asumen como representaciones simplificadas e idealizadas de la realidad y no como la realidad misma. Por esta razón, este proceso de modelación puede concebirse como un proceso cognitivo y de naturaleza epistemológica, que permite aprehender la realidad a partir de la transformación de ella; es decir, mediante la transposición de un evento/fenómeno de la realidad en un objeto-modelo, haciendo uso de una serie de aproximaciones e idealizaciones que lo convierten en una herramienta idónea para la comprensión del conocimiento científico, su construcción y su evolución.

El proceso concreto de la transposición didáctica al que nos referiremos en este trabajo, es la transformación del saber a enseñar en el saber enseñado; y de manera específica, a la transposición didáctica que tiene lugar en el proceso de construcción de modelos para la enseñanza de conceptos físicos. Dicha transposición, requiere de una recontextualización y reconceptualización de los contenidos de Física, que le exige a su constructor (modelador) no solo un adecuado conocimiento de la disciplina a ser enseñada, sino de los aspectos epistemológicos y didácticos relacionados con ese saber disciplinar.

Por esta razón, se plantea como principal referente teórico de este trabajo, la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico con sus nueve principios facilitadores del aprendizaje significativo crítico, referentes a aspectos conceptuales, epistemológicos y didácticos; y a la luz de los cuales puede llevarse a cabo un adecuado proceso de transposición didáctica, el cual solo es posible cuando se tiene un buen dominio disciplinar (principios de la TASC: 1, 3 y 4), una concepción adecuada sobre la ciencia (principios de la TASC: 5, 6, 7 y 8); y una visión apropiada de la enseñanza de las ciencias (principios de la TASC: 2 y 9).

Siguiendo esta perspectiva teórica, se tiene como propósito formar futuros profesores de Física con visiones más críticas y reflexivas acerca del conocimiento científico y su enseñanza, capaces de hacer una adecuada transposición didáctica de los contenidos a enseñar y procurando que sus futuros estudiantes se aproximen a una concepción epistemológica más adecuada de la ciencia.

4.6 Compatibilidad de los referentes teóricos para el contexto de este trabajo

Es difícil referirse a la fundamentación teórica que orienta este trabajo y a la alta compatibilidad que existe entre los referentes que la constituyen, sin hacer mención al papel preponderante que desempeña la visión de Bunge sobre los modelos y la modelación científica como fundamento epistemológico de esta investigación; y a la forma en que dicha visión epistemológica permea la totalidad de este trabajo.

Para contextualizar esta idea es importante dejar en claro que el propósito fundamental de esta investigación, se enfoca en favorecer en los estudiantes el aprendizaje significativo crítico de conceptos físicos y la formación de visiones epistemológicas más acordes con las posturas actuales, particularmente en lo que tiene que ver con los modelos y la modelación científica; cuya conceptualización se propicia a través de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, intentando con esto acercar al estudiante a una mejor comprensión del proceso de producción de conocimiento científico.

Para lograr dicho cometido, optamos por un conjunto de referentes teóricos altamente compatibles entre sí; y cada uno de ellos con la fundamentación epistemológica que

subyace a esta investigación. Concretamente, el principal referente teórico en el que se fundamenta este trabajo es la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira; que busca desarrollar actitudes críticas y reflexivas de los estudiantes frente al conocimiento científico; y porque a través de sus principios conceptuales, epistemológicos y didácticos; permea los demás referentes teóricos y la visión epistemológica adoptada.

Debido a que la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico proporciona herramientas y condiciones apropiadas para que los estudiantes construyan su conocimiento desde una perspectiva crítica que les permita percibir y representar el mundo; y que la modelación científica desde la concepción bungeana es entendida como un proceso creativo en el que el sujeto juega un papel activo en la construcción de modelos para aprehender la realidad; consideramos que es plenamente factible articular ambos referentes para el propósito de esta investigación. Pero sobre todo, la principal razón para establecer este vínculo se fundamenta en la viabilidad de aplicar los principios de la TASC a la modelación científica desde la perspectiva bungeana; estableciendo un paralelo entre ésta y algunos de los principios facilitadores del aprendizaje significativo crítico.

En la tabla 4.1 se intenta visibilizar el paralelo entre los principios de la TASC y la concepción bungeana sobre los modelos y la modelación científica.

El segundo referente teórico fundamental en este estudio, a partir del cual podría decirse, se materializa la propuesta didáctica que orienta esta investigación, es la modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM. Este referente es ampliamente compatible con la visión bungeana en relación con los modelos y la modelación científica, la cual se constituye en la base epistemológica subyacente a la propuesta del diagrama AVM (Araujo, Veit y Moreira, 2011).

La tabla 4.2 intenta mostrar de una manera muy sucinta, la afinidad existente entre algunos de los elementos del diagrama AVM y la concepción bungeana de los modelos científicos.

Tabla 4.1. Principios de la TASC compatibles con la modelación científica de Bunge.

Principios de la TASC	Modelación científica en la perspectiva de Bunge
Principio de la interacción social y del cuestionamiento: la interacción social posibilita la negociación de significados, que a su vez implica un intercambio permanente de preguntas como fuente del conocimiento humano.	La modelación científica es el proceso de construcción de modelos intentando dar respuestas a preguntas formuladas sobre hechos reales o supuestos reales. En tales cuestionamientos se fundamenta el conocimiento científico.
Principio del aprendiz como perceptor/representador: la información que el aprendiz recibe es percibida por éste y a partir de ella representa el mundo que le rodea.	El proceso de construcción de modelos implica una representación que se da como una transición gradual de lo real-percibido a lo real-idealizado.
Principio de la conciencia semántica: la palabra es un símbolo que representa una cosa, que significa esa cosa, pero no es la cosa en sí. Asimismo, un modelo es concebido como un elemento que se construye para representar la realidad, pero no es la realidad en sí misma.	“Toda idea relativa a objetos físicos de una clase, sea o no una idea adecuada, no es ni más ni menos que una idea. Es más, nunca una idea semejante es una descripción fotográfica de su referente propuesto sino una representación hipotética, incompleta y simbólica del mismo” (Bunge, 1972, p. 187).
Principio del aprendizaje por error: 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.	“Ciertamente, deberemos estar a la espera del fracaso de uno cualquiera de esos modelos hipersimplificados, pero en ciencia, todo fracaso de una idea puede ser instructivo porque puede sugerir las modificaciones que será necesario introducir a fin de obtener modelos más realistas” (Bunge, 1972, p. 14).
Principio del desaprendizaje: en ocasiones, es necesario desaprender aquellos subsumidores que nos impiden captar los significados del nuevo conocimiento. El sujeto debe aprender a identificar los conocimientos relevantes para dotar de significado los nuevos conocimientos. En el campo de la modelación, algunos de esos conocimientos son: la concepción de modelo como representación esquemática parcial y no exclusiva y la idea de multirepresentación.	“Dos investigadores construirán modelos diferentes del mismo sistema. Incluso teniendo acceso a la misma información sólo por azar llegarán al mismo modelo” (Bunge, 1972, p. 23). “Un objeto modelo, es una representación de un objeto: a veces perceptible, a veces imperceptible, siempre esquemática y, en parte al menos, convencional” (Bunge, 1972, p. 24).
Principio de incertidumbre del conocimiento: el conocimiento no está fundamentado en verdades absolutas, es incierto porque depende de las preguntas que hacemos sobre el mundo y porque está expresado a través de definiciones.	“Todo modelo teórico es parcial y aproximativo: no capta sino una parte de las particularidades del objeto representado. Por esta razón fracasará pronto o tarde” (Bunge, 1972, p. 34). Y la ciencia constituida por tales modelos, adopta el mismo carácter de falibilidad.

Tabla 4.2. Elementos del diagrama AVM compatibles con la modelación científica de Bunge.

Elementos del diagrama AVM	Modelación científica en la perspectiva de Bunge
Las teorías, principios, conceptos y leyes, abarcan elementos como variables, parámetros; y fundamentalmente, relaciones, que son normalmente expresadas por proposiciones matemáticas y constituyen el modelo teórico.	El proceso de modelación implica la inserción de modelos conceptuales en teorías generales capaces de aportar respuestas a situaciones particulares, generando modelos teóricos (teorías específicas) que describan los objetos-modelo.
Las idealizaciones se refieren a la simplificación de elementos que podrían ser relevantes dentro del ámbito de una representación; pero que por alguna razón, no son considerados.	Los objetos-modelo son construidos a partir de idealizaciones acerca de los referentes (objetos, fenómenos, hechos) que corresponden a la realidad; lo que significa que no tendrán en cuenta algunos aspectos de su referente real; por lo que se dice de éstos, que son representaciones conceptuales esquemáticas de los referentes, que representan apenas de manera parcial la realidad.
La construcción de un modelo implica la explicitación de los objetos y eventos reales que componen los sistemas físicos en estudio y/o su entorno; y que serán objetos de estudio de la representación de los modelos teóricos.	Un objeto modelo se refiere a objetos reales o supuestos reales, es construido para describir dichos objetos. Por lo que podría decirse que el objeto real o supuesto real es el referente del objeto modelo.
La validación del modelo se da por la comparación entre los resultados generados por el modelo computacional con los resultados conocidos (coherencia interna del modelo). Comparación que también pudiera ser hecha entre los resultados generados por el modelo con los resultados empíricos (coherencia externa).	Desde la concepción bungeana la coherencia interna podría referirse a la inserción de un objeto modelo en una teoría general, de tal manera que éste satisfaga los enunciados de dicha teoría. Y la coherencia interna se da por la comparación de los datos generados por los modelos teóricos, con datos empíricos aportados por la experimentación.
La expansión del modelo teórico implica la inclusión/modificación de idealizaciones, aproximaciones, variables, parámetros, constantes y relaciones matemáticas; ampliando su contexto de validez.	Si un modelo teórico no da cuenta de ciertas situaciones debe expandirse. En palabras de Bunge (1972, p. 12): “si un modelo no da todos los detalles que interesan, será posible en principio complicarlo”. La modificación del modelo teórico implica la inclusión de aspectos ignorados en su construcción y la disminución de idealizaciones procurando un modelo más complejo y con un mayor grado de precisión entre resultados teóricos y experimentales dentro de su contexto de validez.

Seguidamente son explicitadas algunas otras ideas que nos dan una visión muy general de la posibilidad de articular los referentes teóricos que orientan esta investigación, no solo entre ellos, sino con la visión epistemológica adoptada:

- De acuerdo con Araujo, Veit y Moreira (2007, p. 506), el diagrama AVM tiene como objetivo primordial fomentar la reflexión crítica por parte de los alumnos, sobre los modelos físicos abordados. Por lo que se considera un referente sumamente adecuado para propiciar un aprendizaje significativo, pero además crítico.
- El diagrama AVM surge de la adaptación de la V de Gowin a la modelación computacional; y la V de Gowin es considerada un instrumento heurístico potencialmente facilitador del aprendizaje significativo, desde una perspectiva epistemológica que permite conocer el proceso de producción de conocimiento como construcción humana (Araujo, Veit y Moreira, 2007).
- Los estudiantes pueden aprender el contenido del conocimiento científico significativamente cuando es presentado en la forma de modelos. Esto facilita el desarrollo de habilidades de investigación científica, especialmente el pensamiento crítico. El discurso científico de los estudiantes mejora significativamente, en particular cuando se les pide que defiendan la validez de sus modelos (Halloun, 1996).
- Mediante las actividades de modelación computacional con diagrama AVM, se espera que los alumnos construyan modelos conceptuales (en los términos planteados por Bunge); esto en coherencia con la modelación esquemática como estrategia instruccional, que se refiere principalmente a modelos conceptuales que el alumno externaliza (Halloun, 1996).
- Al igual que Bunge, Halloun (1998, p. 42) considera que los modelos científicos son esquemáticos en el sentido de que, al igual que otras construcciones científicas, son reducidas a un número limitado de características principales, que son relevantes para el objeto de estudio.

- Asumimos que el proceso de modelación es compatible con la transposición didáctica al considerar que la construcción de modelos como objetos de enseñanza implica una serie de operaciones de transposición tales como: simplificaciones, aproximaciones, idealizaciones, predicciones, delimitación de referentes, contextualizaciones, entre otras. Lo que convierte a los modelos en herramientas que facilitan la transformación y adaptación de los contenidos a enseñar; y posibilitan al modelador un mayor acercamiento y comprensión de los procesos de producción de conocimiento científico.

Al respecto, Adúriz-Bravo y Morales (2002, p.80) expresan:

“para construir un modelo didáctico a partir del modelo científico, hay involucrada una gran cantidad de operaciones de transposición en el plano *lógico* (de las formas) y en el plano *semántico* (de los contenidos). Algunas de ellas son: disminuir el grado de abstracción, reducir el número de variables, sustituir el modelo actualizado por modelos aproximativos vigentes en otros momentos históricos, analogar el modelo a situaciones más conocidas por los alumnos, utilizar metáforas que lo expliquen”.

Y aunque no está dentro de los propósitos de esta investigación convertir un modelo científico en un modelo didáctico, estas operaciones a las que se refieren los autores, tienen cabida en el proceso de construcción de modelos como materiales de enseñanza; es decir, en la etapa de transposición didáctica que va del saber a enseñar al saber enseñado.

Con el propósito de visibilizar la manera en que los referentes teóricos aquí descritos -en permanente interacción con el referente epistemológico en el que se sustenta este trabajo- se materializan para dar lugar a una propuesta didáctica factible de ser implementada en el aula de clase, se presenta en el siguiente capítulo, la fundamentación metodológica que orienta la presente investigación.

Capítulo 5

FUNDAMENTACIÓN

METODOLÓGICA

Este capítulo consta fundamentalmente de dos secciones; en la primera de ellas se discute el referencial metodológico que orientó el proceso de la investigación, enmarcándola esencialmente en el paradigma cualitativo; se hace una breve descripción sobre el progreso de la investigación y se refieren los diferentes instrumentos de recolección de datos. En la segunda sección se describen los objetivos y la metodología de enseñanza o propuesta didáctica implementada en los tres estudios que integraron esta tesis.

5.1 Metodología de Investigación

En esta primera sección se presentan los referentes metodológicos que orientan esta investigación; para la cual se consideran tanto elementos de la metodología cuantitativa como de la cualitativa, haciéndose un mayor énfasis en esta última que es la que finalmente predomina tanto en el proceso de recolección de información como en su análisis.

5.1.1 Metodología cuantitativa

Si bien esta investigación es esencialmente orientada por el paradigma cualitativo, el análisis de ciertos datos colectados requiere del uso de algunos procedimientos estadísticos enmarcados en los métodos cuantitativos.

Asumiendo que instrumentos de recolección de datos como un *test* de conocimiento son una característica importante de la investigación cuantitativa, en esta investigación se abordan algunos elementos de análisis propios de este paradigma con el objetivo de hacer un análisis de la confiabilidad de los resultados arrojados por uno de los instrumentos de recolección de datos implementados, así como para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes *pretest* y *posttest* aplicados a lo largo de los tres estudios.

Dos características básicas de un instrumento de medida, relacionadas con la confiabilidad de los valores obtenidos, son la fiabilidad y validez (Moreira y Silveira, 1993). La fiabilidad de un instrumento se refiere esencialmente a la consistencia interna de los resultados; es decir, a la estabilidad de los resultados en el tiempo, a su reproducibilidad. Esto significa que si se aplicara un *test* varias veces a los mismos individuos, existiría un grado de concordancia entre las medidas. Sin embargo, en la práctica esto no es posible, porque como mínimo las condiciones de aplicación tendrían alguna variación, por lo que se hace necesario recurrir a métodos estadísticos.

De acuerdo con lo anterior, se hizo uso del coeficiente alfa de Cronbach (Cronbach, 1951) para realizar el análisis de consistencia interna de los resultados de un instrumento de medida implementado en la investigación. Se recurrió a este coeficiente, dado que es uno de los más utilizados por los investigadores. El coeficiente de fiabilidad alfa de Cronbach toma valores entre 0,00 y 1,00; donde los valores cercanos al 1,00 indican alta confiabilidad y los cercanos a 0,00 se refieren a la ausencia de ella. Un valor aceptable para dicho coeficiente depende exclusivamente de lo que se esté midiendo; no obstante, valores superiores a 0.80 pueden considerarse adecuados.

El cálculo del coeficiente de fiabilidad alfa de Cronbach se realizó por medio de una planilla de Excel y se utilizó únicamente para el análisis del *test FCI* aplicado en el estudio I; pues dado el número de estudiantes participantes en los estudios II y III, la determinación de este coeficiente no era procedente.

También se recurrió a métodos estadísticos al pretender establecer una comparación entre los resultados obtenidos en el *pretest* y *posttest* aplicados al inicio y al final de cada uno de los estudios que integran esta investigación, en búsqueda de diferencias estadísticamente

significativas entre ellos. Dado que se buscaba comparar dos muestras relacionadas con datos pareados, se hizo uso de la prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon (Siegel, 1972). La prueba de Wilcoxon es una prueba estadística no paramétrica; y su elección se debe a que no se convalidaron los supuestos del método paramétrico para los instrumentos aplicados.

Esta prueba es una alternativa a la *t* de Student-una prueba estadística paramétrica que se aplica cuando los datos siguen un patrón de distribución normal-. La prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon permite establecer las diferencias o hacer el juicio de ‘mayor que’ entre un par cualquiera y entre los puntajes de dos diferencias cualesquiera procedentes de dos pares. El estadístico de Wilcoxon fue aplicado para establecer una comparación entre los resultados del *test FCI* inicial y final del estudio I; y para comparar los *pretest* y *postest* implementados en los estudios II y III.

5.1.2 Metodología cualitativa

La elección de la metodología cualitativa para la orientación de la investigación y para el análisis de la vasta mayoría de resultados obtenidos en ella, obedece a que dicha perspectiva metodológica implica un esfuerzo por comprender, interpretar y darle sentido a lo que los otros quieren decir, bien sea con sus palabras, sus acciones, sus gestos, sus silencios. Además, porque desde la perspectiva de la investigación cualitativa, el investigador es el principal instrumento de medida; para lo cual se vale de una gran variedad de estrategias y materiales como las entrevistas, la experiencia personal, las historias de vida, las observaciones, los textos históricos, las imágenes, los sonidos, las notas de campo, las narraciones, las fotografías, las películas, los artefactos, los documentos o registros escritos, etc.; que se constituyen en valiosos instrumentos para construir la realidad a partir de la interpretación. Y como principal instrumento en el proceso de investigación, al investigador le compete la descripción detallada de personas, hechos, o experiencias; de ahí que requiera del contacto directo con el objeto de estudio para captar los significados de los comportamientos observados.

Desde esta perspectiva investigativa, la realidad es construida a partir de la interpretación; pues el objetivo de la metodología cualitativa es lograr, primero, una descripción amplia y rica de los contextos, actividades y creencias de los participantes en el medio educativo y,

luego, elaborar una síntesis estructural teórica que sea como una “fotografía verbal” de esa realidad, con el fin de fundamentar la toma de decisiones en torno a la misma. De acuerdo con Moreira (2002), el interés central de la investigación cualitativa está en una interpretación de los significados atribuidos por los sujetos a sus acciones en una realidad socialmente construida.

En la perspectiva de la investigación cualitativa-interpretativa abordada en este trabajo se privilegia el estudio de casos, considerando que por sus características: “particular, descriptivo, heurístico e inductivo” (Arnal, Del Rincón y Latorre, 1992), posibilita una mayor profundización y comprensión de lo que pasa con una persona, un grupo, una institución o una comunidad. Además, porque de acuerdo con Stake (1998), el estudio de casos es el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes.

En este mismo sentido, Serrano (1998) define el estudio de casos como el análisis y descripción intensiva y holística de una entidad singular, un fenómeno o unidad social; considerando que la comprensión de un caso está en relacionar los datos actuales de una situación, captar su configuración y su evolución; y encontrar la significación de los datos por la posición que ocupan en el campo situacional.

Merriam (*apud* Serrano, 1998, p. 91, 92, 93) considera como propiedades esenciales de un estudio de casos cualitativo las características siguientes: particularista, descriptivo, heurístico e inductivo.

- Particularista: los estudios de casos se centran en una situación, evento, programa o fenómeno particular. El caso en sí mismo es importante por lo que revela acerca del fenómeno y por lo que pueda representar. Esta especificidad le hace especialmente apto para problemas prácticos, cuestiones, situaciones o acontecimientos que surgen en la vida diaria. Los estudios de casos “concentran su atención sobre el modo particular en el que grupos de gente confrontan problemas específicos, adoptando una visión holística de la situación.

- **Descriptivo:** el producto final de un estudio de casos es una descripción rica y “densa” del fenómeno objeto de estudio. Los estudios de casos incluyen tantas variables como sea posible e ilustran su interacción, a menudo a lo largo de un período de tiempo. La descripción suele ser cualitativa; es decir, en vez de divulgar los hallazgos en datos numéricos, los estudios de casos usan técnicas narrativas y literarias para describir, producir imágenes y analizar situaciones.
- **Heurístico:** los estudios de casos iluminan la comprensión del lector del fenómeno objeto de estudio. Pueden dar lugar al descubrimiento de nuevos significados, ampliar la experiencia del lector o confirmar lo que se sabe.
- **Inductivo:** en su mayoría, los estudios de casos se basan en el razonamiento inductivo. Las generalizaciones, los conceptos o las hipótesis surgen de un examen de los datos fundados en el contexto mismo. Ocasionalmente, se pueden tener hipótesis de trabajo tentativas al comienzo del estudio de casos, pero estas expectativas están sujetas a reformulación a medida que avanza el estudio. El descubrimiento de nuevas relaciones y conceptos, más que la verificación de hipótesis predeterminadas, caracteriza al estudio de casos cualitativo.

Stake (1998) clasifica los estudios de casos en tres tipos: intrínseco, instrumental y colectivo. En el estudio de casos intrínseco se pretende lograr una profunda comprensión sobre ese caso en particular; porque ese caso en sí mismo tiene un interés intrínseco. En el estudio de casos instrumental el interés está centrado en una situación que se quiere investigar para tener una comprensión sobre ella; y se considera que puede entenderse dicha situación mediante el estudio de un caso particular. De esta manera, el estudio de casos se convierte en un instrumento para comprender una situación. Y por último, el estudio de casos colectivo en el que se eligen varios casos porque se cree que éstos permitirán una mejor comprensión de una determinada situación o fenómeno. Este tipo de estudio puede ser visto como un estudio instrumental extendido a varios casos; donde cada estudio de casos es un instrumento para comprender la situación y debe existir una adecuada coordinación entre cada uno de los estudios individuales.

Por otro lado, Serrano (1998, p. 97-98) aporta una interesante clasificación de los estudios de casos por la naturaleza del informe final:

- Estudio de casos descriptivo: presenta un informe detallado de un fenómeno objeto de estudio sin fundamentación teórica previa. Son enteramente descriptivos, no se guían por generalizaciones establecidas o hipotéticas, ni desean formular hipótesis generales. Son útiles, sin embargo, para aportar información básica en ciertas áreas educativas. Los centros de interés de los estudios de casos descriptivos en educación suelen ser los programas y prácticas innovadoras. Cualquiera que sea el área de indagación, la descripción es previa a la formulación de hipótesis y a la comprobación de la teoría.
- Estudio de casos interpretativo: contiene descripciones ricas y densas. Sin embargo, los datos descriptivos los utilizan para desarrollar categorías conceptuales o para ilustrar, defender o desafiar presupuestos teóricos defendidos antes de recoger los datos. Si no existiera teoría o si la teoría existente no explica adecuadamente el fenómeno, no se pueden establecer hipótesis que guíen la investigación. El nivel de abstracción y conceptualización en los estudios de casos interpretativos puede ir desde la sugerencia de relaciones entre variables hasta la construcción de una teoría. El modelo de análisis es inductivo. Se distinguen de los estudios de casos descriptivos por su complejidad, profundidad y orientación teórica.
- Estudio de casos evaluativos: implican descripción, explicación y juicio. Según Guba y Lincoln (*apud* Serrano, 1998) el estudio de casos es el mejor porque proporciona “una descripción densa”, está fundamentado, es holístico y vivo, simplifica los datos considerados por el lector, esclarece significados y puede comunicar conocimiento tácito. Pero, sobre todo, este tipo de estudio de casos sopesa “la información para emitir un juicio”. La emisión de juicios es el acto final y esencial de la evaluación.

Serrano (1998, p. 99) finaliza esta clasificación afirmando que aunque algunos estudios de casos se caracterizan por ser puramente descriptivos, la mayoría son una combinación de descripción y evaluación o de descripción e interpretación.

En términos de los objetivos y de los criterios considerados para la elección de los casos, así como del propósito de esta investigación, nos inclinamos por el estudio de casos instrumental y colectivo (Stake, 1998). Pues en este trabajo se propone investigar la contribución de una propuesta didáctica al aprendizaje significativo crítico de conceptos físicos y a la formación de estudiantes con concepciones más adecuadas sobre la naturaleza de la ciencia y la modelación científica; donde los estudiantes de Física (futuros profesores de esta disciplina) elegidos como casos de análisis, se constituyen como casos ampliamente pertinentes para la comprensión de la situación estudiada. Esto, de acuerdo con Stake (1998), quien considera que aspectos como: la máxima rentabilidad de aquello que aprendemos, casos que puedan llevarnos a la comprensión del fenómeno estudiado y casos en los que sea posible acceder a la información requerida; son criterios fundamentales a la hora de elegir un caso.

De este modo fueron propuestos tres estudios; el primero de ellos un estudio de casos de tipo instrumental realizado con un grupo de veintitrés estudiantes que cursaban la asignatura de Física I del programa de Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad de Antioquia, Colombia. En este estudio se buscaba dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cuál es la contribución de la modelación computacional mediante el uso del diagrama AVM?: (a) al aprendizaje de conceptos de dinámica Newtoniana, y (b) a la predisposición del estudiante para el aprendizaje de conceptos físicos.

Dadas las características de los participantes de este estudio, nuestro interés estuvo centrado en conocer los procesos de conceptualización que se daban en los estudiantes a partir de la interacción con modelos computacionales relativos a fenómenos de la dinámica Newtoniana. Interacción que fue orientada por el uso del diagrama AVM.

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron concluir que las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama favorecieron el aprendizaje significativo de algunos de los principales conceptos de dinámica Newtoniana,

posibilitando una mejor comprensión de éstos, que se vio plasmada en el establecimiento de relaciones claras y pertinentes entre tales conceptos; asimismo, dichas actividades tuvieron una influencia positiva en la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos.

Convencidos del gran potencial de las actividades de modelación computacional y del uso del diagrama AVM para el aprendizaje significativo de conceptos relativos al campo de la dinámica Newtoniana, nos propusimos conocer si además de significativo, ese aprendizaje podía ser crítico -en los términos planteados por Moreira (2005)-. En ese sentido, se diseñó un segundo estudio que tuvo como propósito valorar la posibilidad de atender cuatro de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico -principio del cuestionamiento, del aprendizaje por error, del desaprendizaje y de la incertidumbre del conocimiento-, valorándolos en el aula de clase a partir de la incorporación de conceptos y elementos propios de la modelación científica, por medio de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.

En este estudio se pretendía conocer además la contribución de dichas actividades en la evolución de las concepciones de ciencia de un grupo de siete estudiantes del programa de Física de la Universidad de Antioquia, Colombia. Por lo que fue realizado un estudio de casos colectivo -estudio de casos instrumental extendido a varios casos- (Stake, 1998), donde cada estudiante participante en el estudio se convirtió en una unidad de análisis.

El estudio II que compone esta investigación centró su interés en la búsqueda de respuestas para las siguientes preguntas: ¿Cómo contribuye la incorporación de elementos propios de la modelación científica en el aula de clase mediante la modelación computacional y el diagrama AVM en la habilidad de los estudiantes para formular preguntas? y ¿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?

Los resultados mostraron que los estudiantes alcanzaron una visión más crítica y reflexiva en relación con el conocimiento científico; logrando además un progreso significativo en su capacidad para formular preguntas de interés sobre situaciones físicas planteadas en el campo de la dinámica Newtoniana.

Con vista en los resultados altamente favorables obtenidos en estos dos estudios, fue formulado un tercer estudio en el que nuestro interés se vio abocado a la atención de los nueve principios de la Teoría del aprendizaje Significativo Crítico (principios disciplinares, epistemológicos y didácticos) en el trabajo con la modelación científica en el aula de clase, abordada desde las actividades de modelación computacional con diagrama AVM. Además de las dos preguntas de investigación que orientaron el estudio II, el tercer y último estudio estuvo enfocado en otras dos preguntas de investigación: ¿Cómo contribuye 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 ¿Cuál es la influencia del enfoque didáctico propuesto en las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes a partir del diseño de materiales de enseñanza?

Así como en el segundo estudio, la metodología de investigación implementada para orientar el estudio III estuvo fundamentada en el estudio de casos colectivo realizado con un grupo de siete estudiantes del programa de Física de la Universidad de Antioquia, Colombia; y tuvo como propósito favorecer en los estudiantes la adquisición de visiones más adecuadas en relación con la ciencia, los modelos, la modelación científica y la enseñanza de las ciencias; así como la formación de futuros profesores de Física con visiones más críticas y reflexivas, que puedan llevar a cabo un adecuado proceso de transposición didáctica, favoreciendo la adquisición de visiones apropiadas de la ciencia por parte de sus estudiantes.

A continuación son presentados los principales instrumentos de recolección de datos empleados a lo largo de los tres estudios.

5.1.3 Instrumentos de recolección de datos

En esta sección son descritos los instrumentos de recolección de datos utilizados en la implementación de la propuesta didáctica a lo largo de los tres estudios. En los capítulos 6, 7 y 8; en los que se detallan los estudios I, II y III respectivamente, se hace una descripción pormenorizada del momento y características propias de la implementación de cada instrumento.

Test Force Concept Inventory

El *Test* americano *Force Concept Inventory* o *test FCI*, que traducido al castellano denominamos “Cuestionario sobre el concepto de fuerza” (anexo D), 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 y fue elegido en este trabajo por su pertinencia para dar a conocer 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.

Según Hestenes y Halloun (1995a), desde una perspectiva física, cada pregunta del *test FCI* requiere que el estudiante discrimine una respuesta Newtoniana, de cuatro respuestas alternativas no-Newtonianas. En la versión original (Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992), el *test FCI* está constituido por 29 preguntas conceptuales con cinco alternativas de respuesta cada una; no obstante, en una nueva versión revisada del *test FCI* (Halloun et al., 1995), inicialmente publicada en internet³ y posteriormente en el libro de Mazur (Mazur, 1997) se incluye una pregunta más, quedando así constituido por 30 preguntas⁴.

Las preguntas del *test FCI* son clasificadas por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) en seis categorías que comprenden el concepto de fuerza desde la perspectiva Newtoniana. Estas categorías son mostradas en la tabla 5.1.

Estas seis categorías son presentadas con los respectivos ítems del *test* que hacen alusión a cada una de ellas, tal y como aparece propuesto por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) en el texto original “*Force Concept Inventory*”.

Es importante resaltar que somos conocedores del debate entre Huffman-Heller y Hestenes-Halloun en torno a la definición de categorías del *test FCI* (Hestenes y Halloun, 1995a, 1995b; Huffman y Heller, 1995a, 1995b); por lo que en el ámbito de esta investigación (estudios II y III) el *test FCI* es utilizado esencialmente como una herramienta para diagnosticar las ideas previas de los estudiantes en relación con el

³ <http://modeling.la.asu.edu/modeling.html>

⁴ Versión utilizada en este estudio.

concepto de fuerza y su análisis se hace a partir de la valoración del desempeño global de los estudiantes en este *test* (sin recurrir a las categorías).

Tabla 5.1 Categorías de conceptos Newtonianos en el *test FCI*.

Categorías conceptuales del concepto de fuerza	Conceptos Newtonianos abordados en cada categoría	Ítems Relacionados
1. Cinemática	Velocidad discriminada de la posición Aceleración discriminada de la velocidad Aceleración constante implica: órbita parabólica, cambio de velocidad Vector adición de velocidades	7, 20, 21, 23, 24, 25
2. Primera ley	Sin fuerza: velocidad constante Con fuerzas que se cancelan	4, 6, 8, 10, 18, 26, 27, 28
3. Segunda ley	Fuerza impulsiva Fuerza constante implica aceleración constante.	6, 7, 24, 25
4. Tercera ley	Para fuerzas impulsivas Para fuerzas continuas	2, 11, 13, 14
5. Superposición	Vector suma Cancelación de fuerzas.	9, 18, 19, 28
6. Clases de fuerza	Contacto entre sólidos: pasivo, impulsivo, fricción opuesta al movimiento. Contacto con fluidos: resistencia del aire, presión del aire. Gravitación: aceleración independiente del peso. Trayectoria parabólica.	1, 3, 5, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 29, 30 ⁵

No obstante, aunque en el estudio I también se hizo uso del *test FCI* como una herramienta de diagnóstico, adoptamos el uso de las categorías de dicho *test* para llevar a cabo el análisis de los resultados obtenidos con la aplicación de este instrumento; pero además se llevó a cabo la valoración del desempeño global de los estudiantes en este *test* y los resultados no fueron utilizados para tomar decisiones sobre los estudiantes a nivel individual⁶. Dado que en el estudio I estábamos interesados en conocer el progreso de los estudiantes en relación con la comprensión de la dinámica Newtoniana, el *test FCI* fue aplicado nuevamente al final de este estudio, usándolo como un referente que nos aportase información acerca de la evolución de los estudiantes en este campo de conocimiento; sin embargo, dicha evolución fue esencialmente valorada a partir de los diferentes instrumentos de recolección de datos implementados en este estudio.

⁵ La pregunta número 30 no es incluida en la clasificación hecha por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992); sin embargo, por los conceptos allí abordados, la incluimos en la categoría 6.

⁶ Argumento propuesto por (Hestenes y Halloun, 1995a, 1995b) para justificar el análisis del *test FCI* por categorías.

El *test* FCI 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 y Halloun, 1995a; Coletta y Phillips, 2005; Savinainen y Viiri 2008). Sin embargo, para cumplir con los criterios de validación del instrumento, su traducción fue sometida a análisis por parte de tres profesores de Física de la Universidad de Antioquia; y posteriormente fue validado a partir de la determinación del coeficiente de fiabilidad alfa de Cronbach (Estudio I).

En coherencia con la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel como referente fundamental de este trabajo, la aplicación del *test* FCI en la etapa inicial de cada uno de los tres estudios desarrollados, tenía como propósito identificar los conceptos previos (acerca de la dinámica Newtoniana) pertinentes y disponibles en la estructura de conocimiento de los estudiantes, el grado de apropiación de estos conceptos y las relaciones establecidas entre ellos; lo que permitió definir/redefinir algunas de las actividades de la intervención correspondientes a cada estudio. Asimismo, al finalizar la implementación de la propuesta didáctica en el primer estudio, el *test* FCI fue nuevamente aplicado con el propósito de conocer la contribución de las actividades de modelación computacional a la comprensión conceptual del campo de la dinámica Newtoniana por parte de los estudiantes.

Observación

Un instrumento fundamental para la recolección de datos y que atiende a los criterios de la investigación cualitativa y particularmente al estudio de casos, es la observación; dado que esta permite al investigador una mayor comprensión del caso estudiado. De acuerdo con Stake (1998, p. 60), “los significados de los datos cualitativos o interpretativos son los que directamente reconoce el observador”.

En el ámbito de esta investigación, el profesor investigador se vale de una observación profunda, enfocándose en las actitudes y reacciones positivas y negativas asumidas por los estudiantes frente a cada una de las actividades propuestas en la intervención; y de manera particular, en las actividades de modelación computacional. Esta observación se realizó con el propósito de llevar a cabo una descripción lo más cercana posible de cada uno de los casos que constituyeron las unidades de análisis de la investigación.

Cuaderno de notas

Como otra fuente de información coherente con la metodología de investigación adoptada, un cuaderno de notas fue llevado por el profesor investigador, quien realizó una observación, registro y descripción permanente de todas las actividades desarrolladas en el aula de clase; haciendo referencia principalmente a la descripción de las actividades de modelación computacional y a las actitudes (positivas y negativas) de los estudiantes en relación con éstas; y en general, haciendo una valoración del ambiente de interacción que logra propiciarse a partir de la implementación de la propuesta didáctica.

Pretest y Postest

Además del *test FCI* que tenía como propósito indagar por los conocimientos de los estudiantes sobre los conceptos de la dinámica Newtoniana, fueron aplicados un *pretest* y un *postest* en los estudios II y III. En coherencia con la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel como referente de esta investigación, con el *pretest* se tenía la intención de conocer las concepciones previas de los estudiantes en relación con la ciencia, la modelación científica y la enseñanza de las ciencias; y con el *postest* se buscaban indicios de alguna posible evolución en dichas concepciones.

Pretest y postest estudio II

Un cuestionario sobre imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias (Anexo E), fue aplicado como *pretest* y *postest* en el desarrollo de este estudio. Este instrumento surge de la adaptación del cuestionario INPECIP (Inventario de Creencias Pedagógicas y Científicas de Profesores), diseñado por Porlán (1989) y posteriormente validado (Porlán, Rivero y Martín, 1997). El cuestionario fue creado como instrumento para analizar las concepciones del profesorado de ciencias experimentales a partir de cuatro grandes categorías: modelo didáctico, imagen de la ciencia, teoría del aprendizaje y metodología de enseñanza. Sin embargo, por los intereses de esta investigación, fueron abordadas solamente dos de estas categorías: imagen de ciencia y metodología de enseñanza.

Al aplicarse como *pretest*, se pretendía conocer particularmente la visión de ciencia que tenían los estudiantes en este nivel de su formación. Y la información adquirida con su aplicación permitió redefinir algunas de las actividades planteadas en este estudio. El cuestionario fue aplicado al final de la intervención 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.

Pretest y postest estudio III

Un cuestionario que pretendía indagar por las concepciones de los estudiantes en tres categorías a saber: imagen de ciencia, enseñanza de las ciencias; y modelos y modelación científica en el contexto de la Física (Anexo F), fue utilizado como *pretest* y *postest* en el contexto de este estudio. Dicho cuestionario surgió como una adaptación del cuestionario sobre ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física (Brandão, Araujo, Veit e Silveira, 2011); y del cuestionario INPECIP o Inventario de Creencias Pedagógicas y Científicas de Profesores (Porlán, 1989; Porlán, Rivero y Martín, 1997), que sirvió de base para el *pretest* y *postest* del estudio II; de donde se toman los ítems relacionados con la categoría enseñanza de las ciencias.

Su aplicación como *pretest* aportó información altamente valiosa para establecer una idea de la comprensión de los estudiantes sobre los tópicos que serían abordados en este estudio, así como para definir/redefinir algunas de las actividades de la propuesta didáctica. Y su aplicación como *postest* posibilitó la valoración del progreso de los estudiantes, principalmente en la concepción de ciencia y de la modelación científica.

Entrevistas

Las entrevistas realizadas en esta investigación siguieron un protocolo de entrevista semi-estructurada, que favoreció un diálogo espontáneo y fluido por parte de cada uno de los sujetos entrevistados de modo individual. Todas las entrevistas fueron grabadas y posteriormente transcritas.

Particularmente, en los estudios II y III, las entrevistas iniciales y finales se realizan con el propósito 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.

Considerando que los tres estudios constituyentes de esta investigación tenían propósitos sutilmente diferentes, los principales aspectos que se pretendían indagar a través de cada uno de ellos, dieron origen a las siguientes entrevistas:

Entrevista estudio I

Con el objetivo de tener una percepción acerca del significado atribuido por los estudiantes a las actividades de modelación computacional con diagrama AVM realizadas durante la intervención, se realizó una entrevista semi-estructurada en la que participaron diez de los estudiantes del curso, elegidos aleatoriamente. Éstos fueron entrevistados individualmente luego de concluir el proceso de intervención con las actividades de modelación computacional y las preguntas planteadas fueron: 1. ¿Cuál es la pertinencia de las actividades de modelación computacional con diagrama AVM en la clase de Física? Y 2. ¿De qué manera estas actividades favorecen la comprensión de los conceptos físicos abordados?

Entrevista estudio II (Anexo G)

Durante el estudio II se realizaron dos entrevistas a cada uno de los estudiantes participantes en el estudio: la entrevista inicial se realizó previa ejecución de las actividades de modelación computacional; y ésta tenía como propósito complementar la información obtenida en el *pretest* sobre imagen de ciencia, detectando concepciones epistemológicas de los estudiantes relacionadas con tres de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, como son: el principio del aprendizaje por error, el principio del desaprendizaje y el principio de incertidumbre del conocimiento. De igual manera que los instrumentos de recolección de datos previamente aplicados, esta entrevista permitió adquirir información valiosa y determinante para la planeación y redefinición de la propuesta didáctica. La entrevista final tuvo lugar en la última sesión del curso y su propósito era obtener indicios de alguna modificación en las concepciones epistemológicas de los estudiantes en relación con los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico atendidos en este estudio; y por supuesto, se pretendía también complementar la información aportada por los estudiantes tanto en el *postest* sobre imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias, como en las diversas actividades que conformaron la propuesta didáctica.

Entrevista estudio III (Anexo H)

De igual manera que en el estudio II, en el estudio III fueron realizadas dos entrevistas semi-estructuradas a cada uno de los estudiantes sujetos de investigación: una entrevista inicial que pretendía indagar por las mismas categorías generales del *pretest* (imagen de ciencia, modelos y modelación científica y enseñanza de las ciencias); con el propósito de

conocer las visiones de los estudiantes en relación con estos aspectos; y de enriquecer la información aportada por los estudiantes en el *pretest*. Al igual que el *pretest*, esta entrevista permitió conocer las principales concepciones epistemológicas de los estudiantes, estrechamente relacionadas con los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico que fueron abordados en este estudio. La entrevista final realizada al concluir el curso, pretendía indagar por la evolución de las concepciones iniciales de los estudiantes en relación con la visión de ciencia, de la modelación científica y de la enseñanza de las ciencias; propiciadas por las actividades de modelación computacional. Asimismo, esta entrevista permitió una mejor comprensión de las respuestas aportadas por los estudiantes en el *posttest*; y de su evolución durante la implementación de la propuesta didáctica.

Actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM

De acuerdo con la clasificación hecha por Araujo, Veit y Moreira (2006, 2011) sobre los cuatro modos básicos de emplear el diagrama AVM en actividades de modelación computacional (sección 4.3); en el contexto de este trabajo se implementaron básicamente tres de esos modos para orientar dichas actividades.

La modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM fue implementada a lo largo de los tres estudios. En estas actividades, un modelo computacional era aportado a los estudiantes y su exploración era orientada por el uso del diagrama AVM en el que el profesor definía previamente los campos: fenómeno de interés, situación problema y preguntas foco (versión original); o el objetivo general, la situación foco y las preguntas foco (versión actualizada).

Las actividades de modelación computacional de modo exploratorio abierto y de modo expresivo abierto con diagrama AVM son implementadas en los estudios II y III que componen esta tesis. En las primeras, un modelo computacional es proporcionado a los estudiantes y a través de su exploración, el diagrama AVM es totalmente completado por ellos -prestando especial atención a la formulación de las preguntas foco-; mientras que en las actividades de modelación de modo expresivo abierto, además de definir todos los campos del diagrama AVM, los estudiantes deben construir un modelo computacional en coherencia con éste.

Los diagramas AVM contruidos por los estudiantes -así como los modelos computacionales creados por ellos- se constituyeron en valiosas fuentes de información para esta investigación.

La observación, el cuaderno de notas, las entrevistas y las demás actividades e instrumentos utilizados en la recolección de información a lo largo de los tres estudios, permiten llevar a cabo la triangulación de fuentes de datos para dotar de un mayor significado las interpretaciones realizadas; así como para asegurar la validez de las mismas. Dicha triangulación implica además una comparación sistemática de los datos obtenidos al interior de cada estudio y de los tres estudios entre sí.

5.2 Metodología de Enseñanza

Con el propósito de formar estudiantes -futuros profesores de Física- con visiones más críticas y reflexivas sobre la modelación científica, el conocimiento científico y su enseñanza, capaces de llevar a cabo un adecuado proceso de transposición didáctica -del saber a enseñar al saber enseñado-, la propuesta didáctica que presentamos busca atender los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico -principios disciplinares, epistemológicos y didácticos- en el aula de clase, a partir de la incorporación de elementos y conceptos propios de la modelación científica, mediante la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.

Dado que no habíamos trabajado con modelación científica previamente, para dirigir los tres estudios que componen esta tesis fue necesario desarrollar una propuesta didáctica (o metodología de enseñanza). A través del proceso de investigación que se llevó a cabo durante dos años, la propuesta didáctica fue evolucionando a lo largo de los tres estudios desarrollados; y presentamos aquí su versión más completa implementada en el tercer y último estudio. Las versiones preliminares de la propuesta didáctica son presentadas en los capítulos 6 y 7 (estudios I y II, respectivamente).

Seguidamente son descritos los objetivos que nos propusimos atender a partir de la implementación de la propuesta didáctica.

- Promover el aprendizaje significativo del campo conceptual de la dinámica Newtoniana a partir de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.
- Favorecer la implementación de los principios de la TASC a través de la ejecución de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.
- Favorecer en los estudiantes la formación de visiones epistemológicas más acordes con las concepciones actuales sobre el conocimiento científico y la modelación científica.
- Suscitar procesos de transposición didáctica necesarios para la construcción de materiales de enseñanza considerando aspectos disciplinares, epistemológicos y didácticos.

Además de estos objetivos que podríamos nombrar como generales, existen otros objetivos que bien cabría denominar como objetivos específicos u orientadores de la propuesta didáctica, que se formulan con base en los nueve principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, principal referente teórico que orienta esta investigación.

- **Asociado al principio 1:** favorecer el progreso de los estudiantes en la habilidad para formular preguntas, propiciado por el uso de la modelación computacional con diagrama AVM.
- **Asociado al principio 2:** incentivar en los estudiantes el uso de diversos materiales de enseñanza en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.
- **Asociado al principio 3:** promover la reflexión de los estudiantes sobre el papel de la relación percepción-representación en el proceso de construcción de modelos.
- **Asociado al principio 4:** 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.

- **Asociado al principio 5:** incitar a los estudiantes a reflexionar sobre la relación existente entre modelo y realidad.
- **Asociado al principio 6:** incentivar a los 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.
- **Asociado al principio 7:** 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.
- **Asociado al principio 8:** 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.
- **Asociado al principio 9:** fomentar en los estudiantes el uso de diversas estrategias instruccionales en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.

La metodología de enseñanza aquí propuesta es orientada a la luz de cinco referentes teóricos -la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, la Modelación Esquemática de Halloun, la Modelación Computacional con diagrama AVM, la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira y la Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard- que juegan un papel fundamental tanto en el diseño como en la ejecución de la propuesta didáctica. 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.

Las actividades de la propuesta se enfocan en contenidos de la dinámica Newtoniana, abordando el estudio de conceptos como: sistemas de referencia, movimiento, posición,

velocidad, aceleración, fuerza y masa. No obstante, las estrategias sugeridas pueden ser aplicadas para otros contenidos de la Física.

Con el propósito de conocer las ideas previas de los estudiantes en relación con el concepto de fuerza -concepto fundamental para la comprensión del campo de la dinámica Newtoniana-, consideramos adecuada la aplicación del *test FCI* como una herramienta para diagnosticar el conocimiento de los estudiantes en este campo de conocimiento. Asimismo y con el propósito de conocer la visión epistemológica de los estudiantes en relación con la ciencia, los modelos, la modelación científica y la enseñanza de las ciencias; nos inclinamos por la aplicación de un cuestionario que surgió de la adaptación del *test* sobre ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física (Brandão, Araujo, Veit e Silveira, 2011); y del cuestionario INPECIP o Inventario de Creencias Pedagógicas y Científicas de Profesores (Porlán, 1989; Porlán, Rivero y Martín, 1997).

Las diferentes actividades que conforman la propuesta didáctica son descritas a continuación e identificadas por un número que permitirá una mejor caracterización al momento de realizar su respectivo análisis.

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

En el primer encuentro el profesor entrega 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 el profesor forma una mesa redonda y 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?

Es importante resaltar que al diseño y ejecución de esta propuesta didáctica, subyace la perspectiva bungeana de los modelos y la modelación científica. Desde la visión de este autor (Bunge, 1972), los modelos son construidos como representaciones simplificadas e idealizadas con el propósito de apresar la realidad; visión que es compartida por otros autores como: Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998a; Del Re, 2000; Harrison y Treagust, 2000; Moreira, Greca y Rodríguez Palmero, 2002.

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 (un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta, un objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, una varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical, un cuerpo oscilando unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso y un niño en un columpio es empujado por su padre). Para cada una de las situaciones foco 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-, fomentando así un aprendizaje significativo, en el sentido de que les exige remitirse al conocimiento previo que se tiene sobre dicho campo.

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, atendiendo a los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo: diferenciación progresiva (inicialmente se consideran los elementos más inclusivos o generales de un concepto y posteriormente éste es

progresivamente diferenciado en elementos más específicos) y reconciliación integradora (se exploran conceptos específicos, buscando similitudes y diferencias entre ellos, que permitan integrarlos en conceptos más generales e inclusivos).

La modelación esquemática de Halloun es otro referente fundamental para el diseño y ejecución de las actividades de modelación computacional como elemento central de la propuesta didáctica; dado que es uno de los principales referentes para la creación del diagrama AVM como herramienta orientadora de las actividades de modelación computacional (Araujo, Veit y Moreira, 2011). La modelación esquemática propuesta por Halloun (1996, 2004), a partir de sus cinco estadios: selección, construcción, validación, análisis y expansión del modelo; es altamente pertinente para la construcción de modelos pertenecientes al campo de la mecánica; campo de conocimiento de la Física en el que se incursiona a lo largo de esta investigación. Entre estos estadios no se establece jerarquía alguna, e incluso, la construcción, validación y análisis pueden ocurrir de manera simultánea.

Otro aporte fundamental del referente de Halloun es la modelación esquemática enfocada hacia la solución de problemas paradigma; los cuales prescinden al máximo de la utilización directa de fórmulas numéricas para hallar su solución; y más bien son propuestas preguntas abiertas que propicien una reflexión sobre los conceptos y sistemas físicos; y su resolución se da a partir de los cinco estadios de la modelación. En el marco de esta propuesta didáctica algunas de las actividades de modelación computacional son enfocadas desde el planteamiento de situaciones problema, cuya solución requiere del empleo y/o construcción de modelos básicos de dinámica Newtoniana, que necesariamente atiende a los cinco estadios de la modelación esquemática de Halloun.

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 interface 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 y Moreira, 2004).

Con el *software Modellus* se puede representar computacionalmente el comportamiento de sistemas físicos mediante ecuaciones matemáticas asociadas a un modelo teórico. A partir de esta representación, es posible llevar un registro de datos de las variables que se desea analizar de acuerdo con el modelo, así como gráficos que permitan facilitar la relación entre estas variables. 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*⁷. En la figura 5.1 se puede visualizar la pantalla de un modelo computacional para el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

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

En esta actividad el profesor aporta a los estudiantes algunos modelos computacionales ya contruidos, para que los estudiantes en pequeños grupos exploren tales modelos y se familiaricen con el uso del *software*. 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. Además se les pide que construyan un derrotero que oriente el proceso de exploración de los modelos computacionales. Dicha actividad

⁷ 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.

debe generar una intensa interacción de los estudiantes entre si y de estos con el profesor, esencialmente en relación con la mejor 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.

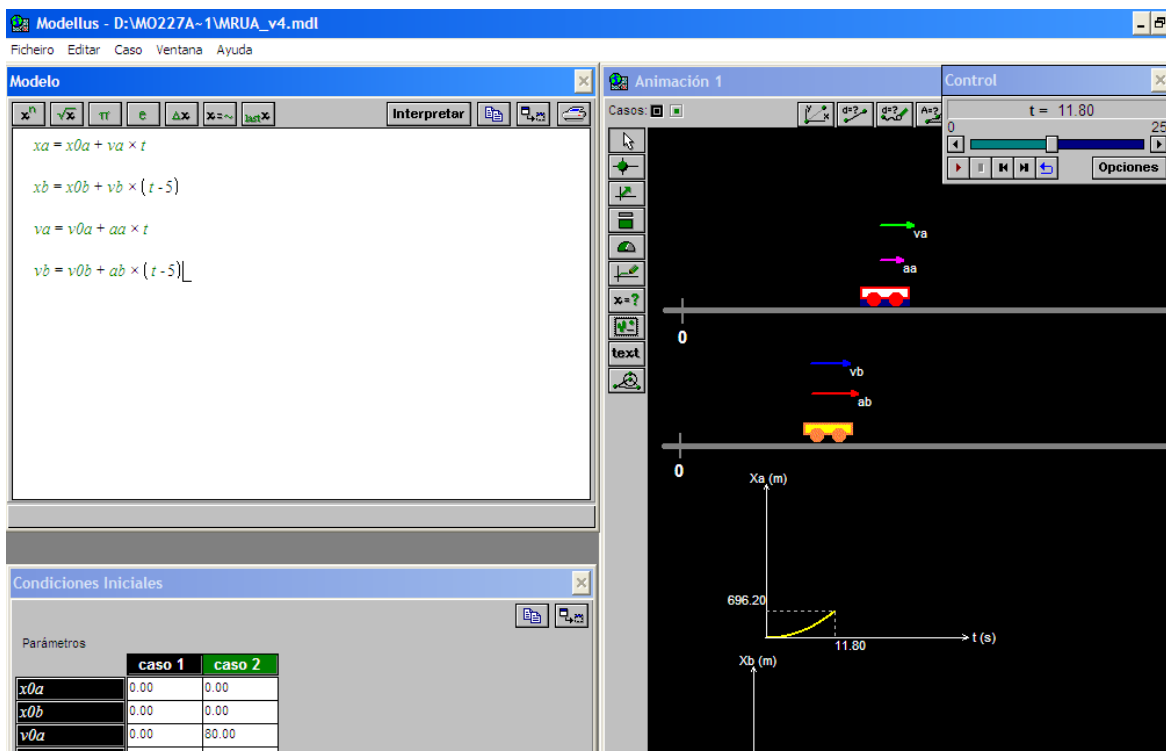


Figura 5.1. Sintaxis del software Modellus 2.5 para un modelo de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado⁸.

La figura 5.2 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.

⁸ Obsérvese la similitud de la presentación de las fórmulas matemáticas usando la sintaxis del programa con la forma usual manuscrita.

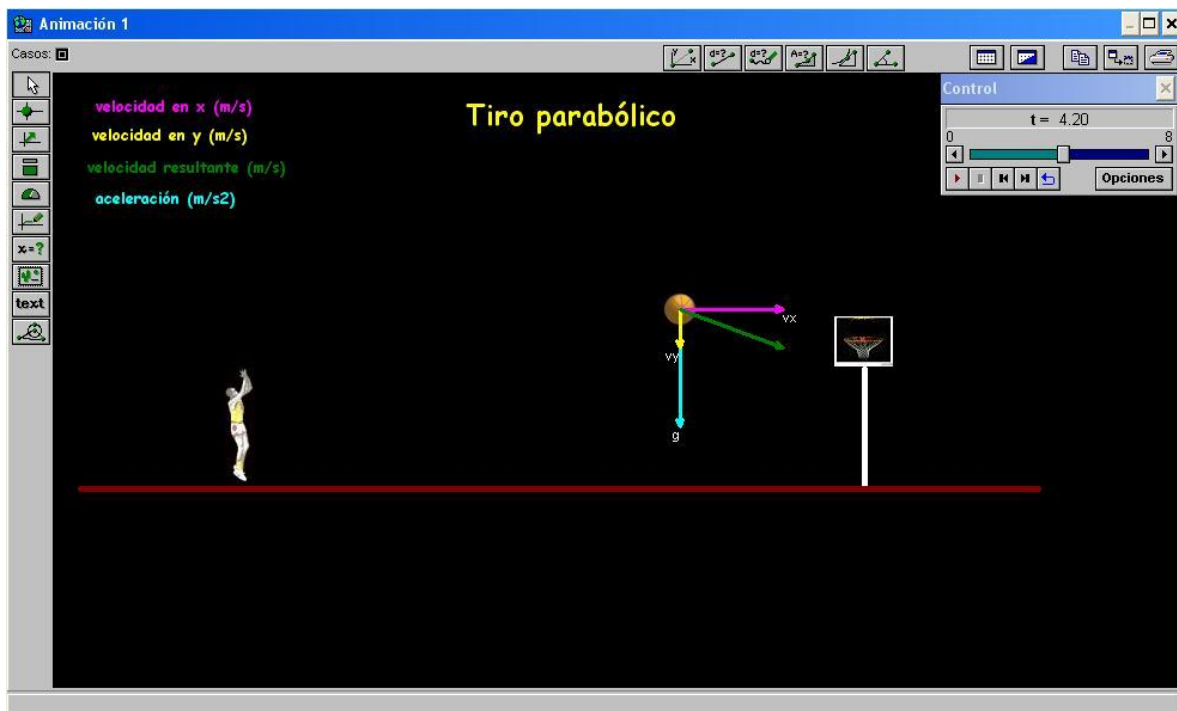


Figura 5.2. Vista de pantalla de un modelo computacional para un tiro parabólico.

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 orientar a los estudiantes 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 y 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 -versión actualizada⁹-, 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 (anexo C).

Durante esta misma sesión el profesor presenta 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 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 se realiza 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

⁹ La implementación de la propuesta didáctica en los estudios I y II estuvo orientada desde la versión original del diagrama AVM (anexo B).

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.

Los modelos computacionales que se utilizan son: un tiro parabólico y relación fuerza-aceleración. Los estudiantes tienen libre acceso a la estructura matemática de cada uno de los modelos pero no se realiza ninguna modificación sobre ésta.

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. Los modelos computacionales que se utilizan son: fricción entre sólidos y el fenómeno del paracaídas.

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. La actividad se realiza en grupos de dos o tres estudiantes y los modelos computacionales que se utilizan son: resistencia en caída vertical y máquina de Atwood.

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 5.3 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.

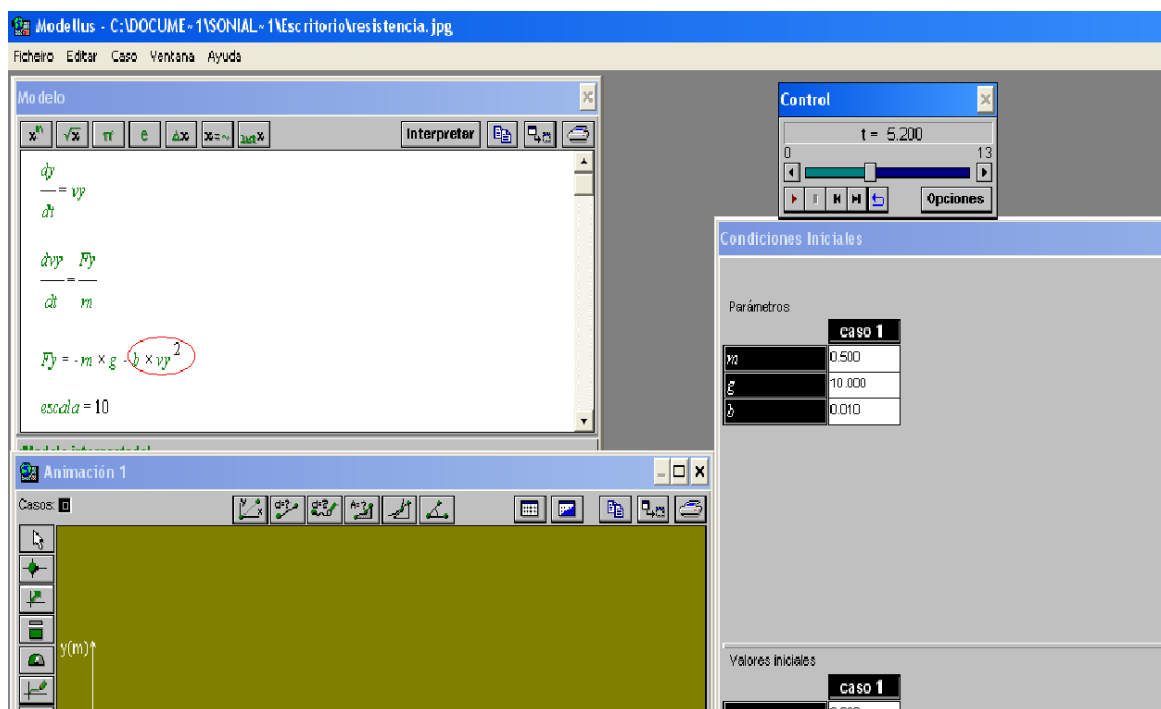


Figura 5.3. Vista de la pantalla del modelo computacional para la resistencia en caída vertical.

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.

Los estudiantes trabajan en grupo (duplas o tríos) y las situaciones problema que se plantean son: objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical, un cuerpo que oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso y un niño en un columpio que es empujado por su padre. Estos modelos pueden ser reconstruidos las veces que sea necesario hasta que aporten resultados satisfactorios a su constructor.

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.

Lo anterior nos permite considerar que la actividad de modelación computacional de modo expresivo aporta importantes evidencias de aprendizaje significativo -en el sentido propuesto por Ausubel-, considerando la construcción de modelos como situaciones nuevas a las que se enfrentan los estudiantes en el proceso de aprendizaje.

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 (anexo I) 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 las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes en el proceso de construcción de materiales de enseñanza y la manera como la modelación computacional favorece este proceso.

Actividad 14. Diseño del trabajo final

Como trabajo final del curso se 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; sin embargo, al final de la implementación de la propuesta didáctica se destinan cuatro horas para que los estudiantes puedan culminar su trabajo con la orientación del profesor; y donde además puedan interactuar con los demás compañeros del curso. Este trabajo se realiza en grupos (duplas o tríos).

Una vez más, se tiene como propósito valorar en los estudiantes los intentos de transposición didáctica durante el proceso de diseño de una propuesta didáctica basada en la modelación computacional. En este sentido, la producción de materiales de enseñanza y estrategias didácticas por parte de los estudiantes, es valorada a la luz de la Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard, con miras a formar futuros profesores de Física con visiones epistemológicas más coherentes con las concepciones actuales sobre la ciencia y su enseñanza, que les permita llevar a cabo una adecuada transposición didáctica -transformación del saber a enseñar en el saber enseñado- en el proceso de construcción de modelos para ser implementados con sus futuros estudiantes.

Dado que llevar a cabo un adecuado proceso de transposición didáctica, implica, además del saber disciplinar, el conocimiento de aspectos epistemológicos y didácticos relacionados con ese saber; la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira desempeña un papel fundamental en la implementación de esta propuesta didáctica, posibilitando la valoración de todos sus principios -disciplinares, epistemológicos y didácticos- a través de las actividades de modelación científica, abordadas a partir de la modelación computacional y el uso del diagrama AVM.

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. Cada estudiante está encargado de una parte de la presentación de su propuesta en la que son explicitados todos los pormenores considerados tanto en el diseño como en la ejecución de las propuestas didácticas formuladas. 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.

La propuesta didáctica aquí descrita es implementada -con algunas variaciones- en los tres estudios que integran esta tesis y que se describen de manera detallada en los capítulos 6, 7 y 8. A continuación se realiza la descripción del primer estudio.

Capítulo 6

ESTUDIO I

Objetivos

- Valorar la contribución de las actividades de modelación computacional y el diagrama AVM al aprendizaje significativo del campo conceptual de la dinámica Newtoniana.
- Determinar la influencia de las actividades de modelación computacional en la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos.

Contexto

Teniendo en vista que el interés de este estudio se centró en una situación que se quería investigar con el propósito de lograr una comprensión global sobre ella, optamos por realizar un estudio de casos instrumental (Stake, 1998). El caso de estudio o unidad de análisis estuvo determinado por un grupo de 23 estudiantes del curso de Física I de la Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad de Antioquia.

Este estudio (López Ríos, Veit y Araujo, 2011) fue realizado durante el primer semestre académico de 2008 y para ese entonces, los estudiantes participantes en él habían cursado tan solo una asignatura del campo de la Física, denominada Introducción a la Física y

enfocada solo al tratamiento de aspectos conceptuales que pretendían aportar una visión general de los contenidos de esta disciplina.

6.1 Fases del estudio

Este proceso de investigación se llevó a cabo por medio de la intervención directa en el aula de clase, buscando propiciar la interacción profesor-alumno-modelación computacional en el proceso de aprendizaje de conceptos físicos. El primer estudio que constituyó esta tesis estuvo conformado por tres fases o etapas fundamentales: recolección de la información inicial, aplicación de la propuesta didáctica y recolección de la información final. Las diferentes etapas con sus respectivas actividades e instrumentos de recolección de datos, objetivos y duración, se muestran en la tabla 6.1.

6.1.1 Recolección de la información inicial

Aplicación del *test FCI*: en coherencia con el referente teórico abordado, en esta primera fase de la investigación se pretendió identificar los conceptos previos (acerca de la dinámica Newtoniana) pertinentes y disponibles en la estructura de conocimiento de los estudiantes, el grado de apropiación de estos conceptos y las relaciones que pueden establecer entre ellos. Para ello se utilizó como *pretest*, el *test* americano *Force Concept Inventory (Test FCI)*, que fue aplicado en la primera sesión de la intervención realizada con el grupo de los 23 estudiantes, con una duración de dos horas.

6.1.2 Propuesta didáctica

La propuesta didáctica concreta contempla varias actividades de modelación computacional de modo exploratorio dirigido haciendo uso del diagrama AVM, que de acuerdo con la fundamentación teórica adoptada, constituyen el material potencialmente significativo. Este tipo de actividades son implementadas partiendo de la idea de que la modelación computacional puede ser una estrategia particularmente útil para lograr una motivación del estudiante hacia el aprendizaje, condición necesaria para que se dé un aprendizaje significativo desde la perspectiva ausubeliana.

Tabla 6.1. Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio I.

Etapas	Actividades e Instrumentos de recolección de datos	Objetivo	Duración
Recolección de la información inicial	<i>Test Force Concept Inventory (FCI)</i>	Conocer el dominio que tenían los estudiantes acerca de los principales conceptos de la dinámica Newtoniana.	2 horas
Propuesta didáctica	1. Presentación del profesor investigador sobre la metodología de trabajo a ser desarrollada, algunas ideas y estrategias de la modelación computacional; y los modos posibles de implementar la modelación computacional a la enseñanza (modo exploratorio y expresivo).	Brindar elementos para desarrollar de manera adecuada las actividades de modelación computacional.	2 horas
	2. Presentación del diagrama AVM y su utilización en las actividades de modelación computacional	Dar a conocer los elementos del diagrama AVM y su papel en el desarrollo de actividades de modelación computacional.	2 horas
	3. Manejo del programa de modelación computacional <i>Modellus 2.5</i> , con el que fueron diseñados todos los modelos computacionales de este estudio.	Familiarizar a los estudiantes con el manejo del programa <i>Modellus 2.5</i> .	2 horas
	4. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM (Modelos para cinemática)	Familiarizar a los estudiantes con el uso del diagrama AVM para actividades de modelación computacional.	8 horas (4 sesiones)
	5. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM (Modelos para dinámica)	Explorar modelos computacionales mediante el uso del diagrama AVM como una herramienta potencialmente significativa.	10 horas (5 sesiones)
Recolección de la información final	<i>Test Force Concept Inventory (FCI)</i>	Detectar alguna posible evolución de los estudiantes en la comprensión de conceptos de dinámica Newtoniana.	2 horas
	Entrevista semi-estructurada	Percibir el significado atribuido por los estudiantes a las actividades de modelación computacional con diagrama AVM.	15 minutos

Las actividades de modelación computacional de modo exploratorio, fueron elegidas para este estudio por permitir a los estudiantes la observación, análisis e interacción con modelos computacionales ya construidos. Dado que los estudiantes se encontraban cursando la primera asignatura de Física, es difícil pensar que este tipo de modelos pudiesen ser diseñados por ellos mismos.

Las actividades de modelación hicieron parte de la programación del curso, siendo implementadas como un complemento al trabajo de laboratorio en un momento posterior al estudio de los respectivos contenidos. Las diferentes actividades que conformaron la propuesta didáctica y sus respectivos instrumentos de recolección de datos se describen a continuación, asignando a cada una de ellas un número que permitirá una mejor identificación en la sección correspondiente al análisis de resultados.

Actividad 1. Presentación de ideas y estrategias relativas a la modelación computacional: en la primera sesión de la propuesta didáctica se realizó una exposición por parte del profesor investigador, quien dio a conocer la metodología de trabajo que sería implementada. Para este propósito se realizó una presentación sobre la concepción de la modelación computacional y los modos posibles de implementarla a la enseñanza (modo exploratorio y modo expresivo).

Actividad 2. Presentación del diagrama AVM: la segunda sesión de la propuesta didáctica se dedicó a la presentación y discusión de los elementos del diagrama AVM (versión original) y a su utilización en actividades de modelación computacional; para lo cual se realizó una minuciosa presentación y discusión acerca de todos los elementos que componen dicho diagrama, haciendo especial énfasis en componentes como: el fenómeno de interés, la situación problema, las predicciones, las preguntas foco, entre otros. Posteriormente se hizo entrega a los estudiantes de un diagrama AVM en el que se hacía una breve descripción de cada uno de sus campos. También se plantearon algunos ejemplos concretos de modelos computacionales y su respectivo análisis con la ayuda del diagrama AVM. Las reacciones de los estudiantes no se hicieron esperar; y éstas se manifestaron en términos de la complejidad que le atribuían a este diagrama tanto por su forma -la cual sugería una permanente interacción entre dominio conceptual y metodológico- como por la comprensión del significado de la gran mayoría de sus componentes.

Actividad 3. Manejo del programa de modelación computacional *Modellus 2.5*: durante esta sesión que tuvo una duración de dos horas, el profesor investigador presentó a los estudiantes las características y potencialidades del programa *Modellus 2.5* con el que fueron diseñados todos los modelos computacionales que hicieron parte de este estudio. Para este efecto, se mostraron algunos ejemplos de modelos computacionales ya construidos y se realizaron algunas actividades prácticas de construcción de modelos computacionales; todo esto con el propósito de familiarizar a los estudiantes con el manejo del programa de modelación computacional.

Actividad 4. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM (Modelos para cinemática): estas actividades fueron desarrolladas en la sala de informática, donde los estudiantes trabajaron en grupo, formándose once grupos, diez duplas y un trío (un grupo por computador); y les fueron presentados una serie de modelos computacionales para el estudio de conceptos de cinemática. Para cada una de estas actividades -con una duración de dos horas- fue presentado un modelo computacional y se hizo entrega del diagrama AVM en papel, en el que se definían sólo algunos de sus componentes (fenómeno de interés, situación-problema, preguntas foco y filosofía); y los estudiantes tenían como tarea definir los demás elementos del dominio conceptual y todos los elementos del dominio metodológico, a partir de la exploración del modelo.

Este diagrama AVM completamente diligenciado debía ser entregado al profesor investigador al finalizar cada sesión, después de haber interactuado con los respectivos modelos; para lo cual tenían la posibilidad de modificar las condiciones iniciales de éstos a partir de la inserción de valores iniciales, controles de ejecución, barras de desplazamiento y botones; además, de poder visualizar la estructura matemática del modelo que estaba siendo analizado.

Durante estas actividades, hubo permanente acompañamiento a los estudiantes por parte del profesor investigador para atender inquietudes relacionadas tanto con el manejo del *software* como con aspectos físicos y matemáticos involucrados en la ejecución de los modelos. Además, se permitió a los estudiantes la consulta libre a textos de apoyo y a las notas de clase durante la realización de las actividades.

Las actividades de modelación computacional sobre cinemática, fueron desarrolladas durante cuatro sesiones -una sesión para cada modelo- en las que se tenía como principal propósito familiarizar a los estudiantes tanto con la operación del *software* utilizado como con el uso del diagrama AVM para actividades de modelación computacional.

Las cuatro actividades de cinemática implementadas en este estudio fueron denominadas como: movimiento rectilíneo uniforme, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, caída libre y tiro parabólico. Las vistas de pantalla de cada modelo computacional, así como los respectivos diagramas AVM aportados a los estudiantes para la exploración de dichos modelos, pueden verse en el anexo J.

Actividad 5. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM (Modelos para dinámica): las actividades de modelación computacional sobre dinámica fueron desarrolladas en los mismos grupos de trabajo conformados para las actividades de cinemática; siguiendo además, la misma metodología implementada para la exploración de los modelos a partir del diagrama AVM.

La implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM para abordar el campo de la dinámica Newtoniana, tenía como propósito facilitar en los estudiantes el aprendizaje significativo de conceptos como: sistemas de referencia, movimiento, posición, velocidad, aceleración, fuerza y masa. Y tales conceptos fueron abordados a partir de cinco modelos computacionales denominados: relación fuerza-aceleración, fricción entre sólidos, máquina de Atwood, física en el ascensor y el fenómeno del paracaídas. Las vistas de pantalla para cada uno de estos modelos y los diagramas AVM que orientaron su exploración son mostrados en el anexo K.

6.1.3 Recolección de la información final

Aplicación del *test FCI*: finalizado el proceso de intervención con el material potencialmente significativo (actividades de modelación computacional con diagrama AVM), se aplica nuevamente el *test FCI* como un instrumento que aporta información sobre la comprensión lograda por los estudiantes acerca de los conceptos de dinámica Newtoniana abordados en las actividades de modelación computacional. Sin embargo, es importante esclarecer que dicha

comprensión fue esencialmente valorada a partir de los diferentes instrumentos de recolección de datos implementados a lo largo del estudio.

Entrevista semi-estructurada: con el objetivo de tener una percepción acerca del significado atribuido por los estudiantes a las actividades de modelación computacional con diagrama AVM realizadas durante la intervención, se realizó una entrevista siguiendo un protocolo de entrevista semi-estructurada, que favoreció un diálogo espontáneo y fluido por parte de cada uno de los sujetos entrevistados de modo individual, con una duración de aproximadamente quince minutos por estudiante.

En la entrevista participaron diez de los estudiantes del curso elegidos aleatoriamente. Éstos fueron entrevistados individualmente luego de concluir el proceso de intervención con las actividades de modelación computacional y las preguntas planteadas fueron: 1. ¿Cuál es la pertinencia de las actividades de modelación computacional con diagrama AVM en la clase de Física? Y 2. ¿De qué manera estas actividades favorecen la comprensión de los conceptos físicos abordados? Todas las entrevistas fueron grabadas y posteriormente transcritas.

6.2 Análisis y discusión de resultados

Se presenta en esta sección un análisis cuantitativo y cualitativo de la información obtenida en este estudio a partir de los diferentes instrumentos utilizados para la recolección de los datos. El análisis de la información obtenida a partir del *pretest* y *postest*, observación, cuaderno de notas, la entrevista y los diagramas AVM realizados por los estudiantes, se realiza a partir de un establecimiento de categorías y un posterior análisis interpretativo y descriptivo donde se presentan los resultados y significados más relevantes en relación con el problema de investigación. El análisis cuantitativo es aplicado al *pretest* y *postest* y el análisis cualitativo del resto de la información obtenida se hace mediante la categorización, análisis, interpretación y descripción de ésta; sin desconocer el aspecto puramente emotivo como son las reacciones y actitudes de los estudiantes frente a las actividades soportadas por la modelación computacional de modo exploratorio, que de alguna manera se convierten en un indicativo de su aceptación o rechazo.

Análisis cuantitativo (*pretest* y *posttest*)

En la tabla 6.2 son mostrados de manera resumida los resultados del análisis de consistencia interna de los datos para los dos *test* (*pretest* y *posttest*), a partir de la determinación del coeficiente de fiabilidad alfa de Cronbach (Cronbach, 1951). El bajo valor obtenido para dicho coeficiente en relación con el *pretest* muestra que este *test* no logró establecer una discriminación de los conocimientos de los estudiantes; posiblemente porque el nivel de conocimiento en este momento era tan bajo, que no era posible diferenciarlo. Sin embargo, en el *posttest*, donde los estudiantes lograron un mejor desempeño, el poder de discriminación del *test* (0.74) es satisfactorio. El análisis de consistencia interna del *pretest* y *posttest* nos da una idea del estado en el que se encontraban los estudiantes con respecto a la comprensión de algunos de los conceptos del campo de la dinámica Newtoniana al iniciar el proceso de intervención; pero también nos permite observar de qué manera se logra una evolución en el aprendizaje de estos conceptos.

Tabla 6.2. Resumen del análisis de consistencia interna del *pretest* y *posttest*.

<i>Test FCI</i>	Número de estudiantes	Media del puntaje total	Desviación estándar del puntaje total	Alfa de Cronbach
<i>Pretest</i>	23	0.30	0.46	0.40
<i>Posttest</i>	23	0.59	0.49	0.74

El análisis del *test FCI* se hace con base en las seis categorías propuestas por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992), que comprenden el concepto de fuerza desde una perspectiva Newtoniana. Estas categorías y sus respectivos ítems se muestran en la tabla 5.1 (sección 5.1.3); y son adoptadas para el análisis del *pretest* y *posttest* aplicados en este estudio, teniendo en cuenta que “éstas permiten realizar el análisis conceptual y la interpretación de los resultados del *test*” (Hestenes y Halloun, 1995a).

Como ya fue mencionado, este *test* que se constituye en uno de los instrumentos de recolección de datos implementados en esta investigación, fue utilizado como *pretest* al inicio de este estudio, con el objetivo de conocer el grado de conceptualización previo que tenían los estudiantes con respecto a los conceptos esenciales para la comprensión del concepto de fuerza y por supuesto de la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento. También fue utilizado como *posttest* al finalizar la intervención con el

propósito de valorar la eficacia de la propuesta didáctica implementada en el aula de clase, en términos de conocer la evolución conceptual lograda por los estudiantes en relación con algunos conceptos de dinámica Newtoniana. El respectivo análisis y discusión es realizado a partir de la valoración de las respuestas de los estudiantes para cada una de las seis categorías previamente establecidas. No obstante, es importante aclarar que los resultados obtenidos no fueron utilizados para tomar decisiones sobre los estudiantes a nivel individual; y el progreso de los estudiantes en el campo de la dinámica Newtoniana fue esencialmente valorado a partir de los diferentes instrumentos de recolección de datos implementados en este estudio.

El análisis y discusión de los resultados del *test FCI* es realizado a partir de la valoración de las respuestas de los estudiantes para cada una de las seis categorías previamente establecidas. El desempeño de los estudiantes en el *pretest* y *postest* en las diferentes categorías del *test FCI* es mostrado en la tabla 6.3; donde el puntaje total para determinada categoría se obtiene al sumar el puntaje de cada estudiante para cada uno de los ítems que componen esa categoría.

Tabla 6.3. Desempeño de los estudiantes en las categorías de análisis del *pretest* y *postest*.

Categorías de análisis del <i>test</i>	Puntaje máximo posible	Puntaje total <i>pretest</i>	Puntaje total <i>postest</i>	N	T	Nivel de significancia (Wilcoxon) α
1. Cinemática	138	41	98	22	0	0.01
2. Primera ley	184	59	114	19	2	0.01
3. Segunda ley	92	41	69	19	13	0.01
4. Tercera ley	92	16	48	16	8	0.01
5. Superposición	92	21	47	17	16.5	0.01
6. Clases de fuerza	299	93	167	21	6	0.01
Global	690	208	404	22	0	0.01

En las tres últimas columnas de la tabla 6.3 se muestran los resultados de la aplicación de la prueba no paramétrica de Wilcoxon (Siegel, 1972), que aporta los valores de N, T y su respectivo nivel de significancia, permitiendo detectar una diferencia estadísticamente significativa entre *pretest* y *postest* para las seis categorías del *test* y para el desempeño global. El análisis fue realizado con el paquete estadístico SPSS, versión 16.0. La tabla de valores críticos de T en la prueba de los rangos señalados de pares igualados de Wilcoxon

(ibid., p. 288), sugiere que puede rechazarse H_0 (el desempeño de los estudiantes en el *pretest* no difiere de su desempeño en el *postest*) a un nivel de significancia 0.01; lo que implica que se acepta H_1 : el puntaje de los estudiantes en el *pretest* es diferente de su puntaje en el *postest*.

En relación con la primera categoría denominada cinemática (tabla 5.1, sección 5.1.3); la aplicación del *test FCI* como *pretest* pone de manifiesto dificultades de los estudiantes en relación con los conceptos “intervalo de tiempo” e “instante de tiempo”; conceptos entre los cuales no se establece una clara diferenciación, considerándolos como equivalentes. Estas mismas dificultades son encontradas por Henderson (2002); y Covián y Celemín (2008). Dentro de esta misma categoría se encuentra que dieciséis de los veintitrés estudiantes no tienen claro los conceptos de movimiento, posición, velocidad y aceleración, por lo que no establecen diferencias entre ellos. Por ejemplo, no conciben la aceleración como un cambio de velocidad en el tiempo; y de hecho, no consideran relación alguna entre estas dos variables.

En relación con la categoría 2 referente a la primera ley de Newton, puede decirse que quince estudiantes no poseen una clara comprensión de esta primera ley, mostrando una fuerte tendencia a una visión aristotélica del movimiento. Estos mismos estudiantes consideran que no es posible que un objeto pueda estar en movimiento sin que exista una fuerza neta aplicada sobre él; es decir, no establecen relación entre la velocidad constante y la ausencia de una fuerza neta. De igual manera, no hay evidencia en los estudiantes de un reconocimiento del efecto de la fuerza de fricción sobre un objeto en movimiento.

La tercera categoría, denominada segunda ley de Newton tiene como objetivo reconocer las relaciones establecidas por los estudiantes entre los conceptos de fuerza y aceleración. En el *pretest* se evidencian dificultades en trece de los veintitrés estudiantes para identificar las fuerzas que actúan sobre un objeto en movimiento y determinar la función de éstas. Asimismo, nueve estudiantes tienen problemas para comprender el concepto de aceleración, dificultándoles el establecimiento de una relación entre éste y el concepto de fuerza. En relación con esta misma categoría, diecisiete de los veintitrés estudiantes no logran atribuir una aceleración constante a la aplicación de una fuerza constante; considerando que sólo hay aceleración en el caso en que la fuerza es incrementada.

Para la cuarta categoría denominada tercera ley, en el *pretest* se encuentra que veintiuno de los veintitrés estudiantes no hacen una adecuada interpretación del término interacción; presentando serias dificultades en comprender el sentido de los pares de fuerza; es decir, el par acción-reacción; pues normalmente al analizar la interacción entre dos objetos, le atribuyen un efecto dominante al objeto de mayor masa, asumiendo que es éste quien ejerce la mayor fuerza y no reconociendo que la fuerza ejercida por éste sobre el objeto de menor masa es exactamente igual en magnitud a la que el objeto de masa menor ejerce sobre el de mayor masa.

La categoría 5 que se designa como superposición hace referencia principalmente al vector suma de fuerzas y a la cancelación de las mismas; y a partir del análisis de esta categoría en el *pretest*, se encuentra que dieciocho estudiantes presentan dificultades tanto en el reconocimiento de las fuerzas como en la comprensión de las direcciones en que éstas actúan; razón por la cual se torna más complicado para ellos comprender conceptos como fuerza resultante o fuerza neta. Un caso especial en el que se hace evidente esta dificultad, se da cuando en un sistema estudiado se introduce el concepto de fuerza de fricción, el cual es bastante abstracto para los estudiantes.

Por último, en la categoría 6 denominada clases de fuerza, se encuentran varios obstáculos conceptuales de los estudiantes o creencias de sentido común que entorpecen la comprensión del concepto de fuerza en general; y en particular de las diferentes clases de fuerzas. Concretamente, dieciséis de los veintitrés estudiantes tienen una creencia que se remonta a los tiempos de Aristóteles, que es bastante arraigada y que se pone de relieve en el *pretest*; y es que tienen una fuerte tendencia a considerar que la caída de los objetos tiene una relación directa con su masa; es decir, que los objetos más pesados caen más rápido que los objetos livianos. En esta misma categoría para el análisis del *pretest* se hace referencia a la dificultad de quince de los estudiantes para comprender el movimiento de objetos en medios resistivos.

Al aplicar el *test FCI* como *postest* se encuentra -en términos generales- un progreso significativo de los estudiantes en la comprensión de los conceptos de dinámica Newtoniana, en relación con el *pretest* (tabla 6.3); logrando que más de la mitad de los estudiantes del curso adquirieran una comprensión adecuada de los conceptos involucrados en cuatro de las categorías del *test FCI*. Sin embargo, el *postest* pone de manifiesto la

persistencia de algunas dificultades, describiéndose a continuación las más considerables: en relación con la cuarta categoría del *test*, denominada tercera ley, donde trece estudiantes aún no logran una adecuada comprensión del término interacción, atribuyéndole un efecto dominante al objeto de mayor masa. De la misma manera, para la categoría 5 llamada superposición, once estudiantes continúan teniendo dificultades en la comprensión del concepto de fuerza resultante o fuerza neta. Y en cuanto a la categoría 6 designada como clases de fuerza, diez estudiantes aún no han adquirido una buena comprensión del movimiento de objetos en medios resistivos.

Los resultados encontrados en el *pretest* guardan una gran coherencia con las visiones de autores como Watts y Zylbersztajn, 1981; Sebastia, 1984; Terry, Jones y Hurford, 1985; Halloun y Hestenes, 1985a, 1985b; Hewson, 1990; Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992; Valente y Neto, 1992; Hennessy et al., 1995; Li, Borne y O'shea, 1996; Talim, 1999; Tao y Gunstone, 1999; Veit, Mors y Teodoro, 2002; Benegas et al., 2006; Tasar, 2006; entre otros, en relación con las dificultades presentadas por los estudiantes para la comprensión de conceptos de mecánica Newtoniana.

Análisis cualitativo (observación, diagramas AVM, entrevista, cuaderno de notas)

Consideradas las fortalezas y dificultades encontradas en el *pretest* en el reconocimiento de las concepciones previas de los estudiantes en relación con los principales conceptos de la dinámica Newtoniana, se procede al diseño e implementación de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM. Fueron diseñados nueve modelos computacionales, donde cuatro de ellos estaban dirigidos al abordaje de tópicos de cinemática y los otros cinco se concentraron concretamente en el estudio de fenómenos relacionados con la dinámica Newtoniana. Evidentemente, la propuesta didáctica implementada a partir del uso de la modelación computacional para la enseñanza de conceptos físicos, fue considerada una novedad tanto para aquellos estudiantes que ya habían cursado esta asignatura una y dos veces, como para quienes se enfrentaban a ella por primera vez.

Los modelos computacionales fueron ampliamente valorados por los estudiantes, quienes en sus testimonios al ser entrevistados resaltaron sus potencialidades en cuanto a la visualización de fenómenos físicos de una forma más amigable y comprensible de como

éstos eran vistos en un laboratorio o en una clase de Física convencional. Y el hecho de haber incluido el uso del diagrama AVM para orientar el desarrollo de las actividades de modelación computacional, sin lugar a dudas le dio un valor agregado a esta propuesta didáctica.

Modelos computacionales relativos a la Cinemática

En relación con el campo de la cinemática fueron diseñados cuatro modelos computacionales (Anexo J) para abordar tópicos como: Movimiento Rectilíneo Uniforme (MUR), Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA), Caída libre y Tiro parabólico. Como ya se mencionó, estos primeros cuatro modelos fueron implementados con el objetivo de familiarizar a los estudiantes tanto con el uso del *software Modellus* en actividades de modelación de modo exploratorio, como con la definición de cada uno de los componentes del diagrama AVM. Del mismo modo, con estas actividades también se tenía como propósito clarificar algunas de las dificultades de los estudiantes en la comprensión con el campo de la cinemática, detectadas a partir de la aplicación del *pretest* y descritas en la primera categoría de análisis del mismo.

Para realizar el análisis de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, en coherencia con este último, se opta por el establecimiento de dos grandes categorías de análisis: el dominio conceptual y el dominio metodológico; considerando los principales componentes de estos dominios como las subcategorías de análisis. Además de los diagramas AVM aportados por los estudiantes, instrumentos de recolección de datos como la observación y el cuaderno de notas fueron implementados durante el desarrollo de las actividades de modelación computacional y aportaron información sumamente importante para la valoración de los resultados obtenidos en este estudio.

Las categorías de análisis para los modelos computacionales con diagrama AVM son mostradas en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Categorías de análisis para modelos computacionales con diagrama AVM.

Categorías de análisis del diagrama AVM	Subcategorías de análisis del diagrama AVM
1. Dominio conceptual	1.1 Teorías, principios, teoremas y leyes
	1.2 Idealizaciones
	1.3 Variables y parámetros
	1.4 Relaciones
	1.5 Resultados conocidos
	1.6 Predicciones
2. Dominio metodológico	2.1 Datos colectados
	2.2 Representaciones
	2.3 Validación del modelo
	2.4 Respuesta a las preguntas foco

En las actividades computacionales relativas a la cinemática desarrolladas al inicio de la intervención, fue evidente la gran dificultad que tuvieron los estudiantes para entender la función del diagrama AVM en la interacción con los modelos computacionales. Se les hizo particularmente difícil comprender que cada uno de los componentes del diagrama debía ser diligenciado a partir de la interacción con el modelo computacional correspondiente al fenómeno físico estudiado. La gran mayoría de los estudiantes tomaron un buen tiempo en la interacción con el modelo computacional y no lograron establecer relaciones claras entre los elementos de éste y los componentes del diagrama AVM respectivo.

Para cada diagrama AVM que los estudiantes debían diligenciar eran aportados previamente componentes como: el fenómeno de interés, la situación-problema, las preguntas foco y la filosofía; siendo los tres primeros los elementos ubicados en el centro del diagrama (Anexo J). Se optó además por aportar el componente relacionado con la filosofía o sistema de creencias subyacente al proceso de modelación de la situación problema, por considerar que los alumnos no estaban en capacidad de hacer este tipo de formulación y que este componente haría más compleja una tarea que de por sí ya lo era.

En relación con las actividades de cinemática (Movimiento Rectilíneo Uniforme, Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado, caída libre y tiro parabólico), en la categoría designada como Dominio Conceptual se pudieron hacer las siguientes observaciones:

- En relación con las teorías, principios, teoremas y leyes, los estudiantes en su gran mayoría tuvieron serias dificultades en definir este componente; pues además de no identificar claramente las diferencias existentes entre estos conceptos, argumentaban no conocer cuáles de estos subyacen al modelo que estaba siendo analizado. Lo que hizo que en algunos casos optaran por escribir definiciones textuales acerca de alguno de los conceptos involucrados en el modelo o del fenómeno como tal. Otros se inclinaron por hacer una descripción del modelo que estaban observando en el computador; pero la respuesta más recurrente fue considerar que la teoría que explicaba el fenómeno físico representado en el modelo computacional era el mismo fenómeno, obteniendo aquí respuestas como: movimiento rectilíneo uniforme, caída libre, entre otras. Algunos de los estudiantes incluso se refirieron a las leyes de Newton para abordar fenómenos puramente relacionados con la cinemática; otros estudiantes incluso, escribían ecuaciones como teorías. Lo más asombroso fue percibir la manera en que la mayoría de estudiantes no lograron asimilar la cinemática como una teoría general en la cual podían enmarcarse los fenómenos que estaban siendo analizados. Un reducido número de estudiantes (6) lograron identificar la cinemática como la teoría que regía dichos fenómenos.

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de las teorías, principios, teoremas y leyes a partir de la exploración de los modelos computacionales que representan fenómenos relativos a la cinemática, se muestran en la tabla 6.5.

- En la segunda subcategoría del Dominio Conceptual se hace alusión a las Idealizaciones, entendidas como simplificaciones asumidas en la elaboración del modelo y que son hechas en relación con los referentes (objetos/fenómenos reales o supuestos que son modelados). Estas idealizaciones se hacen sobre objetos o hechos reales o supuestos como tales. En las actividades concernientes al campo de la cinemática, pocos estudiantes diligenciaron el campo relativo a las idealizaciones; y cuando lo hicieron, en su mayoría, no establecieron relaciones con los referentes del sistema físico modelado. Además, al formular algunas de estas

idealizaciones los estudiantes se refirieron a las que aparecen en los libros de texto.

Tabla 6.5. Respuestas de los estudiantes en relación con las *teorías, principios, teoremas y leyes* en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Teorías, principios, teoremas y leyes
Movimiento Rectilíneo Uniforme	1	“Se dice que una partícula está en movimiento cuando su posición cambia respecto a un punto de referencia, a medida que transcurre el tiempo”
	3	“Movimiento Rectilíneo Uniforme”
	7	“Movimiento Rectilíneo Uniforme, ley de inercia de Newton, todo cuerpo tiende a conservar su estado de reposo”
	9	“ $v = x/t$, esta es la ecuación del espacio recorrido en función del tiempo, que se utiliza en el movimiento uniforme”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	6	“Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado”
	2	“Cinemática”
	4	“Todo movimiento en línea recta puede ser acelerado o constante”
	9	“La aceleración permanece constante en cada instante”
Caída libre	6	“Caída libre y lanzamiento vertical”
	2	“ley de gravedad, leyes de Newton”
	11	“Cinemática y ley de gravedad”
	10	“Cinemática”
Tiro parabólico	1	“Cinemática”
	5	“Movimiento de proyectiles”
	9	“Ley de gravedad”
	4	“Cinemática: tiro parabólico”

La tabla 6.6 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de las idealizaciones, a partir de la exploración de los modelos computacionales que representan fenómenos relativos a la cinemática.

- En la tercera subcategoría del Dominio Conceptual se hace referencia a las variables, parámetros y sus representaciones -entendidas como propiedades y descriptores de estado relacionados con los referentes que constituyen el modelo computacional-, así como sus respectivas representaciones simbólicas. En este componente del diagrama AVM se asumen las variables como magnitudes que dependen del tiempo y los parámetros como magnitudes que permanecen fijas a lo largo del tiempo de interacción. En este campo, los estudiantes presentaron ciertos inconvenientes tanto en la identificación de estas variables y parámetros como en las representaciones simbólicas y en la manera de expresarlas; presentando algunas inconsistencias en la determinación de las unidades. También les fue difícil

establecer una diferenciación clara entre variables y parámetros, seguramente porque los dos primeros modelos trabajados solamente contenían uno de los elementos (las variables). Sin embargo, en las dos últimas actividades de cinemática (caída libre y tiro parabólico) se observó una comprensión un poco más clara de este componente del diagrama, aunque algunos estudiantes (9) persistían en ciertas dificultades en cuanto a la forma de expresarlas.

Tabla 6.6. Respuestas de los estudiantes en relación con las idealizaciones en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Idealizaciones
Movimiento Rectilíneo Uniforme	6	“Se desprecia la aceleración del carro”
	7	“Se desprecia la masa del carro y la resistencia del aire”
	8	“Se desprecia el efecto del viento y la fricción con el piso”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	1	“Es imposible pensar que la aceleración es constante, es absurdo pensar que no hay fuerzas de fricción”
	4	“Teniendo en cuenta la fricción de las llantas con el suelo”
	7	“Se desprecia la fricción o fuerza de rozamiento”
Caída libre	1	“Se desprecia la gravedad, el peso”
	2	“Se desprecia la resistencia del aire”
	11	“Se desprecian las variaciones en la velocidad que ocurren por la resistencia del aire, el movimiento tiene una aceleración constante debido a la gravedad $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ”
Tiro parabólico	1	“el movimiento se considera con velocidad constante en toda su trayectoria”
	2	“Se desprecia la curvatura de la superficie de la tierra, rotación de la tierra y resistencia del aire”
	9	“No hay aire, modelo perfecto”

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de las variables y parámetros de los modelos computacionales explorados como representaciones de fenómenos de la cinemática, pueden verse en la tabla 6.7.

- Posiblemente uno de los elementos que más complejidad generó en los estudiantes a la hora de diligenciar el diagrama AVM para las actividades de cinemática, fue el concerniente a las relaciones; aquellas de tipo matemático y/o proposicional que involucraban las variables y parámetros del modelo físico. Los estudiantes presentaron serias dificultades al pretender expresar en forma de ecuaciones las relaciones que regían el fenómeno físico que estaba siendo estudiado, al punto de recurrir al libro de texto para tratar de encontrar una ecuación relacionada con el fenómeno de

interés abordado en el modelo computacional. Esta gran dificultad puede ser atribuida a que los estudiantes estaban cursando a la par la asignatura de matemáticas II; y a la fecha de interacción con los modelos de cinemática, todavía no habían abordado las ecuaciones diferenciales que les hubiese permitido más fácilmente expresar estas relaciones como razones de cambio. Sin embargo, en la mayoría de los casos estas relaciones fueron expresadas en forma de funciones y en términos generales las respuestas fueron acertadas.

Tabla 6.7. Respuestas de los estudiantes en relación con *las variables y parámetros* en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Variables y parámetros
Movimiento Rectilíneo Uniforme	1	“ $v = m/s, x = m, t = s$ ”
	4	“velocidad, tiempo, posición, aceleración”
	7	“ $t (s), v(m/s), x(m)$ ”
	8	“Gráficos, tablas”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	2	“ $x (m), v (m/s), a (m/s^2)$ ”
	6	“ $t = \text{seg}, v = m/s, a = m/s^2, x = mt$ ”
	9	“ $t (s)$ tiempo, $x (m)$ distancia, $v (m/s)$ velocidad, $a (m/s^2)$ aceleración”
Caída libre	2	“variables: $h (m), t (s), v (m/s)$; parámetros: $g (m/s^2)$ ”
	4	“variables: tiempo (t) , posición (y) , velocidad (v) ; parámetros: aceleración (g) ”
	6	“ $v = m/s, t = \text{seg}, y = m$ ”
	9	“variables: tiempo $t (s)$, posición $y (m)$, velocidad $v (m/s)$; parámetros: gravedad $g (m/s^2)$ ”
Tiro parabólico	2	“variables: $v_x (m/s), v_y (m/s), x (m), y (m)$; parámetros: $g (m/s^2)$ ”
	3	“Parámetros: aceleración por la gravedad $g (m/s^2)$; variables: velocidad $v_x (m/s)$, velocidad $v_y (m/s)$, posición $x (m)$, posición $y (m)$, tiempo $t (s)$ ”
	6	“variables: t, x, y, v_x, v_y ; parámetros; g ”
	11	“posición $x, y [m]$, velocidad v_x y $v_y [m/s]$, tiempo $t [s]$, aceleración $g [m/s^2]$ ”

La tabla 6.8 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes que hacen referencia al campo de las relaciones de tipo matemático y/o proposicional inherentes a los modelos computacionales relativos a la cinemática.

Tabla 6.8. Respuestas de los estudiantes referentes a *las relaciones* en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Relaciones
Movimiento Rectilíneo Uniforme	6	" $v = x/t, x = vt, t = x/v$ "
	7	" $v = d/t$ "
	10	" $x = x_0 + vt, v = x/t$ "
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	4	" $x = x_0 + v_0t + 1/2at^2, v = v_0 + at, v = v_0^2 + 2ax$ "
	6	" $v = x/t$ "
	11	"para el carro a: $x_a = x_{0a} + v_{0a}t + 1/2a_a t^2, v_a = v_{0a} + a_a t$; para el carro b: $x_b = x_{0b} + v_{0b}t + 1/2a_b t^2, v_b = v_{0b} + a_b t$ "
Caída libre	2	" $F = ma, y = 1/2gt^2, a = dv/dt$ "
	6	" $y = y_0 + v_0t + 1/2gt^2, v = v_0 + gt$ "
	9	" $y = y_0 + v_0t + 1/2gt^2, v = v_0^2 + 2gy, v = v_0 + gt$ "
Tiro parabólico	1	" $y = y_0 + v_0t + 1/2gt^2, v_f = v_0^2 + 2gy, v_f = v_0 + gt$ "
	5	"para eje x: $v = \text{constante}, x = v_0 * \cos(\alpha) * t, v_x = v_0 * \cos(\alpha)$; para eje y: $y = v_0 * \text{sen}(\alpha) * t + 1/2 * g * t^2, v_y = v_0 * \text{sen}(\alpha) + g * t$ "
	11	" $v_x = v_{0x} = v_0 * \cos(\text{ángulo}), v_y = v_0 * \text{sen}(\text{ángulo}) + g * t$,

- Sin duda alguna los resultados conocidos que permiten una validación inicial del modelo computacional, fue otro de los componentes más difíciles de comprender en el diseño del diagrama AVM (por lo menos en las dos primeras actividades de cinemática); pues éstos requerían de una buena comprensión por parte de los estudiantes acerca del fenómeno físico estudiado; y aunque los contenidos conceptuales habían sido abordados previamente en el curso teórico, posiblemente no habían sido aún bien asimilados por ellos.

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes referentes al campo de los resultados conocidos, con base en la exploración de los modelos computacionales relativos a la cinemática, se muestran en la tabla 6.9.

- En cuanto a las predicciones que se traducen en tentativas de respuesta para las preguntas foco, realizadas en un momento previo a la exploración del modelo computacional, fue difícil conseguir (sobre todo en las dos primeras actividades) que éstas pudieran ser realmente formuladas en un momento previo al contacto con el modelo. Pues cuando se logró dicha formulación, los estudiantes optaron por interactuar con el modelo, responder las preguntas foco y a partir de ellas expresar las predicciones; que en términos generales resultaron siendo las mismas respuestas. Sin embargo, fue uno de

los campos del diagrama AVM que mayor dificultad causó a los estudiantes; además de que en pocas ocasiones se formularon predicciones para cada una de las preguntas foco, normalmente era escrita sola una predicción general.

Tabla 6.9. Respuestas de los estudiantes referentes a los resultados conocidos en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Resultados conocidos
Movimiento Rectilíneo Uniforme	1	“El tiempo transcurre consecutivamente, mientras el auto pasa de movimiento a reposo y viceversa en los intervalos de tiempo (el tiempo y distancia aumentan)”
	6	“el carro recorre distancias iguales en tiempos iguales”
	9	“ $v = x/t$ ”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	2	“A medida que aumenta la velocidad aumenta la aceleración”
	8	“La rapidez y la velocidad no son constantes”
	10	“Si hay un cambio de velocidad, hay una aceleración y en cualquier punto del recorrido la aceleración es igual”
Caída libre	4	“es un movimiento acelerado por efectos de la gravedad”
	7	“En un movimiento de caída libre, la aceleración tiene un valor constante”
	11	“ En la caída libre de un cuerpo, la velocidad aumenta a medida que pasa el tiempo debido a la gravedad”
Tiro parabólico	2	“Es un movimiento con aceleración constante”
	5	“El movimiento en el eje x es uniforme y en el eje y es uniformemente acelerado”
	10	“Para el eje x la velocidad es constante y la distancia aumenta mientras el tiempo transcurre; y para el eje y la velocidad disminuye hasta que el cuerpo llega a una altura máxima y luego descendi sometido a los efectos de la aceleración gravitacional”

La tabla 6.10 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de las predicciones, con base en la exploración de los modelos computacionales relativos a la cinemática.

Para estos mismos cuatro modelos computacionales, el análisis de la categoría denominada Dominio Metodológico, permite realizar las siguientes observaciones:

- En lo referente a los datos colectados, la gran mayoría de estudiantes acertaron al identificar todos los registros del modelo computacional que eran susceptibles de interpretación y generaban información relevante para dar respuesta a las preguntas foco planteadas. Por supuesto hubo excepciones, donde algunos estudiantes (7) no identificaron parte de los

datos por encontrarse (algunas veces) implícitos en el modelo computacional.

Tabla 6.10. Respuestas de los estudiantes referentes a las predicciones en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Predicciones
Movimiento Rectilíneo Uniforme	2	“La velocidad del carro es constante” “cuando el carro se detiene el tiempo sigue avanzando”
	6	“La velocidad es constante”
	7	“Un movimiento rectilíneo que podría ser con velocidad constante”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	1	“La velocidad aumenta a medida que transcurre el tiempo”
	3	“La velocidad del carro aumenta” “La aceleración no presenta ningún cambio con respecto a la aceleración inicial; es decir, mientras la aceleración es constante, la velocidad aumenta”
	10	“La velocidad aumenta porque hablamos de un movimiento acelerado y cuando hablamos de aceleración hablamos de un cambio en la velocidad” “La aceleración se mantiene constante”
Caída libre	2	“La piedra tiene una aceleración constante debido a la gravedad y cuando cae su velocidad aumenta por esta razón”
	7	“La piedra a medida que va cayendo adquiere mayor velocidad” “La gravedad siempre es constante 9.8m/s^2 ”
	5	“La velocidad aumenta debido al aumento de aceleración”
Tiro parabólico	1	“En el punto más alto de la trayectoria, el balón alcanzará una velocidad igual a cero”
	2	“El movimiento queda determinado por la dirección de la velocidad inicial y la aceleración debida a la gravedad”
	9	“El balón recibe una velocidad inicial y su movimiento es en forma de parábola” “La aceleración se mantiene constante”

Son mostradas en la tabla 6.11 algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de los datos, con base en la exploración de los modelos computacionales relativos a la cinemática.

- En relación con las representaciones como: gráficos, animaciones, tablas u otras formas de transformaciones de los datos, los estudiantes mostraron al inicio de las actividades dificultades para identificar los diferentes vectores (ilustrados en el estudio de cada fenómeno) como una forma de representación de los datos. Sin embargo, las animaciones fueron claramente descritas y las gráficas que establecían relaciones entre variables, apropiadamente identificadas y expresadas.

Tabla 6.11. Respuestas de los estudiantes referentes a los datos en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Datos
Movimiento Rectilíneo Uniforme	1	“posición y velocidad del carro”
	4	“ $x(t)$, $v(t)$ ”
	7	“ v , d , t ”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	3	“ x_a , x_b , v_a , v_b , a_a , a_b , t_a , t_b ”
	5	“posición, velocidad, aceleración”
	9	“ $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ ”
Caída libre	2	“Posición, velocidad y aceleración con respecto al tiempo en el eje y ”
	8	$h(t)$, $v(t)$, $g(t)$
	11	$y(t)$, $v(t)$, $a(t)$
Tiro parabólico	1	“Para eje x : $x(t)$, $v(t)$; para eje y : $y(t)$, $v(t)$; $g(t)$ ”
	6	$x(t)$, $y(t)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $g(t)$
	10	$v(t)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $a_y(t)$

La tabla 6.12 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de las representaciones, con base en la exploración de los modelos computacionales referentes a la cinemática.

- La validación del modelo como componente del Dominio Metodológico del diagrama AVM en directa relación con los resultados conocidos (del Dominio Conceptual), generó igual dificultad que la formulación de estos mismos resultados. Considerando que los resultados conocidos fueron descritos con antelación al componente de validación del modelo y que éstos fueron deficientemente expresados; difícilmente podía establecerse una relación entre estos resultados conocidos y los generados por el modelo computacional, en términos de una comparación que permitiese deducir si efectivamente el modelo computacional generaba los resultados esperados.

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de la validación del modelo, con base en la exploración de los modelos computacionales relativos a la cinemática, son mostradas en la tabla 6.13.

Tabla 6.12. Respuestas de los estudiantes referentes a las representaciones en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Representaciones
Movimiento Rectilíneo Uniforme	6	“Animación: un auto en movimiento rectilíneo Gráficas: x contra t, v contra t”
	7	“Gráficas: x vs t, v vs t Animación de un carro sobre una calle recta”
	9	“Hay dos gráficas, una que relaciona la posición con el tiempo y otra que relaciona la velocidad con el tiempo; y una animación que representa el movimiento uniformemente rectilíneo de un carro”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	2	“Animación de dos autos en movimiento sobre una trayectoria en línea recta con aceleración constante; Gráficas: x contra t, v contra t, a contra t”
	5	“Dos vectores para cada carro, uno de velocidad y otro de aceleración; la animación de dos carros que se mueven en línea recta; gráficas: x (t), v (t), a (t)”
	8	“Gráficas correspondientes a la posición, velocidad y aceleración contra tiempo. Animación de dos carritos acelerándose. Vectores velocidad y aceleración”
Caída libre	4	“Animación de una piedra que es lanzada desde una torre y que cae libremente; gráficas: a (t), v (t), y (t)”
	6	“Representación de una piedra en caída libre; Gráficas: y contra t, v contra t, a contra t Vector: velocidad”
	10	“Animación de un sujeto en una torre arrojando en caída libre una piedra; Gráficas: v vs t, g vs t, y vs t”
Tiro parabólico	1	“ Un sujeto lanza un balón desde una posición x, describiendo una trayectoria parabólica; Vectores: velocidad en x, velocidad en y
	5	“Animación de un jugador de basketball lanzando un balón en forma de tiro parabólico. No habían gráficas”
	11	“Animación de un jugador de basketball que lanza un balón”

- Sin duda alguna, uno de los principales componentes del diagrama AVM son las respuestas a las preguntas foco; pues son éstas las que de alguna manera permiten valorar la comprensión del modelo en su totalidad, a partir de la interpretación de los registros, de las representaciones aportadas por el modelo y la valoración de las predicciones. Sin embargo, es justamente en estas respuestas donde se evidencia la gran dificultad que presentan los estudiantes al momento de conceptualizar sobre un fenómeno físico. En estas respuestas se manifestó una enorme pobreza conceptual que se limita a expresiones simples sin ninguna profundidad o reflexión; y para las que en ocasiones se describe una ecuación como respuesta a una pregunta que

indaga por la comprensión integral de una situación problema abordada. Sin embargo, en las dos últimas actividades de cinemática (caída libre y tiro parabólico) se visualizó un poco más de reflexión por parte de los estudiantes al intentar responder las preguntas foco planteadas.

Tabla 6.13. Respuestas de los estudiantes referentes a la validación del modelo en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Validación del modelo
Movimiento Rectilíneo Uniforme	2	“Los resultados conocidos son iguales a los del modelo”
	6	“Movimiento de un cuerpo en una trayectoria horizontal”
	8	“Efectivamente se verifica el comportamiento del móvil en el modelo”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	1	“El modelo demostró las variables y relaciones que se habían previsto”
	3	“Los resultados conocidos son generados por el modelo”
	6	“Movimiento de dos cuerpos en un plano horizontal”
Caída libre	2	“El valor de la aceleración es constante durante toda la trayectoria, debido a que $a = g$ ”
	7	“El valor de la aceleración es constante durante toda su trayectoria; y la velocidad aumenta conforme la piedra desciende”
	11	“El modelo reproduce los datos requeridos para la solución del problema”
Tiro parabólico	2	“Los resultados del modelo son los esperados”
	5	“Para el eje x la velocidad es constante y la distancia sigue aumentando y para y la velocidad se hace cero cuando la piedra llega al punto más alto”
	10	“El efecto de la gravedad hace que el balón realice un movimiento curvilíneo alcanzando una altura máxima”

La tabla 6.14 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con el campo de las respuestas a las preguntas foco, con base en la exploración de los modelos computacionales referentes a la cinemática. Para contextualizar estas respuestas es necesario remitirse a las preguntas planteadas en los diagramas AVM para cada modelo computacional (Anexo J).

En el anexo L se presenta un diagrama AVM realizado por un grupo de estudiantes a partir de la interacción con uno de los modelos computacionales relativos a la cinemática.

Tabla 6.14. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las respuestas a las preguntas foco del modelo en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la cinemática	Grupo	Respuestas a las preguntas foco
Movimiento Rectilíneo Uniforme	1	“se mueve en una trayectoria rectilínea” “La velocidad es constante”
	3	“La velocidad es constante, no hay relación entre la velocidad y el desplazamiento”
	10	“La velocidad es constante” “El carro se está devolviendo”
Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado	4	“Aumenta” “a es constante” “directamente proporcional en ambos casos”
	7	“La velocidad de los carros aumenta” “La aceleración es constante” “ $v = v_0 + at$ ”
	9	“La v aumenta” “La a es constante” “Que a mayor a más aumento de velocidad”
Caída libre	2	“Cuando la piedra es lanzada y llega a su máxima altura, la velocidad es cero, y cuando comienza a descender la velocidad va aumentando” “La aceleración es constante” “La velocidad depende de la aceleración que es constante”
	6	“Comienza a disminuir hasta llegar a cero, y luego comienza a aumentar” “La aceleración se mantiene constante” “La velocidad aumenta gracias al efecto que ejerce la aceleración en el objeto”
	11	“cuando es lanzada hacia arriba la velocidad disminuye y aumenta a medida que cae” “la aceleración es uniforme (constante)” “La aceleración es constante y hace que la velocidad aumente”
Tiro parabólico	1	“Al alcanzar la altura máxima, la velocidad en y se hace cero” “En la velocidad de y hay tres intervalos de tiempo, primero la velocidad disminuye, luego se hace cero y después empieza a aumentar; mientras que en x se mantiene constante” “La aceleración es constante”
	4	“En el punto más alto, la velocidad en y es cero y cambia de sentido, pasa de $+a$ a $-a$ ” “En el eje x la velocidad es constante y en el eje y varía debido a la gravedad” “La gráfica nos muestra que la aceleración se da por efectos de la gravedad, siendo esta constante”
	11	“Su velocidad en y es cero, mientras que en x sigue siendo constante” “En el eje x la velocidad es constante a lo largo de la trayectoria del balón, mientras que en y varía debido a la aceleración de la gravedad” “Su aceleración es constante”

Modelos computacionales relativos a la dinámica Newtoniana

En relación con el campo de la dinámica Newtoniana fueron diseñados cinco modelos computacionales (Anexo K) para abordar fenómenos físicos de interés tales como: la relación fuerza-aceleración, la fuerza de fricción, física en el ascensor, el problema del paracaídas y la máquina de Atwood. Estas actividades comprendieron los principales conceptos de interés para esta investigación; y a partir de la construcción de los diagramas AVM por parte de los estudiantes en la interacción con estos modelos computacionales, pudo hacerse el siguiente análisis en el que son descritas las principales observaciones referentes a la categoría denominada Dominio Conceptual:

- Las teorías, principios, teoremas y leyes, que sin lugar a dudas fue uno de los componentes del diagrama AVM que más complejidad generó en los estudiantes al desarrollar las actividades de cinemática, fue ampliamente superado en las actividades de dinámica; tanto porque la gran mayoría de estudiantes lograron clarificar diferencias entre estos cuatro elementos como por el reconocimiento de la Mecánica Newtoniana como la teoría que subyace a estos modelos y, de las leyes de Newton como fundamentales para el análisis de los mismos. Sólo un pequeño número de estudiantes (6) persistió en nombrar como teoría el mismo fenómeno físico que estaba siendo estudiado; además, ninguno de los grupos hizo alusión a la dinámica de cuerpo rígido en los modelos computacionales correspondientes a la “relación fuerza-aceleración” y a la “fricción”, teniendo en cuenta que los bloques en dichos modelos son considerados como cuerpos rígidos. Algo similar ocurre con el modelo que estudia el fenómeno físico del paracaídas; al interactuar con este modelo, los estudiantes no hicieron un reconocimiento de la hidrostática e hidrodinámica como referentes teóricos que permiten la comprensión de este fenómeno. A diferencia de lo que ocurrió con los modelos de cinemática, en esta ocasión ninguno de los estudiantes recurrió a ecuaciones para hacer referencia a las teorías, principios, teoremas y leyes.

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con las teorías, principios, teoremas y leyes, a partir de la exploración de los modelos computacionales relativos a los fenómenos de dinámica Newtoniana son mostradas en la tabla 6.15.

Tabla 6.15. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las teorías, principios, teoremas y leyes del modelo en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Teorías, principios, teoremas y leyes
Relación fuerza-aceleración	1	“Dinámica, leyes de Newton”
	6	“Ley: Segunda ley de Newton, teoría: Dinámica”
	8	“Dinámica Newtoniana”
Fuerza de fricción	2	“Leyes de Newton, fuerzas de fricción”
	5	“Dinámica, leyes de Newton”
	8	“Mecánica Newtoniana, leyes de Newton”
Física en el ascensor	3	“Dinámica, leyes de Newton”
	4	“Mecánica Newtoniana”
	11	“Mecánica de Newton y sus respectivas leyes”
El problema del paracaídas	2	“Dinámica Newtoniana, leyes de Newton”
	6	Leyes de Newton y Dinámica Newtoniana”
	8	“Leyes de Newton”
La máquina de Atwood	1	“Dinámica, leyes de Newton”
	4	“Mecánica Newtoniana, Dinámica de la máquina de Atwood”
	5	“Máquina de Atwood, Leyes de Newton”

- En relación con el campo de las Idealizaciones, los estudiantes continuaron mostrando algunas dificultades en la formulación de éstas. Reiteradamente se refirieron sólo a aquellas idealizaciones hechas por los libros de texto y poca relación establecieron entre éstas y los referentes del sistema que estaba siendo modelado. Además, en su mayoría se limitaron a formular las mismas idealizaciones que utilizaron en los modelos de cinemática; lo que sin lugar a dudas sugiere la falta de comprensión de este campo del diagrama AVM.

La tabla 6.16 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con las idealizaciones, con base en la exploración de los modelos relativos a la dinámica.

- En cuanto a las variables, parámetros y sus representaciones para las actividades computacionales de dinámica, los estudiantes lograron un mayor reconocimiento de estos elementos en los diferentes modelos explorados, expresando de manera más clara tanto las representaciones simbólicas de las variables y parámetros como sus respectivas unidades. En

el caso del modelo computacional explorado para estudiar el fenómeno del paracaídas, ninguno de los grupos de estudiantes logró establecer como parámetro el uso del paracaídas (A_2) y sólo un reducido número de estudiantes hizo alusión a la resistencia del aire (A_1) como un parámetro determinante en el análisis de este modelo.

Tabla 6.16. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las idealizaciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Idealizaciones
Relación fuerza-aceleración	1	“Se desprecia la fuerza de fricción y la resistencia del aire”
	2	“Se desprecia la fuerza de rozamiento”
	7	“Se desprecian las variaciones en el movimiento del bloque debido a la fricción”
Fuerza de fricción	6	“Se desprecian las propiedades de la cuerda”
	7	“Se desprecia la masa y la elasticidad de la cuerda”
	9	“Utilización de una fuerza constante, no hay resistencia en el aire”
Física en el ascensor	1	“Se desprecia la tensión de la cuerda que hala el ascensor”
	4	“Se desprecia la masa del ascensor y del cable”
	10	“Se desprecia el peso del ascensor”
El problema del paracaídas	4	“Se desprecia el cambio de las corrientes de aire”
	8	“El modelo permite considerar o no la resistencia del aire y su respectivo valor. También se considera que la resistencia es constante”
	9	“Se desprecia la fuerza de empuje”
La máquina de Atwood	4	“Se desprecia la fricción y la masa de la cuerda”
	6	“Se desprecia el rozamiento y las propiedades de la cuerda”
	7	“Se desprecia el peso de la cuerda, tomándola como ideal. Se desprecia la fricción de la cuerda con la polea”

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con las variables y parámetros, con base en la exploración de los modelos computacionales referentes a la dinámica, son mostradas en la tabla 6.17.

- En lo referente a las relaciones, su establecimiento fue mucho más claro en las actividades de dinámica que en las de cinemática. Al expresar estas relaciones de tipo matemático, los estudiantes no se remitieron más al libro de texto y más bien se valieron del contenido conceptual abordado previamente en la clase y de la interacción con el modelo y la visualización del comportamiento de sus variables para establecer las relaciones matemáticas que involucraban los parámetros y variables contenidos en el modelo computacional que representaba el fenómeno físico estudiado. En

este momento de la intervención la gran mayoría de estudiantes expresó las relaciones matemáticas del modelo como razones de cambio, mostrando mucha más claridad sobre este concepto, de la que se tenía al realizar la intervención con los modelos correspondientes a cinemática. Sin embargo, se dan todavía algunas excepciones.

Tabla 6.17. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las variables y parámetros del modelo en la exploración de los modelos computacionales.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Variables y parámetros
Relación fuerza-aceleración	1	“m [kg], F [N], v [m/s], t[s], x [m]”
	5	“variables: tiempo t [s], posición x [m], velocidad v [m/s], aceleración a [m/s ²]” “Parámetros: Fuerza F [N], masa m [kg]”
	10	“fuerza F (N), masa m (kg) tiempo t (s), posición x (m), velocidad v (m/s) y aceleración a (m/s ²)”
Fuerza de fricción	2	“g[m/s ²], t[s], F[N], Ff[N], v[m/s], a[m/s ²], μ,P[N], m[kg], N[N], x[m]”
	7	“Fuerza F(N), Fuerza de fricción Ff (N), tiempo t(s), posición x(m), velocidad v(m/s), aceleración a(m/s ²), coeficiente de fricción estática y cinética μ _e y μ _c , peso P(N), masa m(kg), aceleración de la gravedad g(m/s ²)”
	11	“Parámetros: masa m[kg], aceleración g[m/s ²], Fuerza normal N[N], Fuerza F[N], Fuerza de fricción Ff [N], peso P[N], coeficiente de fricción μ; y variables: posición x[m], tiempo t[s], Velocidad v[m/s], aceleración a[m/s ²]”
Física en el ascensor	1	“Las variables son: P'[N],y[m], v[m/s], t[s] y los parámetros: a[m/s ²], g[m/s ²], m[kg], P [N]”
	7	“Parámetros: peso P [N], aceleración a[m/s ²], aceleración de la gravedad g[m/s ²], masa del muñequito m[kg]. Variables: tiempo t[s], peso aparente P'[N], posición y[m], velocidad v[m/s]”
	8	“posición y(m), velocidad v(m/s), peso P (N), peso aparente P'(N), aceleración en y a _y (m/s ²), aceleración de la gravedad g(m/s ²), masa de la persona m(kg)”
El problema del paracaídas	3	“a[m/s ²], m[kg], v[m/s], t[s], y[m], g[m/s ²]”
	6	“Variables: aceleración a[m/s ²], posición y[m], velocidad v[m/s], tiempo t[s]; parámetros: aceleración de la gravedad g[m/s ²], masa del paracaidista m[kg]”
	10	“masa del paracaidista m[kg], tiempo t[s], posición y[m], aceleración a[m/s ²], aceleración de la gravedad g[m/s ²], velocidad v[m/s],resistencia del aire A ₁ [kg/s]”
La máquina de Atwood	1	“Las variables son: y[m], v[m/s], t[s] y los parámetros: T[N], a[m/s ²], m[kg], P[N], g[m/s ²]”
	4	“Variables: altura y[m], velocidad v[m/s], tiempo t[s]. Parámetros: peso P[N], tensión T[N], aceleración a[m/s ²], masas m ₁ [kg] y m ₂ [kg], gravedad g[m/s ²].”
	9	“t[s], T[N], a[m/s ²], g[m/s ²], y[m], v[m/s], m[kg], P[N]”

La tabla 6.18 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes de acuerdo con el campo de las relaciones, a partir de la exploración de los modelos computacionales relativos a la dinámica.

Tabla 6.18. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las relaciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Relaciones
Relación fuerza-aceleración	1	" $F = ma, v = dx/dt, a = dv/dt$ "
	4	" $F = ma$ "
	10	" $F = ma, a = F/m, P = mg, v = dx/dt, a = dv/dt$ "
Fuerza de fricción	3	" $F = ma, v = dx/dt, a = dv/dt$ "
	5	" $F = ma, F_f = \mu N$ "
	7	" $a = (F - F_f)/m, F_{fc} = \mu_c N, F_{fc} = \mu_c N, v = dx/dt, a = dv/dt$ "
Física en el ascensor	4	" $F = m.a, P' = m(g \pm a), v = dy/dt, a = dv/dt$ "
	6	" $F = m.a, v = dy/dt, a = dv/dt$ "
	8	" $w = mg, P' = m(g \pm a), v = dy/dt, a = dv/dt$ "
El problema del paracaídas	1	" $w = mg, v = dy/dt, a = dv/dt$ "
	4	" $a_v = F/m, v = dy/dt, a = dv/dt$ "
	9	" $F = ma, v = dy/dt, a = dv/dt$ "
La máquina de Atwood	2	" $w = mg, a = ((m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)) * g,$ $T = (2m_1 m_2 / (m_1 + m_2)) * g$ "
	3	" $F = m.a, v = dy/dt, a = dv/dt$ "
	6	" $v = dy/dt, a = dv/dt, a = ((m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)) * g,$ $T = (2m_1 m_2 / (m_1 + m_2)) * g$ "

- En las actividades de modelación relativas a la dinámica Newtoniana se logró una comprensión más clara acerca del componente del diagrama AVM relacionado con los resultados conocidos, donde un buen número de estudiantes mostró mayor propiedad en el dominio del tema a la hora de expresar tales resultados; para lo cual se apoyaron tanto en los contenidos abordados en el curso teórico como en los modelos computacionales previamente explorados; además, se logró percibir una reflexión en torno a cómo la formulación de estos resultados conocidos les permitiría realizar la validación del modelo, componente perteneciente al dominio metodológico. Evidentemente, en algunos de los estudiantes persisten algunas dificultades mencionadas en el análisis de las actividades de cinemática.

La tabla 6.19 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con los resultados conocidos, con base en la exploración de los modelos computacionales referentes a la dinámica.

Tabla 6.19. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de resultados conocidos del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Resultados conocidos
Relación fuerza-aceleración	3	“La aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a su masa”
	6	“A mayor masa del cuerpo, mayor fuerza se debe aplicar para lograr mantenerlo en movimiento”
	7	“La aplicación de una fuerza causa aceleración, entre mayor sea la fuerza aplicada sobre un objeto, mayor es su aceleración”
Fuerza de fricción	2	“La fuerza de fricción impide que un objeto se mueva, para lograr ese movimiento, es necesario aplicar una fuerza mayor sobre ese objeto”
	6	“Para lograr que un objeto se mueva, es necesario que en un momento determinado la fuerza aplicada sea mayor que la fuerza de fricción”
	7	“Siempre que un objeto se mueve sobre una superficie, hay una resistencia al movimiento debido a la interacción del objeto con sus alrededores”
Física en el ascensor	3	“Cuando el ascensor sube, el peso de la persona parece ser mayor y cuando baja ese peso aparente disminuye”
	5	“A medida que varía la aceleración, varía el valor del peso aparente”
	9	“Si el ascensor no está en movimiento o si se mueve con velocidad constante, el peso del sujeto no tiene razón para cambiar”
El problema del paracaídas	1	“La resistencia del aire se opone al movimiento del paracaídas”
	7	“Cuando un objeto se mueve en un medio resistivo, su velocidad disminuye en relación con el coeficiente de resistividad”
	10	“Gracias a la resistencia del aire, el paracaídas logra disminuir el efecto de la gravedad” “Cuando no hay resistencia del aire el paracaídas no efectuaría su función exitosa”
La máquina de Atwood	3	“En un sistema de estas características, el objeto con mayor masa se acelera y hace acelerar al objeto de masa menor debido a la gravedad”
	4	“La aceleración es igual en ambos objetos, tanto en el que baja como en el que sube”
	8	“Si las masas tuvieran igual magnitud, la aceleración del sistema sería cero”

- En relación con las predicciones como tentativas de respuesta a las preguntas foco; durante las actividades de dinámica se logró que los estudiantes las formularan en un momento previo a la interacción con el modelo computacional; comprendiendo que estas predicciones no necesariamente tenían que ser la respuesta correcta a cada pregunta foco planteada, pero sí debía reflejar el conocimiento previo que tenían los estudiantes acerca del fenómeno de interés a ser abordado por medio del modelo computacional. Algunos de los estudiantes (11) no consiguieron formular un número de predicciones igual al número de preguntas foco

planteadas para la exploración de cada modelo, dificultad que se puso de manifiesto en las actividades de cinemática y que de alguna manera se mantuvo en la exploración de los modelos referentes a la dinámica.

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con las predicciones realizadas acerca de los modelos computacionales de dinámica, pueden verse en la tabla 6.20.

Tabla 6.20. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las predicciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Predicciones
Relación fuerza-aceleración	5	“La aceleración es directamente proporcional a la fuerza” “Para una fuerza constante, a aceleración es inversamente proporcional a la masa” “La masa y la fuerza son directamente proporcionales” “La fuerza tiene que ver con el cambio de velocidad de un cuerpo en movimiento”
	7	“La aceleración es directamente proporcional a la fuerza aplicada” “La aceleración es inversamente proporcional a la masa del bloque”
	9	“Si se aplica una fuerza debe haber una aceleración” “La aceleración de un objeto depende de la masa de éste” “Para una fuerza constante, la velocidad varía de acuerdo con la masa del objeto”
Fuerza de fricción	1	“La fuerza de fricción es un vector que apunta en sentido contrario al movimiento del objeto” “La fuerza de fricción cinética tiene valores más pequeños que la fuerza de fricción estática”
	6	“Si un cuerpo está en movimiento, es porque la fuerza que se le está aplicando es mayor que la fuerza de fricción” “La fricción estática está presente cuando el cuerpo está en reposo y la cinética cuando esté en movimiento”
	7	“La fuerza de fricción es opuesta a la fuerza aplicada” “La fuerza aplicada debe ser mayor a la fuerza de fricción para que haya movimiento” “En la fuerza de fricción estática no hay movimiento, en la cinética si hay movimiento”
Física en el ascensor	3	“La aceleración del ascensor hace que se modifique el peso aparente de la persona que está dentro de él” “El cambio de velocidad hace cambiar el peso aparente de la persona”
	4	“Cuando el ascensor está acelerado, la balanza no marca el peso real del sujeto” “El peso es independiente de la velocidad del ascensor”
	8	“Dependiendo del valor y de la dirección de la aceleración, el peso aparente aumenta o disminuye”
El problema del paracaídas	3	“La velocidad sigue aumentando indefinidamente por acción de la gravedad” “Cuando se abre el paracaídas, se disminuye el efecto de la aceleración (g) y por lo tanto la velocidad sigue aumentando pero

		no desmesuradamente”
	7	“La velocidad disminuye debido a la presencia de la resistencia del aire” “Aumenta la resistencia y disminuye la aceleración”
	9	“La velocidad y la aceleración disminuyen con la resistencia del aire” “No, porque la resistencia crea desaceleración” “Al abrir el paracaídas actúa más la resistencia del aire”
La máquina de Atwood	2	“La aceleración es la misma para todo el sistema” “Las fuerzas que actúan son el peso y la tensión” “La velocidad de la masa 1 es mayor que la velocidad de la masa 2 porque $m_1 > m_2$ ” “haciendo que las masas sean iguales”
	8	“La aceleración podría considerarse constante” “La tensión y el peso” “El objeto que tiene mayor masa hace aumentar la velocidad del movimiento del segundo objeto” “Podría ser cuando el sistema no se mueve”
	10	“La aceleración en ambos cuerpos es igual y constante” “El peso y la tensión, las fuerzas que actúan en los objetos son constantes” “Aumenta” “Equilibrando los pesos de las masas”

En cuanto al Dominio Metodológico que lograron los estudiantes a partir de la interacción con los modelos computacionales relativos al campo de la dinámica Newtoniana, se plantean las siguientes observaciones:

- En relación con los datos colectados, incluso desde la aplicación de las actividades de cinemática se logró una buena comprensión y clara identificación de los datos o registros de los modelos computacionales; lo que facilitó en buena medida la posterior transformación e interpretación de los mismos con el objetivo de dar respuesta acertada a las preguntas foco planteadas. Unos pocos estudiantes persistieron en la dificultad de visualizar algunos datos que no aparecían lo suficientemente explícitos en el modelo computacional; además siguieron empleando diferentes formas de expresar los datos.

Algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con los datos obtenidos a partir de la exploración de los modelos computacionales relativos a la dinámica, pueden verse en la tabla 6.21.

Tabla 6.21. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de los datos del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Datos
Relación fuerza-aceleración	1	" $v(t), a(t), F(t)$ "
	5	" $v(t), a(t)$ "
	7	" $v_1(t), v_2(t), v_3(t), a_1(t), a_2(t), a_3(t), F(t)$ "
Fuerza de fricción	2	" $F_f(t), \mu(t)$ y Fuerza externa"
	6	"Fuerza aplicada en función del tiempo Coeficiente de fricción en función del tiempo Fuerza de fricción en función del tiempo"
	9	" $F(t), F_f(t), \mu(t)$ "
Física en el ascensor	3	" $v(t), a(t), P'(t)$ "
	7	" $v_v(t), a_v(t), P'(t)$ "
	10	" v_v, a_v, P "
El problema del paracaídas	4	" $v_v(t), a_v(t)$ "
	8	" v, a, t "
	9	" $v_v(t)$ "
La máquina de Atwood	1	" $y(t), a(t)$ "
	3	" $y_1(t), y_2(t), a_1(t), a_2(t)$ "
	6	" $y_1(t), y_2(t), v_1(t), v_2(t), a_1(t), a_2(t)$ "

- Podría decirse que el componente de las representaciones que es uno de los más importantes en el análisis metodológico del modelo computacional, fue de los que menos dificultad generó en los estudiantes. Las dificultades presentadas en los modelos relativos a la cinemática fueron completamente superadas, logrando hacer una clara descripción de las animaciones visualizadas, una apropiada interpretación de las gráficas y una buena identificación de los vectores como una de las representaciones más utilizadas en el diseño de los modelos computacionales de dinámica Newtoniana.

La tabla 6.22 muestra algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con las representaciones identificadas a partir de la exploración de los modelos referentes a la dinámica.

Tabla 6.22. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de las representaciones del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Representaciones
Relación fuerza-aceleración	1	“Animación de tres bloques que son halados por tres varillas sobre una superficie horizontal. Gráficas: v vs t para los tres bloques, a vs t para los tres bloques, F vs t Vectores: velocidad v para los tres bloques, aceleración a para los tres bloques, fuerza F ”
	3	“Animación de tres bloques con diferentes masas, moviéndose por efecto de una fuerza aplicada sobre ellos. Vectores de velocidad, aceleración y fuerza. Gráficas: F vs t , v vs t y a vs t ”
	6	“Animación de tres bloques que son empujados en línea recta, aplicando fuerzas sobre ellos. Gráficas: Fuerza contra tiempo, aceleración contra tiempo y velocidad contra tiempo. Vectores: fuerza, velocidad y aceleración”
Fuerza de fricción	4	“Animación de un bloque que se desplaza en línea recta por efecto de una fuerza. Vectores: F , F_f , N , P . Gráficas: F vs t , F_f vs t , μ vs t ”
	7	“Animación de un bloque que se mueve sobre una superficie horizontal con fricción. Gráficas: F vs t , F_f vs t , μ vs t . Vectores: Fuerza, fuerza de fricción, normal y peso”
	11	“Animación: un bloque al cual se le aplica una fuerza que tiene como fin ponerlo en movimiento, considerando que actúan fuerzas de fricción. Gráficas: fuerza aplicada en función del tiempo, fuerza de fricción en función del tiempo, coeficiente de fricción en función del tiempo. Vectores: Fuerza normal (N), Peso (P), Fuerza (F), Fuerza de fricción (F_f)”
Física en el ascensor	1	“Animación de un sujeto en un ascensor con aceleración variable. Gráficas: v_y contra t , a_y contra t , P' contra t Vectores: v_y , a_y , P' ”
	4	“Animación: un ascensor con un sujeto dentro de él, al cual se le modifica la aceleración visualizando el peso aparente. Gráficas: velocidad en función del tiempo, aceleración en función del tiempo y peso aparente en función del tiempo. Vectores: velocidad, aceleración y peso aparente”
	8	“Animación de un sujeto que se encuentra en un ascensor (sistema acelerado) donde la aceleración varía. Vectores: v_y , a_y , P' . Gráficas: v_y vs t , a_y vs t , P' vs t ”
El problema del paracaídas	3	“Animación de un paracaidista moviéndose verticalmente. Gráficas: v contra t . Vectores: peso y resistencia del aire”
	7	“Animación de un sujeto que desciende en un medio con resistencia, luego abre su paracaídas. Gráficas: velocidad en función del tiempo. Vectores: peso y fuerza de resistencia”
	10	“Animación de un sujeto que cae en paracaídas. Gráficas: v_y vs t ; a_y vs t Vectores: peso y fuerza de resistencia del aire”
La máquina de Atwood	2	“Animación de dos masas suspendidas de una polea por medio de

		una cuerda. Gráficas: y_1 vs t , y_2 vs t , a_1 vs t , a_2 vs t . Vectores: tensión, velocidad y peso”
	5	“Animación de una polea con dos objetos de diferente masa moviéndose con una aceleración constante. Gráficas: y_1 contra t , y_2 contra t , a_1 contra t , a_2 contra t Vectores: velocidad v y tensión T ”
	9	Animación de una máquina de Atwood con dos objetos de diferente masa. Vectores: Tensión, peso y velocidad. Gráficas: y vs t para cada uno de los objetos; a vs t para cada uno de los objetos”

- Las dificultades halladas en la validación del modelo en la interacción con las actividades de cinemática fueron ampliamente superadas en las actividades de dinámica Newtoniana. Esto seguramente se debió al avance significativo que mostraron los estudiantes en cuanto a la descripción de los resultados conocidos del modelo; pues este componente del Dominio Conceptual juega un papel preponderante al momento de validar el modelo computacional.

Pueden verse en la tabla 6.23 algunas de las respuestas de los grupos de estudiantes en relación con la validación del modelo, a partir de la interacción con los modelos computacionales de dinámica.

- Considerando las respuestas a las preguntas foco como uno de los componentes fundamentales del diagrama AVM, por ser éste el que sin duda alguna aporta la mayor información sobre una comprensión holística del modelo computacional por parte de los estudiantes; es importante resaltar que en las actividades computacionales referentes a la dinámica Newtoniana, se visualizó una mejor conceptualización acerca de los fenómenos físicos abordados. En estas actividades, los estudiantes mostraron un mayor dominio de estos fenómenos y de las situaciones-problema propuestas, profundizando un poco más en sus respuestas y realizando una evidente reflexión que se veía plasmada en sus expresiones conceptuales; en las que a diferencia de las utilizadas en las actividades de cinemática, ya no hacían uso de expresiones matemáticas aisladas para dar respuesta a una pregunta planteada. Obviamente y como era de esperarse, no todos los estudiantes lograron una buena apropiación del fenómeno

físico y de los conceptos involucrados en él y persistieron en unas respuestas conceptualmente pobres.

Tabla 6.23. Respuestas de los estudiantes referentes al campo de la validación del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Validación del modelo
Relación fuerza-aceleración	3	“Los resultados conocidos son generados por el modelo computacional”
	6	“Tal y como se había anotado en los resultados conocidos, a menor masa, mayor es la aceleración y mayor es la velocidad del objeto”
	7	“El valor de la aceleración para cada uno de los bloques es constante, pero ésta depende del peso de cada uno de ellos”
Fuerza de fricción	2	“Los resultados que genera el modelo son los esperados”
	6	“De acuerdo con lo descrito en los resultados conocidos, para producir un movimiento en un cuerpo, es necesario que en un instante determinado la fuerza que se le aplica tenga un mayor valor que la fuerza de fricción”
	7	“Efectivamente el modelo nos muestra que la fuerza de fricción depende de la naturaleza de los cuerpos; es decir, del coeficiente de fricción”
Física en el ascensor	3	“Al interactuar con el modelo podemos comprobar lo que se formuló en los resultados conocidos”
	5	“Este modelo concuerda con los resultados conocidos; ya que el peso aparente depende de la aceleración y no de la velocidad”
	9	“Los resultados conocidos son generados por el modelos”
El problema del paracaídas	1	“Los resultados esperados son mostrados en el modelo”
	7	“Al modificar el valor del coeficiente de resistencia, la velocidad cambia en relación con él”
	10	“Efectivamente, la velocidad y la aceleración dependen de la resistencia del aire”
La máquina de Atwood	3	“Los resultados conocidos se visualizan en el modelo”
	4	“Efectivamente, las magnitudes de ambas aceleraciones son iguales”
	8	“El sistema estuvo en movimiento debido a la diferencia de masas de los objetos”

La tabla 6.24 muestra algunas de las descripciones de los grupos de estudiantes en relación con las respuestas a las preguntas foco, a partir de la exploración de los modelos computacionales relativos a la dinámica Newtoniana. Para contextualizar estas respuestas es necesario remitirse a las preguntas planteadas en los diagramas AVM para cada modelo computacional (Anexo K)

Tabla 6.24. Descripciones de los estudiantes referentes al campo de las respuestas a las preguntas foco del modelo en la exploración de los modelos computacionales de dinámica.

Fenómenos relativos a la dinámica	Grupo	Respuestas a las preguntas foco
Relación fuerza-aceleración	1	<p>“1. La fuerza y la aceleración son directamente proporcionales; es decir, si aumenta una, aumenta la otra; y si disminuye una, disminuye la otra”</p> <p>“2. Para una misma fuerza aplicada, a mayor masa, menor aceleración. La relación es de proporcionalidad inversa”</p> <p>“3. Entre mayor sea la masa de n objeto, mayor es la fuerza que hay que aplicarle”</p> <p>“4. Si existe una fuerza neta aplicada sobre un objeto, su velocidad está cambiando”</p>
	3	<p>“1. Son directamente proporcionales; ya que si hay un cambio en la fuerza se da un cambio en la aceleración”</p> <p>“2. Son inversamente proporcionales ya que a mayor masa, menor aceleración”</p> <p>“3. Son directamente proporcionales; ya que si un objeto es grande hay que aplicarle una fuerza grande para moverlo”</p> <p>“4. Mientras exista una fuerza aplicada, la velocidad del objeto está cambiando”</p>
	5	<p>“1. Directamente proporcional”</p> <p>“2. Inversamente proporcional”</p> <p>“3. Directamente proporcional”</p> <p>“4. Directamente proporcional”</p>
Fuerza de fricción	2	<p>“1. Se encuentra en la mayoría de fenómenos que suceden en la naturaleza y está determinada por un coeficiente de fricción que depende de las características de las superficies en contacto”</p> <p>“2. Cuando tratamos de mover un objeto siempre están presentes unas fuerzas que están en contra del movimiento como la fuerza de fricción; y para que el objeto empiece a moverse, la fuerza aplicada debe superar la fuerza de fricción”</p> <p>“3. En la fuerza de fricción estática se ejerce una fuerza y hay contacto entre las superficies, pero no hay movimiento; y en la fricción cinética si hay movimiento que puede ser con velocidad constante si la fricción cinética y la fuerza externa tienen la misma magnitud”</p>
	7	<p>“1. Puede ser estática y cinética; la fuerza de fricción es opuesta a la fuerza aplicada y debe ser menor que la fuerza aplicada para que haya movimiento y sea cinética”</p> <p>“2. Para que se pueda iniciar el movimiento de traslación, por un instante es necesario que la fuerza aplicada sea mayor que la fuerza de fricción”</p> <p>“3. En la fuerza de fricción estática, la magnitud de ésta es igual a la magnitud de la fuerza aplicada. En la fuerza de fricción cinética, la magnitud de la fuerza aplicada puede ser igual o mayor que la magnitud de la fuerza de fricción cinética”</p>
	9	<p>“1. Características de la Ff: es una fuerza que crea resistencia al movimiento, está compuesta por un coeficiente de fricción y por la fuerza normal”</p> <p>“2. Se tiene un objeto con determinada masa sobre una superficie aplicándosele una fuerza específica, por un instante esta fuerza es mayor que la fuerza de fricción y permite que el objeto inicie su movimiento de traslación”</p> <p>“3. La fuerza de fricción estática es la que se da cuando el cuerpo se encuentra en reposo y hay contacto entre las superficies. La fuerza de fricción cinética es la que se da cuando el cuerpo se encuentra en movimiento; además tiene un valor menor que la estática”</p>
Física en el ascensor	4	<p>“1. El peso aparente del sujeto tiene una relación directa con la aceleración del ascensor; si el ascensor se acelera hacia arriba, el peso aparente del</p>

		<p>sujeto es mayor; mientras que si el ascensor acelera hacia abajo, el peso aparente del sujeto es menor”</p> <p>“2. El peso aparente depende de la aceleración y no de la velocidad del ascensor”</p>
	8	<p>“1. Son directamente proporcionales”</p> <p>“2. No hay relación porque no dependen el uno del otro”</p>
	10	<p>“1. La relación existente es que al aumentar la aceleración, aumenta el peso aparente, lo cual hace que se dé una relación directamente proporcional”</p> <p>“2. No hay relación aparente”</p>
El problema del paracaídas	1	<p>“1. La resistencia del aire influye de tal manera que la velocidad se vuelve constante y por lo tanto la aceleración se vuelve cero”</p> <p>“2. No, porque la resistencia del aire lo que hace es volver constante la velocidad”</p> <p>“3. Al abrirse el paracaídas, la resistencia del aire aumenta y el paracaidista experimenta una aceleración hacia arriba”</p>
	7	<p>“1. La resistencia del aire hace que disminuya la velocidad y la aceleración”</p> <p>“2. No, la velocidad en presencia de resistencia del aire disminuye, porque la resistencia ejerce fricción”</p> <p>“3. cuando se abre el paracaídas, éste causa más resistencia del aire y por ende disminuye la aceleración”</p>
	9	<p>“1. La resistencia del aire influye en gran proporción, pues debido a la gravedad a mayor distancia recorrida aumenta mucho más la velocidad; y el paracaídas ayuda a contrarrestar esos efectos de la gravedad”</p> <p>“2. No puede crecer la velocidad, al contrario, la resistencia del aire hace que disminuya, puesta que ésta crea una acción de frenado”</p> <p>“3. El efecto que tiene la apertura del paracaídas es que le crea mayor resistencia a la acción de la gravedad, por lo tanto se aprovecha la resistencia del aire para disminuir la aceleración”</p>
La máquina de Atwood	2	<p>“1. Las aceleraciones de los objetos son iguales, ya que éstos están unidos por la misma cuerda”</p> <p>“2. Las fuerzas que actúan sobre cada uno de los objetos son la tensión y el peso y el movimiento se da porque m1 posee una masa mayor”</p> <p>“3. En los dos bloques la velocidad aumenta debido a que están acelerándose”</p> <p>“4. Las masas deben de ser iguales para que el sistema permanezca en equilibrio estático”</p>
	6	<p>“1. La aceleración es constante con igual magnitud ya que ambos cuerpos están sujetos con la misma cuerda”</p> <p>“2. La tensión que es la misma, pues es una sola cuerda y el peso que está dado por el producto de cada masa por el valor de la gravedad. El cuerpo con mayor peso es atraído hacia la tierra”</p> <p>“3. Las velocidades aumentan debido a la aceleración del sistema, pero apuntan en sentidos opuestos”</p> <p>“4. Para que el sistema quede en equilibrio teniendo en cuenta que es la misma cuerda, se tendría que equilibrar la masa de ambos cuerpos”</p>
	11	<p>“1. Las aceleraciones son constantes y tienen la misma magnitud y sentidos opuestos”</p> <p>“2. Las fuerzas son la tensión y el peso”</p> <p>“3. Observando el vector velocidad, éste va aumentando su magnitud con el tiempo debido a que el sistema está acelerado”</p> <p>“4. El equilibrio estático del sistema se puede lograr cuando se utilizan dos objetos con la misma masa”</p>

En el anexo M se presenta un diagrama AVM realizado por un grupo de estudiantes a partir de la interacción con uno de los modelos computacionales referente a la dinámica Newtoniana.

A partir de la implementación en el aula de clase de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, es posible darse cuenta de la gran dificultad que le causa a los estudiantes el hecho de enfrentarse al análisis conceptual de un fenómeno físico y de una situación problema enmarcada dentro de este fenómeno. Pues al principio de la intervención, los estudiantes expresaron serias dificultades para comprender la representación del fenómeno en estudio como un todo; desde su estructura teórica, variables, parámetros, relaciones, registros, representaciones, entre otras; que era en esencia lo que se pretendía al hacer uso del diagrama AVM para analizar el modelo computacional como representación de un fenómeno físico determinado.

De hecho, al inicio de la ejecución de la propuesta era común escuchar entre los estudiantes expresiones como: “yo entiendo el fenómeno pero no soy capaz de escribir sobre él”, “es más fácil hacer un problema donde uno utiliza la ecuación y listo”, “yo no veo cómo escribir todas estas cosas (componentes del diagrama AVM) a partir del modelo que veo en el computador”, “es mejor responder preguntas con números que con palabras”, entre otras.

La dificultad inicial para conceptualizar fue evidente, al punto de que los estudiantes defendían más las prácticas convencionales de resolver de manera mecánica problemas de lápiz y papel, ante la posibilidad de implementar nuevas estrategias de enseñanza. Por esta razón se implementaron algunas actividades iniciales (actividades de cinemática) para familiarizar a los estudiantes con la estrategia implementada, de manera que al dar inicio a las actividades de dinámica Newtoniana, éstos tuvieran un mayor dominio y comprensión de las herramientas utilizadas (modelo computacional y diagrama AVM).

Finalmente los estudiantes hicieron una importante valoración tanto de los modelos computacionales como del diagrama AVM, admitiendo que el uso de éstos les aportaba una actividad nueva en el aprendizaje de la Física, que les brindaba la posibilidad de hacer una reflexión más profunda sobre aspectos de la Física que normalmente eran consignados en el cuaderno de clase y sobre los cuales no se profundizaba.

La contribución de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM para la enseñanza de conceptos de dinámica Newtoniana, es evidenciada a partir de la valoración que se hace del dominio y la apropiación que logran los estudiantes

acerca de los conceptos Newtonianos involucrados en cada una de las actividades a las que fueron expuestos. De manera que al finalizar la intervención, los estudiantes fueron capaces de expresar verbalmente la comprensión de un fenómeno físico y establecer las relaciones pertinentes entre los conceptos involucrados en dicho fenómeno -cosa que en un principio no lograron hacer-.

Conceptos como posición, velocidad y aceleración, no sólo pudieron ser discriminados por los estudiantes, sino que además, éstos lograron expresar claramente las relaciones existentes entre estos conceptos. Situación similar sucedió con la comprensión de la primera ley de Newton, para la cual, inicialmente no lograron establecer relación entre la velocidad constante y la ausencia de una fuerza neta; y finalmente obtuvieron una mejor comprensión sobre el hecho de que un objeto puede estar en movimiento sin la existencia de una fuerza neta aplicada sobre él. Asimismo, reconocieron la fricción como una fuerza, identificando claramente sus características y efectos sobre un objeto en movimiento y en reposo.

También se encontraron resultados significativos en cuanto a la comprensión de la segunda y tercera ley de Newton, elementos claves en la comprensión de la dinámica Newtoniana. Particularmente, en relación con la segunda ley, los estudiantes presentaron inicialmente dificultades en el reconocimiento de las fuerzas que actúan sobre un objeto en movimiento; dificultad que fue subsanada por la totalidad del grupo a partir de la interacción con modelos computacionales que hacían énfasis en el reconocimiento e identificación de dichas fuerzas.

A partir de los modelos de dinámica Newtoniana, se logró además que los estudiantes establecieran y comprendieran la relación existente entre los conceptos fuerza y aceleración, considerando que una aceleración constante era el resultado de la aplicación de una fuerza constante -relación sobre la cual no tenían ninguna claridad-. De forma similar, puede afirmarse que la totalidad del grupo adquirió una comprensión sobre la tercera ley de Newton, expresando con claridad el sentido de los pares de fuerza acción-reacción.

Con respecto a la dificultad que presentaron los estudiantes en el *test FCI*, en lo referente a la comprensión del movimiento de objetos en medios resistivos; se utilizó en una de las

actividades de intervención un modelo computacional que pretendía analizar la Física inmersa en el fenómeno del paracaídas, logrando una favorable comprensión (en la mayoría de los estudiantes) sobre conceptos como la resistencia del aire y la velocidad límite.

Finalmente se llevó a cabo un análisis cualitativo de la entrevista no estructurada que se realizó con diez de los estudiantes del curso elegidos aleatoriamente. Esta entrevista fue realizada después de concluir las actividades de modelación computacional y estuvo guiada por dos preguntas fundamentales: 1. ¿Cuál es la pertinencia de las actividades de modelación computacional con diagrama AVM en la clase de Física? y 2. ¿De qué manera estas actividades favorecen la comprensión de los conceptos físicos abordados?

Las percepciones de los estudiantes en relación con las actividades de modelación computacional, sugieren un alto grado de motivación hacia el aprendizaje de conceptos físicos a partir de la implementación de este tipo de estrategias en el aula de clase. De acuerdo con las palabras de los estudiantes, el uso de estas herramientas genera una comprensión más profunda de los fenómenos físicos de la dinámica Newtoniana, debido a que permite una interacción más significativa con los conceptos físicos y posibilita la visualización de las relaciones entre los diferentes conceptos, que no se tornan tan claras en las actividades convencionales de un curso de Física; pudiendo así dedicar más tiempo a la tarea de interpretar conceptualmente estos fenómenos.

Los estudiantes manifestaron también el hecho de ir ganando cada vez, más interés por este tipo de actividades, encontrándolas más atractivas en la medida en que éstas fueron comprendidas y entendieron su verdadero sentido; generándose así una buena disposición para aprender los conceptos del campo de la Física abordado. Sin duda alguna este es un buen indicador de aprendizaje significativo en términos ausubelianos.

Estas son algunas de las respuestas de los estudiantes en relación con la primera pregunta de la entrevista que indaga por la pertinencia de las actividades de modelación computacional con diagrama AVM en la clase de Física:

“Es muy bueno que en la clase de Física se pueda trabajar con otras cosas diferentes a las que siempre se hacen, y que además estas metodologías nos ayuden a entender mucho mejor los conceptos de la Física” (estudiante 3).

“Estas actividades son muy didácticas, pues en la clase de Física nunca habíamos utilizado un computador para representar los fenómenos de la Física y darnos cuenta de todo lo que podemos aprender y mucho menos habíamos utilizado la V que fue muy buena porque nos ayudó a comprender no sólo lo procedimental sino lo teórico de un fenómeno físico” (estudiante 11).

“Al principio me pareció muy complicado el diagrama de la V y me parecía que era suficiente con observar el modelo del computador para comprender algunos de los conceptos de dinámica, pero luego me di cuenta de lo mucho que nos ponía a pensar este diagrama, en cosas que jamás se nos ocurriría pensar, como la teoría que explica tal fenómeno o como las relaciones y cosas así” (estudiante 14).

Con respecto a la segunda pregunta de la entrevista que pretendía indagar por la manera en que las actividades de modelación computacional con diagrama AVM favorecen la comprensión de los conceptos físicos abordados, se resaltan las siguientes respuestas de los estudiantes:

“Estas actividades me ayudaron a comprender muchos conceptos que aunque ya los había visto nunca los había comprendido tan bien y los modelos en el computador fueron muy interesantes porque se podían modificar valores, incluso como la gravedad que en una actividad normal de laboratorio no podemos hacer...” (estudiante 1).

“Me gustó mucho que se implementara esta metodología de trabajo con nosotros, pues yo he visto este curso en dos veces y nunca había entendido tan bien muchos conceptos; además cuando trabajábamos algún experimento en el laboratorio, sólo teníamos tiempo para hacerlo una vez y nos demorábamos casi toda la clase haciendo cálculos y respondiendo

preguntas que casi no entendíamos, mientras que con esta metodología de los modelos en computador podemos repetir todas las veces que queramos el experimento para poder entenderlo mejor” (estudiante 6).

“Aprendí mucho con este trabajo, pues se podía observar una y otra vez el fenómeno y las gráficas para poder comprenderlo y lo mejor es que se puede ver que es lo que pasa con las variables a medida que está ocurriendo el fenómeno, lo que no puedes hacer en el libro y en la clase cuando el profesor está explicando...” (estudiante 20).

En relación con el uso del diagrama AVM, los estudiantes finalmente le otorgaron un alto valor por considerar que éste les permitió la comprensión de un fenómeno físico en su totalidad; ya que buscaba establecer una relación directa entre el dominio teórico y metodológico en la exploración del mismo. Esta valoración no se dio al inicio de la intervención (en las actividades de cinemática); pues los estudiantes en ese momento, describían los dominios conceptual y metodológico como entes completamente aislados. Asimismo, los estudiantes admitieron que el diagrama AVM les ayudó a entender las situaciones problema de una manera más completa, porque permitía tener en cuenta todos los componentes requeridos para la real comprensión de un fenómeno físico.

De los 23 estudiantes del curso, uno de ellos mostró no sólo una gran aversión hacia los computadores sino al trabajo de tipo conceptual, dándole más valor a las actividades en las que se planteaban problemas de lápiz y papel y para las que sólo se requería la memorización de ecuaciones con el objetivo de dar una respuesta numérica. Este estudiante también encontró muchas dificultades al trabajar con el diagrama AVM, manifestando que no le gustaba abordar la Física de manera conceptual como lo planteaba dicho diagrama. Al inicio de las actividades de modelación computacional, el estudiante expresó lo siguiente:

“A mí casi no me gustan los computadores y creo que no se necesitan para que le enseñen a uno Física; y más difícil todavía con esa V porque uno no sabe cómo llenarla; a mí me gusta más la Física pero como siempre nos la han enseñado, que le ponen a uno a hacer los problemas que están en el libro y si usted se sabe las ecuaciones todos los problemas le salen bien y listo”.

Si bien su actitud fue cada vez más positiva frente a las actividades de modelación computacional, su desempeño durante todo el curso fue muy bajo.

Aunque el grupo valoró considerablemente el uso de los modelos computacionales y del diagrama AVM, fueron conscientes de la dificultad que tuvieron para visualizar la Física desde un punto de vista conceptual; pues estaban habituados a las prácticas de laboratorio convencionales y a la resolución de problemas de tipo numérico. Finalmente, consideraron que se requería de más tiempo para poder interactuar con las actividades, pues algunos estudiantes tardaron mucho en comprender cada uno de los aspectos a que hacía referencia el diagrama y que debían ser diligenciados.

En términos generales, a partir de los datos que surgen del *pretest* y *posttest*, de los diagramas AVM, de la observación, del cuaderno de notas y de la entrevista; y de su posterior interpretación, se puede indicar que los objetivos planteados en este trabajo de investigación, fueron satisfactoriamente alcanzados; ya que, sin lugar a dudas, las actividades de modelación computacional fueron un gran aporte para la comprensión de fenómenos físicos que involucraban el estudio conceptos Newtonianos, en términos de las posibilidades que les brindó a los estudiantes de visualizar una situación problema desde una perspectiva diferente, donde se daba prioridad a la comprensión conceptual de dicho fenómeno.

El grupo se mostró entusiasmado y motivado con este tipo de actividades, donde la buena actitud y disposición en general, fue determinante para llevar a cabo tales actividades y lograr los resultados alcanzados. Pues a medida que se daba el proceso de intervención, el diagrama AVM fue teniendo una fuerte acogida por los estudiantes; de manera que les permitió generar una reflexión más profunda sobre los fenómenos físicos modelados en el computador a partir de la visualización e interacción con los aspectos teóricos y metodológicos que componen cada uno de ellos.

El material potencialmente significativo constituido por las actividades de modelación computacional con el diagrama AVM aportó una valiosa contribución tanto a la predisposición de los estudiantes para las actividades de aprendizaje como para el aprendizaje significativo de los principales conceptos de la dinámica Newtoniana; considerando como evidencia de este aprendizaje, la capacidad adquirida por el grupo de

estudiantes para lograr el dominio de una situación problema y utilizarla para enfrentarse al análisis de una nueva situación cada vez más compleja.

6.3 Síntesis del Estudio I

Uno de los propósitos fundamentales de este estudio consistía en conocer el aporte que podía hacerse al proceso de enseñanza aprendizaje de la Física a partir de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM. Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de este tipo de actividades que constituyen el material potencialmente significativo, revelaron que el grupo de estudiantes tuvo un desempeño satisfactorio en relación con las actividades computacionales que abordaban el campo de la dinámica Newtoniana, cosa que no ocurrió en las actividades de cinemática, donde apenas empezaban a familiarizarse con el dominio de las herramientas.

Los resultados sugieren que las actividades de modelación computacional de modo exploratorio haciendo uso del diagrama AVM son excelentes herramientas que posibilitan la reflexión de los estudiantes y la comprensión de conceptos como sistemas de referencia, movimiento, posición, velocidad, aceleración, fuerza y masa; y pueden ser perfectamente incluidas en la clase de Física como complemento de las actividades convencionales para la enseñanza de esta disciplina.

En este sentido puede afirmarse que se logró un aprendizaje significativo en términos de:

- La comprensión que lograron los estudiantes sobre los conceptos involucrados en cada modelo y el establecimiento de relaciones claras y pertinentes entre dichos conceptos.
- Las capacidades que mostraron los estudiantes para extrapolar modelos a situaciones nuevas y más complejas.
- La construcción de diagramas AVM mucho más coherentes a medida que se avanzaba en la implementación de las actividades.

- Las reflexiones que llevaron a cabo los estudiantes sobre los conceptos físicos abordados en las actividades de modelación computacional de modo exploratorio haciendo uso del diagrama AVM.

Otro de los aspectos que se pretendía indagar en esta investigación, estaba relacionado con la contribución de las actividades de modelación computacional a la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos; condición que fue altamente positiva y que es importante resaltar debido a la gran motivación e interés generado en los estudiantes tanto por el uso de herramientas computacionales en la clase de Física, como por la interactividad propiciada por las actividades de modelación computacional. Estos resultados hacen alusión a la importancia de implementar estas estrategias en el aula de clase, no sólo para generar espacios de reflexión en cuanto al aprendizaje de un campo de conocimiento, sino por la influencia positiva que ejercen en la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos.

Este estudio se realizó como un primer acercamiento a la enseñanza de conceptos de dinámica Newtoniana a partir del uso de actividades de modelación computacional de modo exploratorio apoyadas en el uso del diagrama AVM, con el objetivo de aportar una estrategia más al aula de clase que posibilite el aprendizaje significativo de conceptos de Física. En vista de los buenos resultados obtenidos en este estudio en el que valoramos el gran potencial de las actividades de modelación computacional y del uso del diagrama AVM para el aprendizaje significativo de conceptos físicos relativos al campo de la dinámica Newtoniana, decidimos investigar si estas herramientas podían propiciar además, un aprendizaje significativo crítico; lo que generó el segundo estudio que conforma esta tesis y que aparece descrito en el siguiente capítulo.

Capítulo 7

ESTUDIO II

Objetivos

Objetivos Generales

- Valorar la posibilidad de atender los principios básicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico referidos al aprendizaje, a partir de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.
- Conocer la contribución de los elementos de la modelación científica -incorporados mediante actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM- en la evolución de las concepciones de ciencia de los estudiantes.

Objetivos específicos u orientadores

- **Asociado al principio 1:** valorar el progreso de los estudiantes en la habilidad para formular preguntas, propiciado por el uso de la modelación computacional con diagrama AVM.

- **Asociado al principio 6:** buscar evidencias en los estudiantes de una valoración crítica de los modelos computacionales que les permita la detección de errores como estrategia para la validación y perfeccionamiento de dichos modelos.
- **Asociado al principio 7:** 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.
- **Asociado al principio 8:** determinar la contribución de actividades de enseñanza que involucran elementos del proceso de 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.

Contexto

En el estudio II se trabajó con un grupo de siete estudiantes (dos mujeres y cinco hombres) que se encontraban cursando la asignatura Didáctica para Físicos del programa de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia. Con ellos se realizó un estudio de casos colectivo, donde cada uno de los siete casos se consideró como una unidad de análisis.

Este estudio se realizó durante el primer semestre de 2009 con una intensidad de cuatro horas semanales divididas en dos sesiones (dos horas cada una). 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.

7.1 Fases del estudio

El estudio II que constituye esta tesis está conformado por tres fases o etapas fundamentales: recolección de la información inicial, aplicación de la propuesta didáctica y recolección de la información final. Una breve síntesis de estas etapas con sus respectivas actividades, instrumentos de recolección de datos, objetivos y duración, se muestran en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio II.

Etapas	Actividades e instrumentos de recolección de datos	Objetivo	Duración
Recolección de la información inicial	<i>Test Force Concept Inventory (FCI)</i>	Conocer el dominio que tenían los estudiantes acerca de los principales conceptos de la dinámica Newtoniana.	2 horas
	Pretest sobre Imagen de Ciencia y enseñanza de las ciencias.	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 crítica y discusión del artículo “A aerodinâmica da bola de futebol” de Aguiar y Rubini (2004).	Familiarizar a los estudiantes con elementos del proceso de 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 de 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 a partir de los diferentes elementos interactivos.	4 horas (2 sesiones)
	4. Presentación del profesor investigador 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 como una herramienta potencialmente significativa.	4 horas (2 sesiones)
	7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto con diagrama AVM.	Estimular en los estudiantes 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 computacionales 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)
Recolección de la información final	<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 abordados en este estudio.	40 minutos

7.1.1 Recolección de la información inicial

Aplicación del *test* FCI: en una sesión previa al inicio de la intervención didáctica, se aplica el *test Force Concept Inventory* o *test FCI* (Anexo D). La aplicación de este *test* tuvo una duración de dos horas y pretendía conocer el dominio que tenían los estudiantes sujetos de esta investigación acerca de los principales conceptos de la dinámica Newtoniana; y a partir de estos resultados definir/redefinir algunas de las actividades propuestas para el estudio II.

Aplicación del *pretest* sobre la imagen de ciencia y su enseñanza: en una segunda sesión de dos horas, se realizó la presentación del curso, informando a los estudiantes que serían sujetos de una investigación y se aplicó un *test* sobre imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias (Anexo E), que denominamos *pretest*, con una duración aproximada de cuarenta minutos; aplicado con el propósito de conocer la visión de ciencia que tenían los estudiantes en este nivel de su formación. Al igual que el *test FCI*, la información adquirida con la aplicación del *pretest* permitió redefinir algunas de las actividades planteadas en la investigación. El *pretest* es una adaptación del cuestionario INPECIP (Inventario de Creencias Pedagógicas y Científicas de Profesores), diseñado por Porlán (1989) y posteriormente validado (Porlán, Rivero y Martín, 1997). El cuestionario fue creado como instrumento para analizar las concepciones del profesorado de ciencias experimentales a partir de cuatro grandes categorías: modelo didáctico, imagen de la ciencia, teoría del aprendizaje y metodología de enseñanza. Sin embargo, por los intereses de esta investigación, fueron abordadas solamente dos de estas categorías: imagen de ciencia y metodología de enseñanza.

Entrevista inicial semi-estructurada: en una tercera sesión de cuatro horas y media (aproximadamente 40 minutos con cada estudiante), atendiendo al protocolo de entrevista semi-estructurada, se entrevistó de modo individual a cada uno de los estudiantes del curso. La entrevista fue diseñada de tal manera que posibilitara un diálogo fluido en el que cada uno de los entrevistados pudiera expresar libremente su opinión y hacer los comentarios que considerase necesarios. Esta entrevista tenía como propósito complementar la información obtenida en el cuestionario, detectando concepciones epistemológicas de los estudiantes relacionadas con tres de los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, como son: el principio del aprendizaje por error, el

principio del desaprendizaje y el principio de incertidumbre del conocimiento. De igual manera que los instrumentos de recolección de datos previamente aplicados, esta entrevista permitió adquirir información valiosa y determinante para la planeación y redefinición de la propuesta didáctica.

7.1.2 Propuesta didáctica

La metodología de enseñanza o propuesta didáctica concreta incluyó varias actividades que tuvieron como propósito favorecer en el estudiante una actitud crítica y reflexiva en relación con la modelación científica y el conocimiento científico, a partir de la implementación de actividades de modelación computacional sobre fenómenos de la dinámica Newtoniana, haciendo uso del diagrama AVM como instrumento que orienta a los estudiantes en el análisis y construcción de modelos conceptuales. Del mismo modo se pretendía conocer la contribución de dichas actividades de modelación científica en la evolución de las concepciones de ciencia de los estudiantes participantes en este estudio. Las actividades de modelación científica a las que se hace referencia en este trabajo son fundamentalmente actividades de modelación implementadas en el computador y con apoyo del diagrama AVM como instrumento que orienta a los estudiantes en el análisis y construcción de modelos conceptuales. Además de estas actividades de modelación computacional, fueron desarrolladas otras actividades afines que aportaron valiosa información para el propósito de este estudio.

Las diferentes actividades que conformaron la propuesta didáctica son descritas a continuación, asignando a cada una de ellas, un número que permitirá una mejor identificación en la sección correspondiente al análisis de resultados.

Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo: en esta actividad se llevó a cabo la lectura del artículo “A aerodinâmica da bola de futebol” de Aguiar y Rubini (2004), en el cual se realizaba el análisis de un fenómeno físico cotidiano como es el lanzamiento de un balón de fútbol, a partir del uso de herramientas computacionales. A partir de la lectura en grupo de este artículo, se pidió a los estudiantes identificar componentes esenciales del proceso de modelación científica tales como: el fenómeno de interés que estaba siendo estudiado, las teorías que explicaban dicho fenómeno, los conceptos involucrados, las

posibles idealizaciones; y además, se les incitó a formular preguntas de interés que posibilitaran el análisis de dicho fenómeno. El propósito fundamental de esta actividad era familiarizar a los estudiantes con elementos y conceptos propios del proceso de modelación científica, además de conocer sus habilidades para la formulación de preguntas de interés en torno a un fenómeno físico.

Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana: esta actividad que fue realizada por los estudiantes conformando duplas; y para llevarse a cabo fueron presentadas a los estudiantes algunas situaciones físicas enmarcadas en el campo conceptual de la dinámica Newtoniana, (Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta, un objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, una varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical, un cuerpo oscilando unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso y un niño en un columpio es empujado por su padre). Estas situaciones fueron implementadas con el propósito de promover en los estudiantes la formulación de preguntas de interés en relación con las situaciones problema planteadas.

Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración: en esta actividad los estudiantes de manera individual se enfrentaron por primera vez a la interacción con modelos computacionales; para lo cual les fueron aportados tres modelos diseñados con el programa de modelación *Modellus 2.5*. Los modelos explorados fueron: tiro parabólico, relación fuerza-aceleración y el fenómeno del paracaídas. En la figura 7.1 se muestra la vista de pantalla de uno de los modelos computacionales implementados en la actividad de modelación computacional de libre exploración.

Es importante aclarar que para esta actividad no se aportó instrumento alguno que guiara a los estudiantes en el proceso de interacción con los modelos computacionales y se les pidió a éstos que formularan algunas preguntas susceptibles de ser respondidas a partir de la interacción con estos modelos. Asimismo, les fue solicitado proponer y/o diseñar un instrumento (derrotero) que orientase el proceso de exploración de modelos computacionales. En esta actividad se tenía 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 ellos para la exploración de dichos modelos.

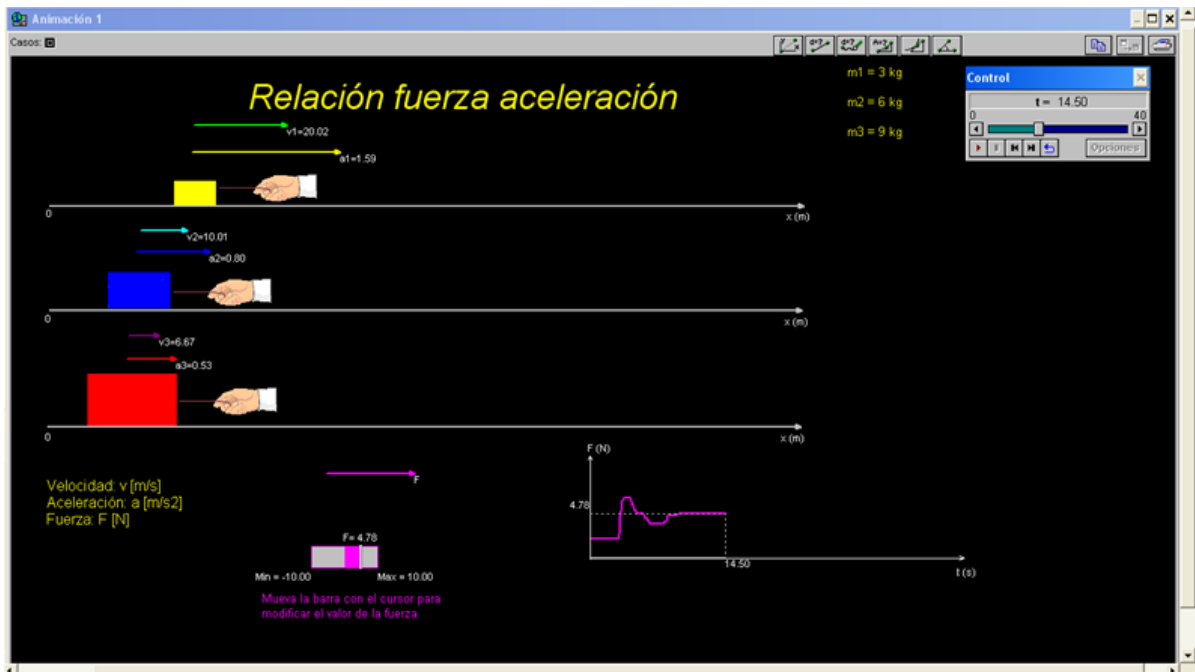


Figura 7.1. Vista de la pantalla del modelo computacional para la relación fuerza-aceleración.

Actividad 4. Estrategias que guían el proceso de modelación computacional: esta actividad hace parte de la propuesta didáctica pero no aporta información para el análisis de los resultados; pues en este punto se tenía como propósito ofrecer a los estudiantes elementos y estrategias que les permitiese realizar las actividades de modelación computacional desde una mirada crítica y reflexiva; para lo cual, el profesor investigador realizó una presentación sobre algunas ideas de la modelación computacional, así como de las herramientas o estrategias que pueden ser usadas en el aula de clase para orientar a los estudiantes en la exploración y/o creación de modelos computacionales. Se hizo referencia al método POE (predecir, observar, explicar); pero se enfatizó fuertemente en el uso del diagrama AVM, prestando especial atención a la formulación de cada uno de sus componentes. Se presentaron algunos ejemplos de modelación computacional con diagrama AVM, 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 deberían ser formuladas.

Actividad 5. Manejo del programa de modelación computacional *Modellus 2.5*: al igual que la actividad 4, esta actividad conformó la propuesta didáctica pero no hizo parte del análisis de los resultados. Durante esta sesión que tuvo una duración de dos horas, el profesor investigador presentó a los estudiantes las características y potencialidades del programa *Modellus 2.5* con el que fueron diseñados todos los modelos computacionales que hicieron parte de este estudio. Para este efecto, se mostraron algunos ejemplos de modelos computacionales ya construidos y se realizaron algunas actividades prácticas de construcción de modelos computacionales; todo esto con el propósito de familiarizar a los estudiantes con el manejo del programa de modelación computacional *Modellus 2.5*.

Actividad 6. Modelación computacional de modo exploratorio guiado con diagrama AVM: estas actividades se realizaron con el propósito de enfrentar a los estudiantes a la exploración de modelos computacionales mediante el uso del diagrama AVM, considerando éste como una herramienta potencialmente significativa en la orientación de dicho proceso. Esta actividad fue desarrollada individualmente, proporcionando a los estudiantes dos modelos computacionales (tiro parabólico y relación fuerza-aceleración) que ellos debían explorar con la ayuda del diagrama AVM; en el cual se describieron previamente elementos como: el fenómeno de interés, la situación problema y las preguntas foco; y los estudiantes debían aportar la descripción de los elementos faltantes a partir de la interacción con los modelos computacionales.

Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto con diagrama AVM: la diferencia de esta actividad con la anterior radica en que, en la exploración abierta de los modelos computacionales mediante el uso del diagrama AVM, todos los elementos de éste debían de ser formulados por los estudiantes quienes debieron prestar especial atención a la formulación de las preguntas como elemento fundamental del diagrama AVM; y que serían las directrices de todo el proceso de exploración. Esta actividad fue desarrollada individualmente y tenía como propósito fundamental, estimular en los estudiantes la capacidad para formular preguntas de interés sobre las situaciones físicas planteadas en los modelos computacionales. Los modelos aportados a los estudiantes fueron: fricción entre sólidos y el fenómeno del paracaídas. En la figura 7.2 es mostrada la vista de pantalla de uno de los modelos computacionales implementados en la actividad de modelación computacional de modo exploratorio abierto.

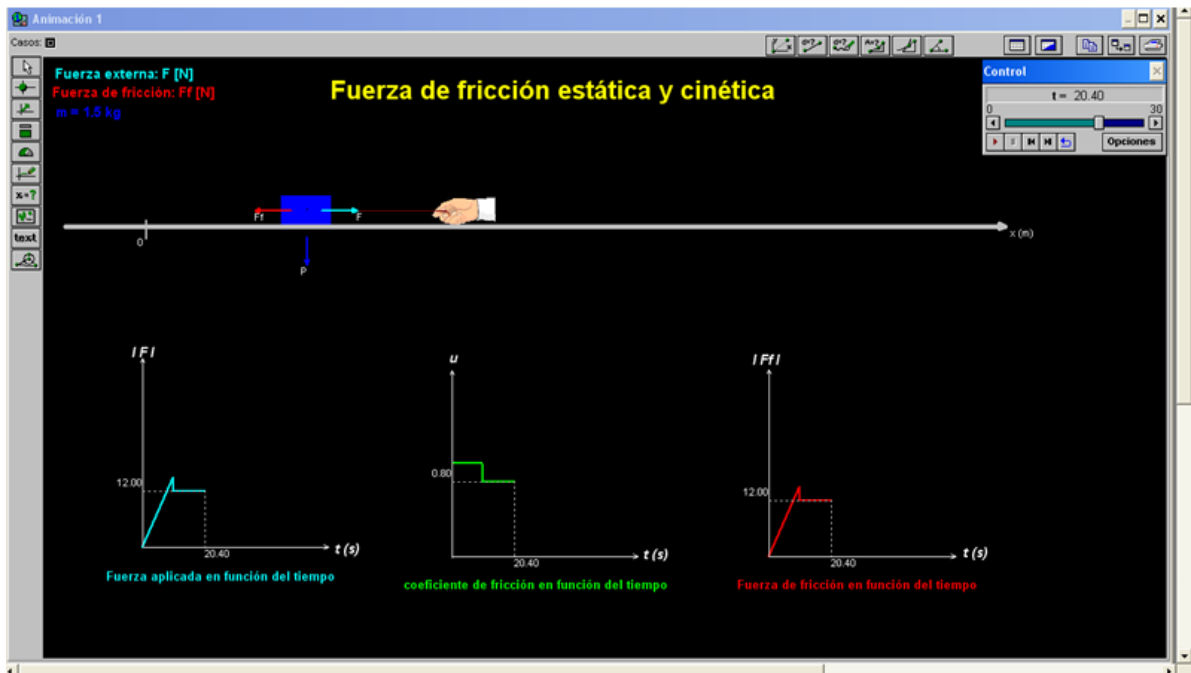


Figura 7.2. Vista de la pantalla del modelo computacional para la fricción entre sólidos.

Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional: en esta actividad se tenía como objetivo buscar evidencias de una valoración crítica de los modelos computacionales por parte de los estudiantes, que posibilitase la detección de errores como estrategia para la validación y perfeccionamiento de dichos modelos. Para cumplir con tal propósito, se presentaron intencionalmente a los estudiantes dos modelos computacionales incorporando errores en las ecuaciones de cada uno de éstos y sin advertir a los estudiantes sobre la existencia de dichos errores; pretendiendo que éstos fueran detectados por los estudiantes a partir de un análisis crítico de los modelos computacionales; y posteriormente corregidos. Esta actividad se realizó individualmente y fueron proporcionados a los estudiantes dos modelos computacionales: resistencia en caída vertical y máquina de Atwood.

En la figura 7.3 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.

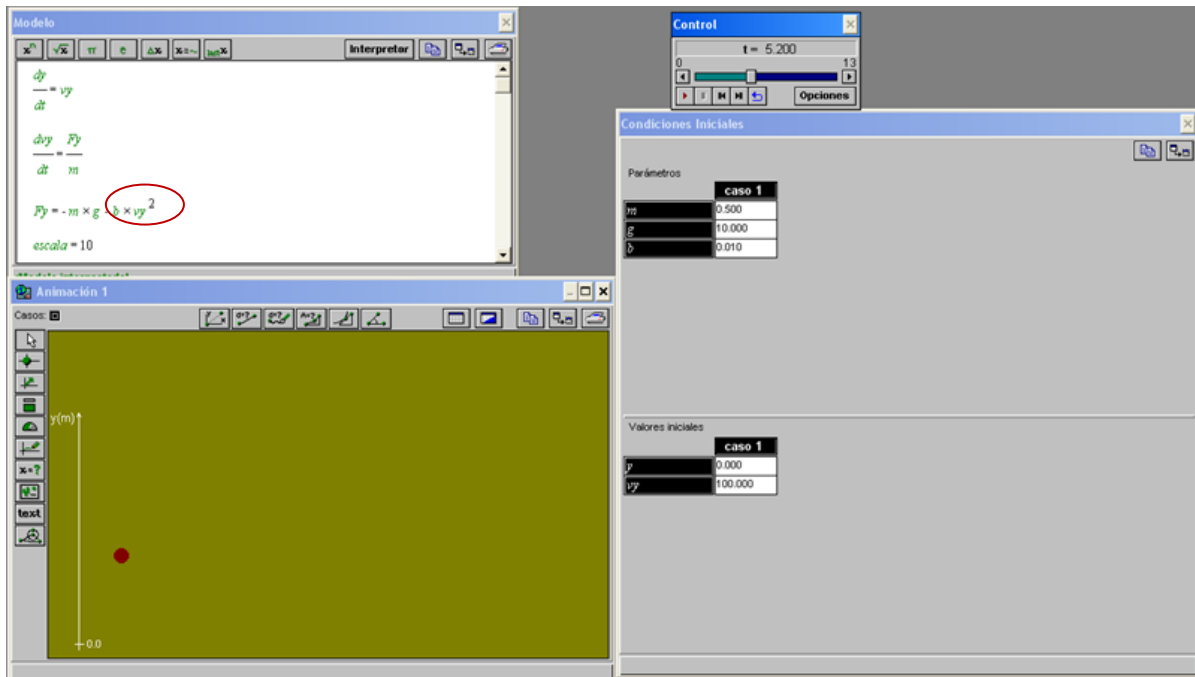


Figura 7.3. Vista de la pantalla del modelo computacional para la resistencia en caída vertical.

Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM:

la modelación computacional de modo expresivo haciendo uso del diagrama AVM, difería de la modelación de modo exploratorio, en que en esta última, los modelos computacionales ya diseñados eran proporcionados a los estudiantes; mientras que la modelación expresiva le exigía al estudiante construir sus propios modelos computacionales; y en este caso, a realizar tal construcción guiada por el diagrama AVM, en el que todos y cada uno de sus elementos debían de ser formulados.

En esta actividad que se realizó en pequeños grupos (dos duplas y un trío), los estudiantes debían construir sus modelos computacionales a partir de las situaciones problema propuestas. Estos modelos podían ser reconstruidos las veces que fuera necesario hasta que éstos aportasen resultados satisfactorios; además, para cada uno de los modelos computacionales construidos, un diagrama AVM debía ser elaborado completamente, partiendo de la formulación de las preguntas foco. Las situaciones problema aportadas fueron: objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical, un cuerpo que oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso y un niño en un columpio que es empujado por su padre.

La implementación de esta actividad tenía como propósito incentivar en los estudiantes la habilidad para formular preguntas de interés y diseñar modelos computacionales para las situaciones físicas propuestas. Es importante aclarar que en la actividad 9 relativa a la modelación computacional de modo expresivo abierto, ningún grupo logró diseñar todos los modelos correspondientes a los sistemas o fenómenos físicos de interés que se habían propuesto para esta actividad; pues solamente se dispuso de dos sesiones (de dos horas cada una) y los estudiantes tardaron largo tiempo en llegar a la versión final del modelo que consideraban adecuado para representar las diferentes situaciones problema planteadas.

7.1.3 Recolección de la información final

Aplicación de *postest* sobre la imagen de ciencia y su enseñanza: se aplicó nuevamente el *test* sobre imagen de ciencia y enseñanza de la ciencia, ahora como *postest*; con una duración aproximada de 40 minutos, y aplicado 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.

Entrevista final semi-estructurada: en la última sesión del curso se realizó nuevamente una entrevista que tuvo una duración de cuatro horas y media (aproximadamente 40 minutos con cada estudiante). Al igual que la entrevista inicial, en ésta se siguió el protocolo de entrevista semi-estructurada (Anexo G), realizada individualmente con el propósito de obtener indicios de alguna modificación en las concepciones epistemológicas de los estudiantes en relación con los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico que hacen referencia al aprendizaje por error, al principio del desaprendizaje y a la incertidumbre del conocimiento; y por supuesto, se pretendía también complementar la información aportada por los estudiantes tanto en el *postest* como en las diversas actividades que conformaron la propuesta didáctica.

7.2 Análisis y discusión de resultados

En esta sección se presentan los resultados relativos al estudio II, 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 consideradas en este estudio. Posteriormente se presentan los demás datos colectados haciendo una síntesis interpretativa de la información obtenida para cada uno de los casos estudiados (7 estudiantes del curso Didáctica para Físicos).

Como ya fue mencionado, la aplicación del *test FCI* a este grupo de estudiantes al inicio de la intervención se hizo 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 estos resultados (tabla 7.2) definir/redefinir algunas de las actividades que hicieron parte de la propuesta didáctica de este estudio.

Tabla 7.2. Desempeño de los estudiantes en el cuestionario sobre el concepto de fuerza o *test FCI*.

Estudiante	Número de respuestas correctas	Porcentaje de respuestas correctas	Media del porcentaje de respuestas correctas	Desviación estándar	Coefficiente de variación
1	26	86.66%	79.04%	40.80%	51.61%
2	24	80.00%			
3	19	63.33%			
4	29	96.66%			
5	27	90.00%			
6	25	83.33%			
7	16	53.33%			

A partir de la tabla 7.2 es posible considerar que el grupo de alumnos participantes en este estudio tiene un nivel aceptable de conocimientos de mecánica Newtoniana. Esto, si se tiene en cuenta que Hestenes y Halloun (1995a) 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 (1995a) a partir del cual

consideran que se da un nivel de conocimientos y de comprensión comparable a la concepción Newtoniana *-Mastery threshold-*.

El alto valor del coeficiente de variación muestra que no existe 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.

De otro lado, los principios 1, 6, 7 y 8 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 datos que permiten la valoración de cada uno de los objetivos, son mostrados en la tabla 7.3.

Las actividades 4 y 5 no son susceptibles de análisis puesto que hacen referencia a las exposiciones e instrucciones del profesor investigador en relación con los instrumentos a ser utilizados en las demás actividades que constituyen la propuesta didáctica.

Los principios de la TASC considerados en este estudio son clasificados como: principio del cuestionamiento, que se refiere a la habilidad para formular preguntas; y principios epistemológicos, donde están contenidos los principios 6, 7 y 8, referidos al aprendizaje por error, al desaprendizaje y a la incertidumbre del conocimiento; principios que para ser atendidos en el contexto de la modelación científica (y específicamente de la modelación computacional con dAVM) nombramos como principios orientadores relativos a: la valoración crítica de los modelos, la concepción de modelo y la incertidumbre del conocimiento, respectivamente. En la figura 7.4, se muestran los principios orientadores de este estudio, las variables medidas para cada uno de ellos y su nivel de valoración.

Tabla 7.3. Instrumentos de recolección de datos usados para valorar el progreso de los estudiantes en relación con cada objetivo.

Principio de la TASC	Objetivo relacionado	Instrumentos de recolección de datos
<p>Principio 1: principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas</p>	<p>Valorar el progreso de los estudiantes en la habilidad para formular preguntas, propiciado por el uso de la modelación computacional con diagrama AVM.</p>	<p>Actividades de la propuesta didáctica: 1, 2, 3, 6, 7, 9.</p>
<p>Principio 6: principio del aprendizaje por error</p>	<p>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.</p>	<p><i>Pretest</i></p> <p>Entrevista inicial</p> <p>Actividades de la propuesta didáctica: 8, 9.</p> <p><i>postest</i></p> <p>Entrevista final</p>
<p>Principio 7: principio del desaprendizaje</p>	<p>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.</p>	<p><i>Pretest</i></p> <p>Entrevista inicial</p> <p>Actividades de la propuesta didáctica: 1, 9.</p> <p><i>postest</i></p> <p>Entrevista final</p>
<p>Principio 8: principio de incertidumbre del conocimiento</p>	<p>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.</p>	<p><i>Pretest</i></p> <p>Entrevista inicial</p> <p>Actividades de la propuesta didáctica: 1, 8, 9.</p> <p><i>postest</i></p> <p>Entrevista final</p>

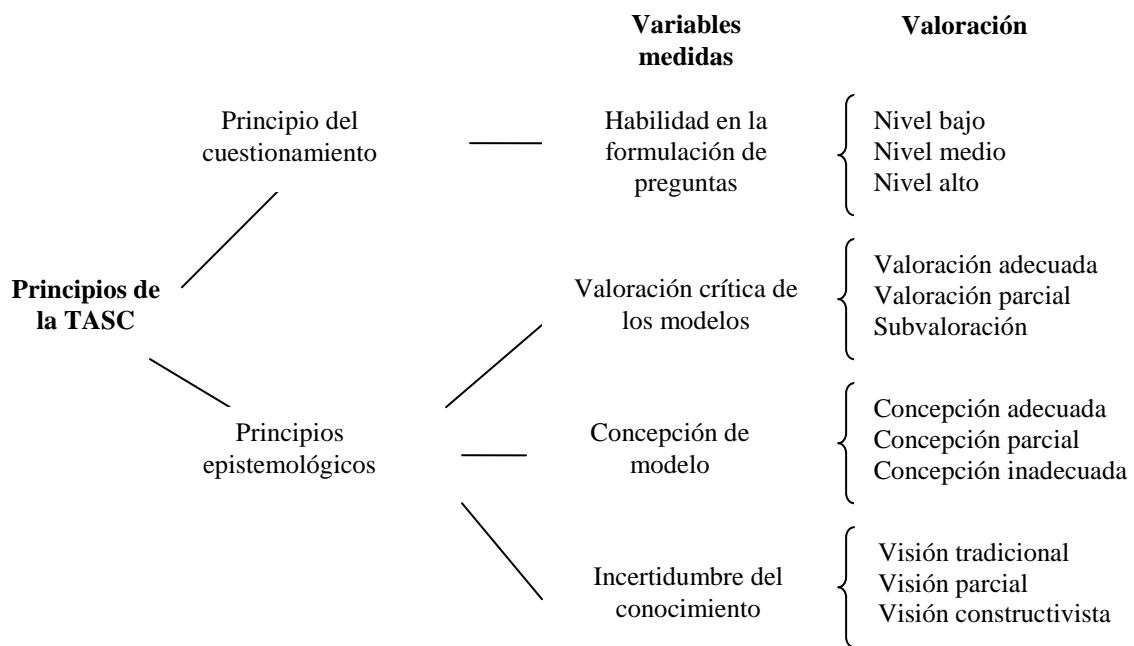


Figura 7.4. Esquema de valoración de los objetivos específicos del estudio II.

7.2.1 Definición de criterios para el análisis de actividades

Criterios para el análisis del *pretest* y *posttest*

La aplicación del *pretest* y *posttest* en este estudio tenía como propósito conocer las concepciones didácticas y epistemológicas de los estudiantes y su evolución a partir de dos grandes categorías: imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias. El *test* utilizado es tipo Likert, en el que cada estudiante debía marcar su grado de acuerdo o desacuerdo con una afirmación dada. El *test* tiene un total de 28 ítems o afirmaciones donde cada categoría cuenta con 14 de ellos. Así, de acuerdo con Hernández, Fernández-Collado y Baptista (2006, p. 347), la puntuación mínima del *test* para cada categoría es de 14 y la máxima de 70 puntos. Para el análisis de este *test* se tiene en cuenta el promedio resultante en la escala mediante la fórmula PT/NT (donde PT es la puntuación total y NT es el número de ítems o afirmaciones). Para calcular la puntuación de cada estudiante en el *test*, se atribuye a los cinco niveles de la escala de concordancia (totalmente de acuerdo, de acuerdo, indeciso o sin opinión, en desacuerdo, totalmente en desacuerdo) un puntaje de 5 a 1 si el ítem del *test* contiene una afirmación coherente con una visión adecuada de ciencia o de enseñanza de las ciencias (afirmaciones: 6, 7, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 22, 24, 25, 26, 27, 28). El puntaje es invertido (de 1 a 5) para valorar las demás afirmaciones que no son compatibles con una

visión contemporánea de ciencia o de enseñanza de la ciencia (afirmaciones: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 15, 18, 19, 20, 21, 23).

Los puntajes obtenidos por cada estudiante para cada una de las categorías (imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias) del *pretest* y *postest* pueden verse en las tablas 7.4 y 7.5.

Tabla 7.4. Puntaje de los estudiantes para la categoría imagen de ciencia en el *pretest* y *postest*.

Estudiante	Puntuación <i>Pretest</i>	Promedio resultante <i>Pretest</i>	Puntuación <i>Postest</i>	Promedio resultante <i>Postest</i>
1	44	3.1	60	4.3
2	46	3.3	60	4.3
3	44	3.1	62	4.4
4	51	3.6	64	4.6
5	38	2.7	53	3.8
6	48	3.4	59	4.2
7	39	2.8	49	3.5

Tabla 7.5. Puntaje de los estudiantes para la categoría enseñanza de las ciencias en el *pretest* y *postest*.

Estudiante	Puntuación <i>Pretest</i>	Promedio resultante <i>Pretest</i>	Puntuación <i>Postest</i>	Promedio resultante <i>Postest</i>
1	41	2.9	51	3.6
2	44	3.1	55	3.9
3	46	3.3	56	4.0
4	43	3.0	49	3.5
5	46	3.3	48	3.4
6	43	3.0	54	3.8
7	40	2.8	48	3.4

Tabla 7.6. 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

La tabla 7.6 resume el desempeño de los estudiantes en el *pretest* y *postest* para las categorías imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias; de donde podemos deducir que, de un modo general, hubo un aumento en la puntuación del *postest* en relación con el *pretest*; presentándose una menor dispersión en los puntajes obtenidos para la categoría relativa a la enseñanza de las ciencias; pero para todos los casos, la dispersión o variabilidad de los datos es aceptable, siendo 10.48% el mayor valor obtenido como coeficiente de variación. Para mostrar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre *pretest* y *postest* se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas. Siendo H_0 la hipótesis nula establecida para este análisis, la cual considera que no existe diferencia alguna entre los resultados del *pretest* y *postest* ($H_0: pretest = postest$); y definiendo H_1 como hipótesis alternativa, que establece una diferencia entre los puntajes del *pretest* y *postest* ($H_1: pretest \neq postest$); el estadístico de Wilcoxon arroja los valores de T y su respectivo nivel de significancia, los cuales son mostrados en la tabla 7.7. Dicho análisis fue realizado con el paquete estadístico SPSS, versión 16.0.

Tabla 7.7. Prueba de Wilcoxon para la diferencia significativa *pretest-postest*.

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

La tabla de valores críticos de T en la prueba de los rangos señalados de pares igualados de Wilcoxon (Siegel, 1972, p. 288) muestra que para $N=7$, un valor de $T=0$ permite rechazar la hipótesis de nulidad en un nivel de significancia $\alpha = 0.02$ para una prueba de dos colas. Estos valores coinciden para las dos categorías indagadas, permitiendo concluir que efectivamente 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.

Para realizar el análisis de la visión de cada uno de los estudiantes aportada por este *test*, es importante aclarar que aunque éste utiliza una escala Likert con cinco opciones; para su análisis éstas se resumen en dos, considerando que pueden detectarse dos visiones contrapuestas.

De esta manera, el análisis de las categorías imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias, 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 ateorica; y la visión constructivista para esta misma categoría, hace alusión a un modelo más acorde con las actuales concepciones epistemológicas de la ciencia.

Asimismo, para la categoría enseñanza de las ciencias, una visión tradicional está relacionada con la imagen del estudiante como un receptor pasivo de conocimientos y con una tendencia conductista en la evaluación de los aprendizajes. En contraposición con esta visión, una postura constructivista en relación con la enseñanza de las ciencias estaría próxima a la que posee la comunidad científica que trabaja en la didáctica de las ciencias.

Las dos categorías del *test* (imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias), sus respectivos ítems y su clasificación como visión tradicional o constructivista, de acuerdo con lo planteado por Ruiz et al. (2005); son presentadas en la tabla 7.8.

Tabla 7.8. Ítems correspondientes a la visión tradicional y constructivista para las categorías imagen de la ciencia y enseñanza de las ciencias.

Categorías	Ítems correspondientes a la visión tradicional	Ítems correspondientes a la visión constructivista
Imagen de la ciencia	<p>2. Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad.</p> <p>9. El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado.</p> <p>10. Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia.</p> <p>18. La eficacia y la objetividad del trabajo científico estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías.</p> <p>19. La metodología científica garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad.</p> <p>21. A través del experimento, el investigador comprueba si su hipótesis de trabajo es</p>	<p>7. En la observación de la realidad es imposible evitar un cierto grado de deformación que introduce el observador.</p> <p>11. El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad</p> <p>13. El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales.</p> <p>16. El investigador siempre está condicionado, en su actividad, por la hipótesis que intuye acerca del problema investigado.</p> <p>17. El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos.</p> <p>25. Las hipótesis dirigen el proceso de</p>

	verdadera o falsa. 23. La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.	investigación científica. 27. La experimentación se utiliza en ciertos tipos de investigación científica, mientras que en otros no.
Enseñanza de las ciencias	1. Los alumnos aprenden correctamente los conceptos científicos cuando realizan actividades prácticas. 3. La realización de problemas en clase es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias. 4. La manera correcta de aprender ciencias en primaria es aplicando el método científico en el aula. 5. El método de enseñanza es la manera de dar los contenidos científicos. 8. El profesor debe sustituir el temario por un listado de centros de interés que abarque los mismos contenidos. 15. Los métodos de enseñanza de las ciencias basados en la investigación del alumno no provocan el aprendizaje de contenidos concretos. 20. Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos.	6. La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias. 12. El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico. 14. Cada profesor construye su propia metodología para la enseñanza de las ciencias. 22. El aprendizaje de las ciencias basado en el trabajo con el libro de texto no motiva a los alumnos. 24. En la clase de ciencias es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos. 26. La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos. 28. La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas favorece que el alumno memorice mecánicamente el contenido.

Para efectos del análisis del *pretest* y *postest*, han sido creadas unas subcategorías de análisis en las cuales son incluidos los ítems correspondientes, como se muestra en la tabla 7.9.

Tabla 7.9. Categorías y subcategorías de análisis para el *pretest* y el *postest*.

Categorías	Subcategorías	Ítems
Imagen de la ciencia	La observación en la construcción de conocimiento científico	7, 9, 10
	El papel de las hipótesis	16, 25
	La ciencia como construcción humana	11, 13, 17
	Relación Conocimiento científico-realidad	2
	El método científico	18, 19
	Evolución del conocimiento científico	23
	Papel de la experimentación en la investigación científica	21, 27
Enseñanza de las ciencias	Implementación de estrategias de enseñanza	1, 3, 12, 15, 28
	Metodología para la enseñanza de las ciencias	4, 5, 8, 14, 20, 24
	Implementación de recursos para la enseñanza	6
	El papel del libro de texto	22, 26

Criterios para el análisis de las entrevistas (inicial y final)

Para realizar el análisis de las entrevistas (inicial y final), se utilizan las mismas subcategorías pertenecientes a la categoría imagen de la ciencia definidas para el análisis del *pretest* y *posttest* (tabla 7.9). Se presentan algunos fragmentos de las entrevistas realizadas a los estudiantes, cuya argumentación manifiesta la concepción de éstos en relación con la ciencia, su evolución, su objetividad, entre otras.

Es importante aclarar que la categoría enseñanza de las ciencias y sus correspondientes subcategorías no son consideradas en el análisis del estudio II, generando información valiosa para la fase de exploración relativa al estudio III de esta investigación que hace referencia a aspectos relacionados con el diseño de materiales de enseñanza.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC: Principio de la interacción social y del cuestionamiento.

Considerando que las actividades concernientes al principio 1 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, son aquellas que tienen que ver con la formulación de preguntas por parte de los estudiantes; y asumiendo que la capacidad lograda por éstos para formular preguntas relevantes, apropiadas y sustantivas de manera sistemática sobre los fenómenos físicos abordados es una evidencia de aprendizaje significativo crítico; a partir de este principio se busca como evidencia su progreso en la habilidad para formular preguntas, favorecido en gran medida por la modelación computacional y el uso del diagrama AVM.

La formulación de preguntas es definida como una variable cualitativa que se mide en una escala ordinal, estableciendo tres niveles (bajo, medio, alto) en la capacidad de formular preguntas. Las actividades que hacen referencia a la formulación de preguntas por parte de los estudiantes, serán valoradas a partir de esta escala cualitativa presentada en la tabla 7.10.

Tabla 7.10. Escala cualitativa de valoración para la capacidad de formular preguntas.

Niveles en la capacidad de formular preguntas	Características de las preguntas
Bajo	Se hace referencia a preguntas muy limitadas; preguntas que indagan por respuestas numéricas, respuestas del tipo sí o no, o preguntas que buscan como respuesta una ecuación o una palabra completamente inducida por la pregunta; así, como preguntas que indagan por aspectos muy generales que pueden ser subyacentes al fenómeno estudiado, pero que no posibilitan su comprensión.
Medio	Aquellas preguntas cuyas respuestas requieren el uso de algún o algunos conceptos en la descripción de situaciones o fenómenos, sin que se establezca necesariamente una relación entre éstos. Asimismo, pueden considerarse en este nivel, preguntas que pueden generar cierto interés pero que poco aportan a la comprensión del fenómeno en cuestión.
Alto	Aquellas preguntas que incitan al estudiante a la conceptualización, preguntas que requieren una comprensión de los conceptos involucrados en el análisis de un fenómeno y que posibilitan el establecimiento de relaciones claras y coherentes entre los conceptos que explican dicho fenómeno.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 6 de la TASC:

Principio del aprendizaje por error.

A través del *pretest*, *postest*, entrevistas inicial y final, y las actividades de la propuesta didáctica referentes al principio 6 de la TASC (actividades 8 y 9), se buscó como principal evidencia de este principio, que los estudiantes participantes de este estudio realizaran una valoración crítica de los modelos computacionales explorados y construidos, de tal manera que consiguiesen detectar los errores comprendidos en éstas y así corregirlos sistemáticamente en la búsqueda de la validación y el perfeccionamiento de dichos modelos.

En la búsqueda de estas evidencias se analizaron las respuestas de los estudiantes en el *pretest* y en la entrevista inicial, relacionadas con las subcategorías: relación conocimiento científico-realidad, método científico y evolución del conocimiento científico; con el propósito de conocer la concepción inicial de ciencia referida a estos aspectos. Al finalizar las actividades de la propuesta didáctica, un *postest* y una entrevista final fue realizada indagando por algún progreso en la concepción de ciencia de los estudiantes en relación con las mismas subcategorías.

Asimismo, se hizo un análisis de las actividades 8 y 9 pertenecientes a la propuesta didáctica, las cuales se caracterizaban por incitar a los estudiantes a la detección de errores y a la corrección permanente de los mismos en el intento de conseguir modelos cada vez más funcionales y satisfactorios para el modelador.

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. De manera específica, en el modelo nombrado resistencia en caída vertical se definieron las ecuaciones que describían el movimiento vertical de un objeto en presencia de una fuerza de viscosidad; pero la ecuación de la fuerza de viscosidad aparece escrita de la forma $F = -mg - bv^2$; lo que no permite que la fuerza de viscosidad sea siempre contraria a la velocidad. Error que fácilmente podría ser detectado realizando una gráfica de la velocidad o de la energía mecánica, la cual permitiría hallar un aumento desproporcionado en la velocidad del objeto, tendiendo a infinito y no alcanzando una velocidad terminal. Lo correcto sería entonces escribir la ecuación en la forma $F = -mg - b(v/|v|)v^2$.

Del mismo modo, en el segundo modelo utilizado en la actividad 8, denominado máquina de Atwood, la aceleración estaba dada por la ecuación $a_y = g(m_1 + m_2)/(m_1 + m_2)$ cuando en realidad debería estar descrita por la ecuación $a_y = g(m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)$; haciendo así que la aceleración del sistema fuera igual a la aceleración de la gravedad. El estudiante podría darse cuenta fácilmente del error haciendo una comparación entre los valores preestablecidos para las masas y verificando que una masa es ligeramente mayor que la otra ($m_1 > m_2$), pero no se da el caso que una de las masas sea infinitamente más grande que la otra ($m_1 \gg m_2$) para considerar que se pasa por alto el efecto de la masa más pequeña y concluir que $a_y = g$.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 7 de la TASC:
Principio del desaprendizaje.

El principio 7 de la TASC se refiere al desaprendizaje, entendiendo éste como 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.

En estos términos, el principal propósito de las actividades referidas a este principio, es lograr que los estudiantes adquieran la noción de que un modelo no describe todo de manera completa, ni que es único en la descripción de un fenómeno. La idea 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.

En concordancia con esto, a partir del *pretest* y la entrevista inicial, se pretende conocer la concepción inicial de los estudiantes en relación con las subcategorías: la observación en la construcción de conocimiento científico y la ciencia como construcción humana. Subcategorías consideradas absolutamente pertinentes para el análisis de este principio de la TASC; y que en el *postest* y en la entrevista final son nuevamente analizadas buscando indicios de algún progreso en la concepción de ciencia que adquieren los estudiantes en relación con estas subcategorías.

En este mismo sentido, se realiza un análisis de las actividades 1 y 9 correspondientes a la propuesta didáctica, por enfatizar en aspectos relacionados con el principio 7 de la TASC y permitirle a los estudiantes expresarse acerca de las formas de representación concebidas por ellos para explicar un mismo fenómeno o sistema físico, en relación con los objetivos planteados y el grado de precisión requerido.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 8 de la TASC:

Principio de incertidumbre del conocimiento.

El principio 8 de la TASC, referido a la incertidumbre del conocimiento, asume 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.

A través del *pretest* y la entrevista inicial, se busca conocer las concepciones iniciales de los estudiantes en relación con las subcategorías: relación conocimiento científico-realidad, la ciencia como construcción humana y la evolución del conocimiento científico. De la misma manera, se realiza al final de la intervención un *postest* y una entrevista final para valorar el progreso de los estudiantes en relación con estas mismas subcategorías; las cuales aluden directamente al principio 8 de la TASC.

Asimismo, se lleva a cabo un análisis de las actividades 1, 8 y 9 correspondientes a la propuesta didáctica y que tenían como propósito incentivar a los alumnos a realizar un análisis crítico en relación con la necesidad de modificar y perfeccionar de manera permanente el conocimiento, asumiendo que éste es temporal y provisional y no es ni verdadero ni definitivo.

En adelante son presentados los resultados obtenidos en la investigación para cada uno de los siete estudiantes que participaron en el estudio, constituyéndose cada uno de ellos en un caso o unidad de análisis. La presentación de los resultados para cada estudiante se llevó a cabo abordando cada uno de los objetivos específicos directamente relacionados con los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico contemplados en este estudio.

Para garantizar la fiabilidad del análisis de los datos y de las respectivas interpretaciones, se implementó la triangulación de fuentes de recolección de datos; realizando el análisis de cada objetivo específico (relacionado con cada principio de la TASC) a partir de la integración de las diversas actividades que hacían alusión a cada uno de ellos.

7.2.2 Análisis de casos

A continuación se presenta la información obtenida para cada uno de los siete estudiantes considerados como los casos de análisis de este estudio.

Estudiante 1

A los 26 años de edad, este estudiante no había laborado y se encontraba realizando el séptimo nivel de su carrera, en la cual no ha reprobado ninguna asignatura. Este estudiante manifestaba una gran pasión por la literatura y tenía un gusto particular por aquella

relacionada con la historia de la ciencia. El análisis de la información aportada por este estudiante es el siguiente.

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las actividades que permiten obtener evidencias sobre el principio 1 de la TASC relacionado con la formulación de preguntas y las preguntas formuladas por el estudiante 1 son mostradas en la tabla 7.11.

Tabla 7.11. Preguntas formuladas por el estudiante 1 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>¿Qué es la aerodinámica?</p> <p>¿Cómo se debe golpear el balón para que sea gol olímpico?</p>	Bajo
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Cuál es el ángulo de mayor altura y mayor desplazamiento? ¿El tiempo de caída depende de la velocidad?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo se mide el período? ¿El período depende de la masa? ¿El período depende de la longitud?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo se mide el período? ¿El período depende de la masa? ¿El período depende de la longitud?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Cuántas oscilaciones se necesitan para detener el mecanismo? ¿Cómo sería la gráfica de la amplitud contra el tiempo? ¿Es un movimiento armónico simple?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Cuál es la fuerza máxima externa?</p>	Bajo
Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> Mida con regla y compás los ángulos de lanzamiento ¿Cuál es el ángulo y velocidades óptimas para encestar?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> ¿Cómo se pueden obtener aceleraciones diferentes? ¿Cómo es la gráfica de velocidad contra tiempo?</p>	Bajo

	<u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> Encuentre el valor de la velocidad límite para el caso con paracaídas. ¿Cuál es el tiempo máximo que puede permanecer cerrado el paracaídas?	
Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto	<u>Modelo computacional: fricción</u> ¿Qué tipos de coeficientes de fricción hay? ¿Pueden haber coeficientes de fricción diferentes para un mismo material? ¿Qué fuerzas actúan sobre el bloque? <u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Para qué necesita el paracaidista la resistencia del aire? ¿Es importante el tamaño del paracaídas? ¿Qué significa una resistencia del aire negativa?	Medio
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto	<u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo depende el período de la amplitud angular? ¿En qué momento se detiene el péndulo si las condiciones son ideales? ¿Cuál es la razón por la cual el período no depende de la masa? <u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿En qué casos puede decirse que el período depende de la amplitud angular? ¿El péndulo finalizaría su movimiento, en algún momento? ¿Por qué? ¿El período depende de la masa?	Medio-alto

A partir de las actividades 1, 2 y 3, puede observarse que gran parte de las preguntas planteadas por el estudiante 1 generan respuestas de tipo numérico y respuestas de tipo sí o no; y difícilmente contribuyen a la comprensión de los fenómenos físicos estudiados.

Como ya fue mencionado, la actividad 6 no requiere de la formulación de preguntas por parte de los estudiantes; y más bien se concentra en comparar las respuestas aportadas por los estudiantes a las preguntas aquí planteadas con las respuestas dadas a las preguntas formuladas por ellos mismos en la actividad 3. Así, mientras que en la actividad 3, el estudiante 1 se limitaba a dar respuestas de tipo numérico para las preguntas que había planteado en relación con los modelos computacionales tiro parabólico y relación fuerza-aceleración; en la actividad 6, para estos mismos modelos computacionales, las repuestas del estudiante 1 pueden verse en la tabla 7.12.

Tabla 7.12. Respuestas del estudiante 1 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>En el punto más alto de la trayectoria, el balón solo tiene velocidad diferente de cero en x.</p> <p>La velocidad en x permanece constante y la velocidad en y varía siendo primero positiva y luego negativa.</p> <p>La aceleración del balón siempre es la misma, la gravitacional.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>La fuerza es directamente proporcional a la aceleración ($m=cte$)</p> <p>La aceleración es inversamente proporcional a la masa ($F=cte$)</p> <p>La fuerza es proporcional a la masa ($a=cte$)</p>

Aunque estas respuestas aún no son muy profundas, posiblemente porque era la primera actividad de modelación computacional que los estudiantes realizaban haciendo uso del diagrama AVM, puede notarse en el estudiante 1 un intento por buscar relaciones entre conceptos para intentar responder a las preguntas planteadas. Respuestas que difieren enormemente de aquellas que podían obtenerse a partir de las preguntas planteadas en la actividad 3.

A partir de la actividad 7 de modelación computacional de modo exploratorio abierto haciendo uso del diagrama AVM, es importante resaltar que se ha avanzado en la formulación de preguntas por parte de este estudiante, cuando se hace una comparación con las preguntas planteadas en las actividades anteriores. Las preguntas formuladas por el estudiante 1 para el análisis de los modelos computacionales de fricción y paracaídas, son preguntas que indagan un poco más por respuestas explicativas y relaciones entre conceptos; sin embargo, las respuestas que este estudiante describe para estas preguntas siguen siendo muy escuetas y poco profundas en el análisis del fenómeno.

En la actividad 9 relacionada con la modelación computacional de modo expresivo abierto, este estudiante diseña dos modelos computacionales, uno para el péndulo simple y otro

para el péndulo físico y formula preguntas de interés para el análisis de dichos modelos computacionales (Tabla 7.11). A partir de estas preguntas, es posible afirmar que el estudiante ha logrado un progreso significativo en su formulación; sobre todo si se comparan con las preguntas formuladas en la actividad 2 para los mismos sistemas o fenómenos físicos de interés. Ahora, la mayoría de las preguntas planteadas requieren una comprensión de los conceptos involucrados en el análisis del fenómeno y posibilitan el establecimiento de relaciones entre los conceptos.

Considerando el progreso de este estudiante en su habilidad para formular preguntas de interés en relación con sistemas o fenómenos físicos referentes al campo de la dinámica Newtoniana, es posible valorar la contribución de las actividades de modelación computacional en dicho progreso; a lo que el propio estudiante 1 se refiere de la siguiente manera, en una discusión que se generó con el grupo al culminar las actividades de modelación computacional:

“...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”.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 1 y que se refieren al principio 6 de la TASC, son descritas en la tabla 7.13.

A partir de la información aportada por el estudiante 1 en el cuestionario inicial y en la entrevista inicial, puede deducirse que en lo referente a la relación conocimiento científico-realidad y al método científico, este estudiante muestra una postura tradicional, asumiendo que las teorías científicas reflejan la realidad tal y como es y que la describen de manera perfecta; haciendo alusión a la objetividad del método científico en el estudio de la realidad.

Tabla 7.13. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...por ejemplo, yo creo que teorías como la mecánica clásica han sido exitosas en explicar lo que hemos visto hasta el momento y lo han hecho a la perfección...”</i>
Método científico	<i>“La metodología científica garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad”</i>	<i>“Si existen unos pasos consensuados para hacer ciencia, estos deben ser seguidos y respetados por todos los científicos para asegurarse de que se está siendo objetivo; y estos pasos significan que hay que partir siempre de la observación de un fenómeno y hacer experimentación como el juez máximo de la ciencia”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“La evolución de la ciencia consiste en tratar de que la manera de explicar los nuevos fenómenos sea una forma que incluya las viejas formas de explicarlos; es decir, como ir construyendo edificios cada vez más completos y más funcionales sin necesidad de destruir completamente los que ya estaban”</i>

Sin embargo, en relación con la evolución del conocimiento científico, el estudiante 1 parece inclinarse más por una visión constructivista, considerando que es necesario construir nuevas teorías para explicar nuevos fenómenos, pero siempre con base en las anteriores; negándose a aceptar que las teorías anteriores sean completamente derrocadas.

Estas concepciones pueden dificultar en el estudiante la aceptación del error como un hecho natural e instructivo en el proceso de construcción de conocimiento científico y concretamente en la modelación científica. En la tabla 7.14 se describen las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 1 y que se refieren al principio 6 de la TASC.

Tabla 7.14. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Muchas de las teorías que conocemos han logrado explicar con gran precisión muchos de los fenómenos naturales; sin embargo, si en algún momento sucede un problema, pues entonces esas teorías van a tener que tratar de describir eso con lo que tienen y si no lo tienen es porque tal vez tengan errores y entonces necesitamos una teoría nueva”</i>
Método científico	<i>“La metodología científica no garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad”</i>	<i>“yo creo que eso de seguir un proceso lógico para hacer ciencia es muy diverso, por ejemplo una forma de hacerlo puede ser la pura lógica, yo coger y escribir algo matemático, ir haciendo inferencias y de ahí sacarlo y luego ver si eso sirve, la otra forma sería yo ver el fenómeno y tratar de diseñar la forma de explicarlo, como el caso de los intentos de explicar el movimiento de los cuerpos: que para Newton era una fuerza y para Leibniz era una cosa que él llamaba la vis viva y que era proporcional a la masa y a la velocidad, pero entonces eso es muy diverso; o sea, algunos tienen la capacidad de verlo a través de la propia experiencia con la naturaleza y otros son capaces de formular su ley a partir de inferencias lógicas; yo considero que es mucho más eficiente y mucho más meritorio la de la intuición”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“Algunas teorías científicas podrían presentar errores, o más bien no servir para explicar completamente un fenómeno que le van surgiendo algunas cosas nuevas y entonces ahí es donde se da la necesidad de construir nuevas teorías que sí puedan explicar lo que las otras no explicaban y así sucesivamente”</i>

A partir de la tabla 7.14, donde se muestran las concepciones del estudiante 1 en el *postest* y en la entrevista final, en relación con la existencia de errores y confusiones en la construcción de conocimiento científico; puede notarse que hubo un progreso significativo en relación con la visión aportada en el *pretest* y en la entrevista inicial.

De esta manera, en cuanto a la relación conocimiento científico-realidad, este estudiante contempla la posibilidad de que existan errores en las teorías que conocemos para explicar la realidad y que eso haría necesario la construcción de nuevas teorías que aporten nuevas y mejores explicaciones. Asimismo, en relación con el método científico, considera la posibilidad de descartarlo como el único proceso válido para construir conocimiento científico, dándole un valor agregado a la intuición del investigador. Y por último, en lo referente a la evolución del conocimiento científico, es mucho más clara su visión de dicha evolución en términos de descartar teorías científicas en el caso de que éstas presenten errores o no proporcionen explicaciones satisfactorias. En estos términos podría inferirse que el estudiante 1 ahora tiene una visión de corte más constructivista que le brinda la posibilidad de considerar el error como un acto propio de la producción de conocimiento científico.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 6 de la TASC relacionado con la detección del error en actividades de modelación y la superación sistemática de éste, así como unos breves comentarios relacionados con cada actividad, se muestran en la tabla 7.15.

En la actividad 8 se aportaron a los estudiantes dos modelos computacionales con errores intencionales, para que a partir de éstos los estudiantes construyeran el respectivo diagrama AVM. Es importante resaltar que el estudiante 1 es muy crítico a la hora de realizar las actividades de modelación computacional, revisando de manera muy exhaustiva las ecuaciones que conforman la estructura matemática del modelo computacional y comparándolas constantemente con la animación del mismo. Sin duda alguna esta actitud le permitió realizar un buen trabajo de validación, detectando los errores y corrigiendo la estructura matemática subyacente a los modelos computacionales.

Este estudiante hace referencia a que es difícil detectar tales errores, sobre todo porque el modelo parece reproducir el fenómeno de interés sin ningún inconveniente. Realiza las respectivas modificaciones en la ventana modelo y hace alusión a la satisfacción de hacer tales correcciones y lograr que el modelo funcione adecuadamente, aduciendo que esta actividad de analizar críticamente el modelo y poder llevar a cabo modificaciones, permite una mejor comprensión del fenómeno analizado. También valora enormemente la

contribución del elemento de validación del modelo en el diagrama AVM en la detección de estos errores.

Tabla 7.15. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 1.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
<p>Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional</p>	<p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u> En el campo del diagrama AVM relativo a la validación del modelo, el estudiante 1 escribe lo siguiente:</p> <p><i>“$F = - mg - bv^2$; este exponente implica que cuando la velocidad es negativa el aire empuja la piedra”.</i></p> <p>Y en el campo relativo a las preguntas foco, formula la siguiente pregunta:</p> <p><i>“¿Cuál es la ecuación correcta para la fuerza?” dando como respuesta: “$F = - mg - bv$”.</i></p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u> En el componente del diagrama AVM relativo a las relaciones, el estudiante escribe la ecuación correcta para la descripción matemática del modelo; es decir:</p> <p><i>“$a = (m_1 - m_2) / (m_1 + m_2) * g$”;</i></p> <p>Y en el campo referente a la validación del modelo escribe lo siguiente:</p> <p><i>“El modelo no reproduce el fenómeno correctamente, pues la ecuación $a = (m_1 + m_2) / (m_1 + m_2) * g$, es incorrecta”</i></p>
<p>Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM</p>	<p>Esta actividad fue desarrollada por el estudiante 1 en conjunto con otros dos compañeros; éstos, construyeron dos modelos computacionales de los cuatro que habían sido propuestos.</p> <p>Los modelos construidos fueron: Péndulo simple y péndulo físico. La construcción de cada uno de estos modelos, estuvo sujeta a permanentes modificaciones hasta lograr obtener los modelos que les eran satisfactorios para representar las situaciones problema planteadas.</p>

La actividad 9 referente a la Modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM permitió a este estudiante enfrentarse a la tarea de construir modelos computacionales que fueran funcionales y adecuados para representar los fenómenos de interés. Este ejercicio le significó al estudiante 1 encontrar múltiples errores y enfrentarse a sus correcciones hasta obtener los modelos que le fueran satisfactorios, al punto de considerar el error como algo natural en el proceso de construcción de modelos.

Al principio de la actividad, cuando su primer modelo no lograba aportarle resultados apropiados, este estudiante se mostró renuente a continuar con esta actividad; sin embargo, cuando logró que su primer modelo (péndulo simple) representara adecuadamente el sistema o fenómeno físico en estudio, se mostró muy satisfecho y valoró enormemente la realización de esta actividad, rescatando que ésta le permitió, además, comprender mucho mejor la formulación de las idealizaciones contempladas en los modelos computacionales, en el proceso de adecuar los resultados teóricos aportados por el modelo a los resultados experimentales.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

En la tabla 7.16 se describen las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 1 y que se refieren al principio 7 de la TASC, relacionado con el desaprendizaje; entendiendo por éste, el hecho de no usar el conocimiento previo que impide captar los significados compartidos relativos al nuevo conocimiento.

En las subcategorías “la observación en la construcción de conocimiento científico” y “la ciencia como construcción humana” correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial, puede detectarse lo que podría considerarse una contradicción en las concepciones del estudiante 1 que se convertiría en un obstáculo epistemológico que le impide comprender el proceso de construcción de conocimiento científico. Por un lado, concibe la observación como el primer paso de un método estricto en la construcción de conocimiento, restándole valor a las teorías previas en el proceso de construcción de éste. Pero por otro lado, le otorga un gran valor al papel de la imaginación y la creatividad del ser humano en el proceso de construcción de conocimiento científico, considerando que éste se genera debido a la capacidad del ser humano para plantearse problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos.

Tabla 7.16. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i>	<i>“Si existen unos pasos consensuados para hacer ciencia, estos deben ser seguidos y respetados por todos los científicos para asegurarse de que se está siendo objetivo; y estos pasos significan que hay que partir siempre de la observación de un fenómeno y hacer experimentación como el juez máximo de la ciencia”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...para mí el proceso de construcción de conocimiento científico históricamente es el siguiente: lo primero que está es el deseo del ser humano por hacer una poesía sobre la naturaleza, existiendo en la ciencia una dosis muy grande también ahí de imaginación y de espiritualidad pues en el sentido de que no estoy haciendo simplemente un trabajo matemático y filosófico y así, sino que es movido más que todo por un interés muy estético como de ver la armonía de la naturaleza, para mí esa es la ciencia, es una dosis de poesía dada la capacidad del ser humano de crear algo bello con lo que está viendo, ahí es donde está la imaginación y la creatividad y la potencia del espíritu humano”</i>

Detectadas concepciones como éstas que podríamos nombrar de obstáculos epistemológicos, se espera que éstos sean superados por el estudiante, no siendo utilizados en el análisis y construcción de modelos conceptuales. Pues poco le aportaría el empleo del método científico y la rigidez de sus pasos en el proceso de creación de modelos computacionales, donde evidentemente se requiere tener conocimientos previos relevantes asociados al campo de conocimiento en el que se encuentran inmersos tales modelos.

Las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 1 y que se refieren al principio 7 de la TASC son mostradas en la tabla 7.17.

Tabla 7.17. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<i>“El observador científico actúa necesariamente bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i>	<i>“yo creo que construir una teoría podría más o menos parecerse al proceso que seguimos nosotros para construir un modelo en el computador, a uno le dicen un fenómeno cotidiano que uno ya lo ha observado muchas veces y uno intenta representarlo con un programa, pero si no sabes cuáles son las ecuaciones, o mejor dicho si no entiendes el fenómeno y no conoces la teoría de la Física que permite explicarlo te quedas con las manos atadas”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...en estos días estaba leyendo un texto sobre Tomás Carrasquilla y él decía que el arte era muy superior a la ciencia porque la ciencia no le podía dar al científico el deleite y la creatividad que le daba el arte a los artistas, donde hay un despliegue de imaginación grandísimo, pero yo pienso que no tiene porqué ser superior, porque en últimas la Física del siglo XX fue un despliegue de imaginación y de creatividad muy grande; y es algo muy parecido a lo que te decía ahora del poeta; o sea, el poeta pone en juego toda su capacidad para crear con lo que está en su mente, en su corazón y en su alma; y el científico pone toda su capacidad, toda su imaginación, toda su creatividad y toda su intuición para entender las cosas que está viendo o que cree que se podrían llegar a ver. Entonces es algo como parecido a eso, o sea, la imaginación y la creatividad en la ciencia es parecida a la imaginación, la creatividad y la intuición en las artes”</i>

Fue muy satisfactorio encontrarse con el fragmento descrito por el estudiante 1 en la entrevista final, cuando haciendo referencia al papel de la observación en la construcción de conocimiento científico, se vale de su experiencia en la actividad de modelación computacional para establecer una analogía con el proceso de construcción de teorías científicas; sobre todo porque ahora muestra de alguna manera haber superado ese obstáculo epistemológico que le impedía concebir la construcción de conocimiento

científico necesariamente influenciada por teorías científicas previas y en cambio se visualizaba un arraigo total a la rigurosidad del método científico que le permitía ver la ciencia como un proceso completamente atóxico.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 7 de la TASC y algunos breves comentarios relacionados con la manera como el estudiante 1 se enfrentó a dichas actividades, pueden verse en la tabla 7.18.

Tabla 7.18. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 1.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	El estudiante 1 afirma que nunca se le hubiera ocurrido recurrir a conceptos como el efecto Magnus y la crisis de arrastre para explicar el fenómeno del movimiento del balón de fútbol. Al respecto dice: <i>“...yo simplemente hubiera hecho el análisis del fenómeno como un movimiento parabólico y aplicando las leyes de Newton, es que eso se puede analizar depende del interés que uno tenga y por supuesto del conocimiento, porque yo por ejemplo primera vez que oigo hablar del tal efecto Magnus”</i>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 1 trabajó con otros dos compañeros en el proceso de construir y analizar dos modelos computacionales: uno para el péndulo simple y otro para el péndulo físico.</p> <p>Considerando que el trabajo era en grupo, la interacción fue permanente; sin embargo, para la construcción del primer modelo computacional (péndulo simple) decidieron trabajar en dos computadores (en dupla e individual) para agilizar el proceso de construcción de dicho modelo, pero sin dejar de interactuar en momento alguno. Aunque los dos modelos finales eran adecuados y satisfactorios para representar el fenómeno estudiado, ambos contemplaban diferentes idealizaciones y después de una larga discusión, los estudiantes llegaron a un consenso en relación con la versión del modelo que querían entregar por considerarlo más adecuado.</p> <p>Al finalizar esta actividad el estudiante 1 expresa: <i>“este modelo está bueno y representa muy bien el fenómeno del péndulo simple; pero si tuviéramos más tiempo, lo haríamos mucho más completo, más preciso y tendríamos en cuenta otras condiciones”</i></p>

A partir de las dos actividades anteriores, es posible obtener evidencias de aprendizaje significativo crítico del estudiante 1 en relación con el principio 7 de la TASC. La actividad 1 referente al análisis del artículo sobre la aerodinámica del balón de fútbol, permite al estudiante validar el modelo que allí está siendo utilizado para explicar dicho fenómeno, pero también le permite admitir que él y que seguramente sus compañeros hubieran diseñado modelos muy diferentes para brindar una explicación a ese mismo

fenómeno, sin que sus modelos fueran inadecuados, solo que éstos no serían tan precisos como aquel utilizado en el artículo.

A pesar del poco tiempo con el que se contó para el desarrollo de la actividad 9, se logró obtener información muy valiosa en relación con la idea de multirepresentación, la cual se asume fue bien comprendida por el estudiante 1. Pues este estudiante pudo darse cuenta de que la representación esquemática construida por él, no necesariamente era la misma de sus compañeros; y que aunque estuvieran representado el mismo fenómeno, siempre existirían algunas representaciones más elaboradas que otras dependiendo de los objetivos que se pretendan lograr con su construcción y del grado de precisión que se quiera alcanzar con ellas.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 1 y que se refieren al principio 8 de la TASC pueden verse en la tabla 7.19.

Sin duda alguna, el estudiante 1 admite que la ciencia es fruto de una construcción humana, en donde juegan un rol muy importante la imaginación y la creatividad del científico; asimismo, considera que en la evolución del conocimiento científico pueden darse errores que necesitan ser corregidos y que esta evolución no es una acumulación sucesiva de teorías verdaderas. Es decir, este estudiante no está considerando el conocimiento científico como exacto y definitivo, justamente por considerarlo como una construcción humana.

A pesar de que el estudiante 1 tiene algunas visiones con tendencia a las concepciones actuales de la epistemología de la ciencia; en cuanto a la relación conocimiento científico-realidad, deja entrever en sus expresiones una postura completamente tradicional, asumiendo una actitud reacia en relación con teorías que son ajenas a la experiencia directa. Postura que sería perfectamente comprensible en un ciudadano del común, pero que sorprende ser encontrada en un estudiante que se está formando en una Facultad de Ciencias.

Tabla 7.19. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...me parece horrible que a uno le quieran enseñar mecánica cuántica sabiendo que es un mundo que ni siquiera es sensible a la experiencia directa y al contacto directo que uno puede tener con las cosas clásicas. La mecánica clásica describe la realidad que conocemos; en cambio la mecánica cuántica, uno no tiene interés en ella porque nunca ha tenido contacto con el mundo microscópico, uno ha tenido contacto es con el mundo macroscópico...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...y el científico pone toda su capacidad, toda su imaginación, toda su creatividad y toda su intuición para entender las cosas que está viendo o que cree que se podrían llegar a ver...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“...es necesario que para construir cosas nuevas se parta de lo que ya existe, pero de las cosas buenas, no de lo que hay que corregir...”</i>

En la tabla 7.20 se describen las subcategorías del *posttest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 1 y que se refieren al principio 8 de la TASC.

A partir de la lectura de la información aportada por el estudiante 1 en el *posttest* y en la entrevista final, puede percibirse una visión de ciencia más humana; sin embargo, sigue otorgando un gran valor a las teorías clásicas en términos de que éstas tienen que tratar de describir el mundo con lo que tienen y aceptando con gran dificultad la necesidad de construir nuevas teorías para explicar hechos que no pueden ser explicados por las anteriores.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento y algunos breves comentarios

relacionados con la manera como el estudiante 1 asume cada actividad, se muestran en la tabla 7.21.

Tabla 7.20. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 1 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Muchas de las teorías que conocemos han logrado explicar con gran precisión muchos de los fenómenos naturales; sin embargo, si en algún momento sucede un problema, pues entonces esas teorías van a tener que tratar de describir eso con lo que tienen y si no lo tienen es porque tal vez tengan errores y entonces necesitamos una teoría nueva”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“Toda la ciencia que conocemos hasta ahora es construida por el hombre y como toda construcción humana es susceptible de fallar, de tener errores que después tengan que venir a ser solucionados con nuevo conocimiento científico”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“...en la ciencia no creo que podamos decir que haya algo verdadero ni tampoco que haya algo definitivo sino simplemente cosas que son útiles en el momento, porque si fuera de otra manera, entonces la ciencia sería una religión donde yo definiendo algo que creo que es así y no me importa que sucedan enroques y movimientos de piezas que yo no he descrito”</i>

Sin duda alguna, la realización de estas actividades muestran evidencias claras de que la modelación posibilitó en el estudiante 1 la comprensión de que los modelos no son perfectos, que no representan toda la complejidad de un fenómeno y que no son más que representaciones hechas por las personas para tratar de comprender el mundo. Representaciones que son permanentemente revisadas y mejoradas y que lo que en este momento se considera un buen modelo, no necesariamente será un buen modelo en el futuro.

Tabla 7.21. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 1.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	En relación con esta actividad, el estudiante 1 expresa lo siguiente: <i>“Me imagino que muchos han sido los intentos por explicar el hecho de que Pelé no haya hecho el gol cuando al parecer todas las condiciones estaban dadas para que así fuera; y me parece muy interesante que a partir de un modelo computacional puedan dar esa explicación y creo que ese modelo que vemos en este artículo por el momento debe ser el más adecuado para explicar este hecho, pero que tal si después viene otro físico y dice que no, que existen otras teorías más completas que la aerodinámica para explicar ese fenómeno y entonces ya este modelo no funciona”</i>
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	El estudiante 1 realizó esta actividad de manera muy satisfactoria; es decir, aunque a simple vista los modelos aportados parecían representar adecuadamente el fenómeno de interés, este estudiante realiza un análisis crítico de cada modelo, detectando el error y perfeccionando los modelos que le habían sido aportados.
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	En relación con esta actividad el estudiante 1 expresa lo siguiente: <i>“Uno no cae en cuenta de lo que significan bien las idealizaciones hasta que no construyes un modelo desde el principio y entonces te das cuenta de que el modelo no va a representar exactamente lo que quieres y que tienes que definir muchas condiciones (idealizaciones) para hacer que sea lo más parecido; entonces uno hace y hace modelos y le cambia mil cosas hasta que cree que hizo el mejor”</i>

Síntesis del análisis del estudiante 1

Este estudiante mostró una gran disposición al realizar las diferentes actividades de la propuesta didáctica, mostrándose muy cómodo al trabajar en grupo e interactuar con los demás estudiantes del curso. Asimismo, se mostró altamente motivado en cuanto a los diversos modos de realizar las actividades de modelación computacional; con excepción del inicio de la actividad 9 (relativa a la modelación expresiva abierta), donde se le vio un poco reacio al principio, al enfrentarse por primera vez a la construcción de un modelo computacional.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de la información recolectada para el estudiante 1 son altamente satisfactorios; pues a partir de ellos puede encontrarse una importante evidencia global de aprendizaje significativo crítico. En cuanto al campo conceptual de la dinámica Newtoniana, puede decirse que las actividades que requerían la formulación de preguntas por parte de los estudiantes y la elaboración de los diferentes diagramas AVM, aportaron elementos importantes para una mejor comprensión de

conceptos relacionados con este campo de conocimiento. Hecho que fue explícitamente admitido por este estudiante, quien tuvo un progreso bastante significativo en la habilidad para formular preguntas de interés en relación con fenómenos de la dinámica Newtoniana.

De la misma manera pueden notarse indicios de aprendizaje significativo crítico a partir del avance en la concepción de ciencia que logra el estudiante 1, detectado a través de las diferentes actividades alusivas a los principios 6, 7 y 8 de la TASC. Pues este estudiante realiza una valoración crítica de los diferentes modelos computacionales aportados, detectando errores en algunos de ellos y corrigiéndolos oportunamente; actividad que indiscutiblemente le permite ver la ciencia como una construcción humana y contemplar la existencia de diversos errores y confusiones en el proceso de construcción de la misma; así como la necesidad de generar nuevas explicaciones para subsanar tales errores como un acto propio de la producción de conocimiento científico.

Estudiante 2

Con 35 años de edad, este estudiante no había laborado y estaba realizando el noveno nivel de su carrera, en la cual no había reprobado ninguna asignatura. Para este entonces se encontraba realizando la primera parte de su trabajo de grado en el campo de la experimentación en Física. A continuación se presenta el análisis de la información aportada por este estudiante.

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las actividades que permiten obtener evidencias sobre el principio 1 de la TASC relacionado con la formulación de preguntas, así como las preguntas formuladas por el estudiante 2, son presentadas en la tabla 7.22.

Tabla 7.22. Preguntas formuladas por el estudiante 2 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>¿Qué fuerzas aerodinámicas explican el movimiento del balón?</p> <p>¿Cuál es la trayectoria que sigue el balón?</p>	Bajo
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Cuál es el ángulo de mayor altura y mayor desplazamiento? ¿El tiempo de caída depende de la velocidad?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo se mide el período? ¿El período depende de la masa? ¿El período depende de la longitud?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo se mide el período? ¿El período depende de la masa? ¿El período depende de la longitud?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Cuántas oscilaciones se necesitan para detener el mecanismo? ¿Cómo sería la gráfica de la amplitud contra el tiempo? ¿Es un movimiento armónico simple?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Cuál es la fuerza máxima externa?</p>	Bajo
Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Cuál es la distancia y el ángulo de tiro para que enceste la bola? ¿Cuándo las componentes de la velocidad x y y son iguales?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> ¿Qué hace que el primer bloque se acelere más? ¿Cuál es la fuerza que se debe aplicar a cada bloque para que éstos presenten la misma aceleración?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cuál sería el tiempo ideal para abrir el paracaídas sin que se haga daño el paracaidista? ¿Cuáles son los parámetros que más se pueden modificar?</p>	Bajo
Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto	<p><u>Modelo computacional: fricción</u> ¿Cómo se comporta la fuerza externa antes de que el bloque comience a desplazarse? ¿Cómo se comporta la fuerza externa cuando el bloque se desliza?</p>	Medio

	<p>¿Qué relación hay entre fuerza de fricción y fuerza externa?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cómo se comporta la velocidad del paracaidista durante su movimiento con y sin resistencia del aire? ¿Qué sucede además para ambos casos con la aceleración?</p>	
<p>Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto</p>	<p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo depende el período de la amplitud angular? ¿En qué momento se detiene el péndulo si las condiciones son ideales? ¿Cuál es la razón por la cual el período no depende de la masa?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿En qué casos puede decirse que el período depende de la amplitud angular? ¿El péndulo finalizaría su movimiento, en algún momento? ¿Por qué? ¿El período depende de la masa?</p>	<p>Medio-alto</p>

Las preguntas formuladas por el estudiante 2 en la actividad 1 fueron expresadas de manera muy amplia y general para pretender que éstas permitan una comprensión sobre la manera cómo actúan las fuerzas aerodinámicas sobre el balón de fútbol. En la actividad 2, el estudiante 2 conformó una dupla con el estudiante 1; por esta razón, las preguntas formuladas en esta actividad son comunes a estos dos estudiantes. Asimismo, en la actividad 3, un gran número de las preguntas formuladas por el estudiante 2 indaga por valores numéricos y poco contribuyen a la comprensión de los conceptos físicos involucrados en el análisis de cada fenómeno.

En la actividad 6 se compararon las respuestas aportadas por este estudiante a las preguntas planteadas con las respuestas dadas a las preguntas formuladas por él mismo en la actividad 3. Y considerando que las preguntas planteadas en la actividad 3 indagaban por valores numéricos, sus respuestas no se limitaban a otra cosa que a aportar números. En la tabla 7.23 son presentadas las respuestas del estudiante 2 al explorar de manera guiada los mismos modelos computacionales (tiro parabólico y relación fuerza-aceleración) que en la actividad 3 había explorado libremente.

Tabla 7.23. Respuestas del estudiante 2 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>En el punto más alto de la trayectoria, la velocidad en Y es cero y la resultante de la velocidad es igual a la velocidad en X.</p> <p>A medida que transcurre el tiempo la velocidad en X permanece constante y en igual dirección; sin embargo, la velocidad en Y inicialmente presenta dirección hacia arriba y después de pasar por el punto más alto cambia su dirección hacia abajo y varía el valor.</p> <p>La aceleración permanece constante.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>La relación es lineal a la misma masa.</p> <p>Para una fuerza constante, a mayor masa disminuye la aceleración.</p> <p>La relación entre masa y fuerza es lineal.</p> <p>A mayor fuerza, mayor velocidad.</p>

Es claro que las respuestas aportadas por el estudiante 2 en esta actividad siguen siendo muy precarias, demasiado concisas y poco explicativas de las relaciones entre conceptos; no posibilitando conocer a fondo el ejercicio de conceptualización llevado a cabo por el estudiante. Sin embargo, puede visualizarse un cierto progreso en relación con las respuestas obtenidas para las preguntas planteadas por este estudiante en la actividad 3.

En relación con las preguntas formuladas por el estudiante 2 para la actividad 7, en el análisis de los modelos de fricción y paracaídas puede decirse que se ha logrado un avance en la formulación de las preguntas, indagando más por el establecimiento de relaciones entre conceptos y pretendiendo un análisis más reflexivo del fenómeno de interés. No obstante, algunas de las respuestas a las preguntas coartan la intención de éstas últimas y en algún caso hasta son expresadas de manera incorrecta y poco reflexiva.

La actividad 9 fue realizada por el estudiante 2 en compañía de los estudiantes 1 y 3. En esta actividad de modelación computacional de modo expresivo abierto, son diseñados dos modelos computacionales, uno para el péndulo simple y otro para el péndulo físico y formuladas preguntas de interés para el análisis de éstos. Así como para el caso del estudiante 1, es posible afirmar que el estudiante 2 ha progresado significativamente en la habilidad para formular preguntas sobre sistemas o fenómenos físicos referidos a la dinámica Newtoniana.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 2 y que se refieren al principio 6 de la TASC son descritas en la tabla 7.24.

Las subcategorías de imagen de ciencia descritas en la tabla 7.24 se relacionan con la concepción que tiene el estudiante 2 acerca de la existencia de errores y confusiones en la construcción de conocimiento científico.

De la información obtenida del estudiante 2 a partir del *pretest* y la entrevista inicial, se percibe un gran predominio de la visión tradicional de ciencia en relación con aspectos como: la relación conocimiento científico-realidad, la evolución del conocimiento científico y el método científico. Pues este estudiante considera la observación como punto de partida para la ciencia, defendiendo aguerridamente la utilización del método científico y asumiendo la validez y confiabilidad de las teorías científicas existentes para explicar el mundo.

Sin duda alguna, estas concepciones de ciencia se convierten en un obstáculo para el estudiante, imposibilitándole tener una visión apropiada sobre la naturaleza y construcción del conocimiento científico.

Tabla 7.24. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Yo pienso que si uno sigue un método apropiado y bien bien riguroso para hacer investigación, las teorías que salgan de ahí tienen que ser completamente confiables para explicar el mundo...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<p><i>“...es evidente que las raíces de toda investigación científica son las observaciones, eh, por ejemplo las que se hicieron inicialmente con Ptolomeo y todos los grandes filósofos”</i></p> <p><i>“...a mí no me choca tanto el método científico, porque yo de todas maneras soy una persona que me gusta seguir como las reglas hasta cierta medida, o sea, me ciño un poquito al orden que viene ya programado porque creo en eso, yo creo que no implementaron el método científico al azar, o sea debieron haber hecho estudios de que existen procedimientos y maneras de hacer las cosas como más correctamente, entonces uno por qué tiene que desorganizar las cosas sabiendo que ya hay gente que probó que ese orden de pronto puede ser efectivo...”</i></p>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“Por más que hayan teorías y teorías nuevas y que sean válidas, no van a tumbar las teorías que ya están porque así como la mecánica de Newton, ellas siguen funcionando muy bien para lo que la necesitamos”</i>

La tabla 7.25 muestra las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 2 y que se refieren al principio 6 de la TASC.

Tabla 7.25. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Podemos hacer teorías que expliquen cómo evolucionó el mundo, pero si nos damos cuenta de que las cosas no fueron como están en este momento, entonces tumba todas las teorías que hay y vuelven unas teorías nuevas, o sea que todo y nada está hecho; o sea todo está hecho hasta hoy, pero ya mañana no sabemos”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no se limita a seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“...yo me imagino que los científicos parten de ideas que se les vienen a la cabeza, de repente, ven algo, por ejemplo, yo me imagino que ellos piensan en un fenómeno y se les ocurre ¿qué pasaría si en vez de tal cosa tal otra?, o sea si no me voy por la parte lógica, o a veces unos siguen la parte lógica o el instinto y.... piensan en cosas locas, en cosas que no se pueden a veces dar...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“Y yo creo que los descubrimientos se han hecho porque hay personas que piensan, o sea todos pensamos diferente y ese pensamiento diferente es lo que ha permitido que no se obstaculice el conocimiento; o sea, si todo mundo hubiera hecho caso a Albert Einstein por ejemplo que como él creía tener la razón pues en todo y mira que él a lo último se equivocó mucho en los conceptos de la mecánica cuántica; sin embargo, muchas personas ahondaron y siguieron y siguieron y se dieron cuenta que él tenía muchas cosas buenas pero tampoco tenía la razón absoluta porque otras personas no le comieron carreta, no le siguieron el cuento en su totalidad sino que siguieron indagando, investigando, desarrollando teorías, tomando de aquí, de allá; de todas maneras es un proceso muy complejo porque todo mundo tiene desarrollos teóricos diferentes así hayan llegado a los mismos resultados”</i>

A partir de la información obtenida para el estudiante 2 en el *postest* y en la entrevista final, puede notarse un avance muy satisfactorio de este estudiante en relación con la

concepción de ciencia exhibida en la etapa inicial de este estudio. Así, respecto a la relación conocimiento científico-realidad, se visualiza una idea de la falibilidad del conocimiento científico que era inconcebible para este estudiante en la etapa inicial de la intervención. De la misma manera, en lo referente al método científico, contempla la posibilidad de la existencia de ideas previas en la construcción de conocimiento y no hace alusión a la observación como punto de partida para hacer ciencia.

De lo anterior, es posible valorar la contribución de las actividades de modelación científica que hicieron parte de la intervención, en el enriquecimiento de la concepción de ciencia de este estudiante.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 6 de la TASC relacionado con la detección del error en actividades de modelación y la superación sistemática de éste, así como algunos comentarios relacionados con cada actividad, pueden verse en la tabla 7.26.

Tabla 7.26. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 2.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	<p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u></p> <p>El estudiante 2 realiza completamente la actividad de exploración abierta de este modelo y no se entera del error contenido en las ecuaciones del modelo; incluso al describir las relaciones, escribe la ecuación $F = -mg - bv^2$, sin detectar error alguno en ella.</p> <p>En la validación del modelo escribe: “<i>el modelo permite reconocer que pasa con un objeto al ser lanzado verticalmente hacia arriba y sus efectos al variar la resistencia del aire</i>”</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>Al igual que en el modelo anterior, este estudiante no se percató en absoluto de la existencia de un error en la estructura conceptual del modelo; de hecho, ni siquiera describe la ecuación incorrecta dentro del componente relaciones del diagrama AVM. Y en la validación del modelo escribe: “<i>los resultados conocidos son generados por el modelo</i>”</p>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 2 realizó esta actividad en conjunto con el estudiante 1 y el estudiante 3; actividad en la que construyeron dos modelos computacionales, de los cuatro que habían sido propuestos.</p> <p>Los modelos construidos fueron: Péndulo simple y péndulo físico. La construcción de cada uno de estos modelos, estuvo sujeta a permanentes modificaciones hasta lograr obtener los modelos que les eran satisfactorios para representar los fenómenos de interés planteados.</p>

Evidentemente este estudiante no realizó una valoración crítica de los modelos computacionales aportados, interactuando con éstos de manera mecánica y haciendo su posterior validación sin llevar a cabo un proceso reflexivo en torno a éstos, como por ejemplo, para el primer modelo, esbozar una gráfica de la velocidad o de la energía mecánica, que le hubiera permitido detectar un aumento desproporcionado en la velocidad de la piedra, tendiendo a infinito y no alcanzando una velocidad terminal.

Este estudiante se mostró muy sorprendido cuando al finalizar la actividad 8 algunos de sus compañeros hicieron referencia a los errores encontrados en las relaciones matemáticas constituyentes de los modelos computacionales, afirmando que no se había percatado de estos errores y que había dado por hecho que si los modelos (animaciones) representaban de forma adecuada el fenómeno estudiado, era porque con toda seguridad el modelo matemático estaba bien establecido.

En la actividad 9 relativa a la Modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 2 trabajó con los estudiantes 1 y 3. Al inicio de esta actividad, este estudiante estuvo renuente a realizarla, expresando que ellos (el grupo) no se sentían en capacidad de diseñar un modelo computacional de esas características; sin embargo, después de mucho intentar y de hacer varias propuestas de modelos, finalmente lograron construir aquellos que les eran satisfactorios para representar los sistemas o fenómenos físicos planteados. Por supuesto, este resultado final requirió de la modificación y corrección permanente de errores en los modelos computacionales, actividad que sin duda alguna permite al estudiante concebir estos errores como componentes propios del proceso de construcción de conocimiento científico.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

La tabla 7.27 hace referencia a las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial que se relacionan con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 2 y que se refieren al principio 7 de la TASC.

Tabla 7.27. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“...es evidente que las raíces de toda investigación científica son las observaciones, eh, por ejemplo las que se hicieron inicialmente con Ptolomeo y todos los grandes filósofos”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“Uno no puede negar que cuando un científico emprende la tarea de hacer ciencia, lo que haga depende mucho de su imaginación, pues seguramente a todos no se les ocurriría desarrollar la misma idea”</i></p>

En relación con la subcategoría denominada la observación en la construcción de conocimiento científico, puede deducirse que el estudiante 2 tiene una visión completamente tradicional de lo que es la ciencia, tanto a partir de sus respuestas en el *pretest* como en la posición que asume al ser indagado sobre el mismo asunto en la entrevista inicial. Mientras que en la subcategoría correspondiente a la ciencia como construcción humana; desde las respuestas al *pretest* puede verse en este estudiante una postura más cercana a las actuales visiones de ciencia, confirmándolas de alguna manera en la entrevista inicial, en la que asume que la imaginación del científico juega un papel fundamental en la construcción de conocimiento científico.

Las subcategorías correspondientes al *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 2 y que se refieren al principio 7 de la TASC son descritas en la tabla 7.28.

Tabla 7.28. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“La investigación científica no necesariamente comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“Yo me imagino que los científicos parten de ideas que se les vienen a la cabeza, de repente, ven algo, por ejemplo, yo me imagino que ellos piensan en un fenómeno y se les ocurre ¿qué pasaría si en vez de tal cosa tal otra? ”</i></p> <p><i>“...la teoría es indispensable para realizar la experiencia, porque es que vos sin fórmulas cómo hacés para tomar los datos y para registrar, tenés que saber de la Física que hay envuelta en ese experimento que uno está haciendo, se requiere haber estudiado mucha teoría previa...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“...uno puede ser como subjetivo a veces; hacer que el experimento le cuadre como uno lo quiera ver, como..., a veces uno piensa unas cosas que en realidad no han pasado, o sea uno puede ser muy subjetivo a la hora de evaluar un experimento al punto que solo ves lo que querés ver...”</i></p> <p><i>“Indudablemente en todo lo que un científico hace tiene que jugar un papel muy grande la imaginación; porque si no fuera así de donde hubieran sido las ideas tan geniales que han tenido diversos científicos para resolver tantas incógnitas sobre los fenómenos que observamos diariamente; obviamente tuvieron que surgir de su imaginación”</i></p>

En la subcategoría que se refiere a la observación en la construcción de conocimiento científico, puede afirmarse que el estudiante 2 muestra un avance muy significativo que puede evidenciarse a partir de sus respuestas al *postest* y a la entrevista final; mientras que en el momento previo a la intervención mostraba una postura netamente tradicional en relación con esta subcategoría, ahora le otorga un gran valor a las ideas previas y a la necesidad de un referente teórico que oriente las observaciones y los experimentos que se realizan en el proceso de construcción de conocimiento científico.

Asimismo, en relación con la subcategoría la ciencia como construcción humana, se reafirma en que la imaginación e intuición del científico desempeñan un papel fundamental en la construcción de conocimiento científico.

La tabla 7.29 muestra las actividades de la propuesta didáctica que aportan información relevante sobre el principio 7 de la TASC. Asimismo, se hacen unos breves comentarios relacionados con la manera como el estudiante 2 se enfrentó a dichas actividades.

Tabla 7.29. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 2.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	Al culminar la actividad 1, el estudiante 2 expresó lo siguiente: “... es que si a uno le muestran, ehhhh, por ejemplo ese video del que habla el artículo y le preguntan que como explicaría ese movimiento, seguramente y desde lo que nos han enseñado, todos vamos a decir, ah sí, eso es simplemente un tiro parabólico y ya, porque a nadie se le hubiera ocurrido que había otra manera de explicarlo. Entonces yo creo que definitivamente, uno analiza una situación de esas dependiendo de lo que quiera y lo que necesite y también, de lo que sepa en ese momento...”
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	Esta actividad fue desarrollada por el estudiante 2 en conjunto con los estudiantes 1 y 3. En esta ocasión construyeron y analizaron dos modelos computacionales, uno para el péndulo simple y otro para el péndulo físico. En el caso del modelo computacional para el péndulo simple, estos estudiantes construyeron dos modelos diferentes; sobre los cuales se generó una discusión con el propósito de elegir el modelo que todos consideraban más apropiado para representar la situación física propuesta.

Estas actividades develan indicios interesantes de la manera como el estudiante 2 está internalizando la idea de modelo como representación parcial y no exclusiva; pues en la actividad 1, admite que pueden existir diversos análisis e interpretaciones para una misma situación física; y que éstos dependen exclusivamente de los objetivos que se pretenden alcanzar y por supuesto de los conocimientos que se tengan sobre la situación específica.

En la actividad 9 relativa a la modelación computacional expresiva abierta haciendo uso del diagrama AVM, la posibilidad que tuvo el estudiante 2 de trabajar con otros dos compañeros y generar modelos diferentes para representar una misma situación física, fue una oportunidad invaluable para crear conciencia acerca de la no exclusividad de los modelos, como representaciones de la realidad.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 2 y que se refieren al principio 8 de la TASC, pueden verse en la tabla 7.30.

Tabla 7.30. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Yo pienso que si uno sigue un método apropiado y bien bien riguroso para hacer investigación, las teorías que salgan de ahí tienen que ser completamente confiables para explicar el mundo...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i> <i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“Uno no puede negar que cuando un científico emprende la tarea de hacer ciencia, lo que haga depende mucho de su imaginación, pues seguramente a todos no se les ocurriría desarrollar la misma idea”</i> <i>“... siempre es posible que alguien cometa errores cuando se enfrenta a construir o hacer algo y obviamente a quienes hacen la ciencia les pasa lo mismo”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“... es que a uno no le cabe en la cabeza que teorías tan brillantes como por ejemplo la Newtoniana, eh, uno pueda decir que tienen errores, eso sería absurdo”</i>

Para el principio 8 de la TASC, relacionado con la incertidumbre del conocimiento, el estudiante 2 muestra a partir de sus respuestas al *pretest* y a la entrevista inicial, una postura bastante tradicional en relación con la concepción que tiene de la relación entre conocimiento científico y realidad y de la evolución del conocimiento científico; al considerar que teorías fuertemente arraigadas como el caso de la teoría Newtoniana son completamente confiables y están exentas de errores. De otro lado, este estudiante muestra una fuerte contradicción cuando asume la ciencia como una construcción humana; pues en este caso, está dando un gran valor al papel que juega la imaginación en la construcción de

conocimiento científico y concibe el error como un componente necesario en el proceso de construcción de dicho conocimiento.

En la tabla 7.31 se describen las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 2 y que se refieren al principio 8 de la TASC.

Tabla 7.31. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 2 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Podemos hacer teorías que expliquen cómo evolucionó el mundo, pero si nos damos cuenta de que las cosas no fueron como están en este momento, entonces tumba todas las teorías que hay y vuelven unas teorías nuevas, o sea que todo y nada está hecho; o sea todo está hecho hasta hoy, pero ya mañana no sabemos”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i> <i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“... uno puede ser muy subjetivo a la hora de evaluar un experimento al punto que solo ves lo que querés ver y eso puede hacer que uno se equivoque. Lo mismo le debe pasar a los científicos, que cometen errores cuando están haciendo ciencia y les toca repetir una y otra vez hasta lograr lo que quieren...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“Uno tiene que pensar que si teorías tan importantes pueden ser corregidas o reemplazadas por otras teorías es porque tenían errores o, ... porque alguna cosita por ahí tenían que no cuadraba bien del todo...”</i>

Después del proceso de intervención en el aula con las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, este estudiante muestra para las tres subcategorías exploradas, una postura más relacionada con las concepciones actuales de la epistemología de la ciencia, admitiendo (en contraposición con la entrevista inicial) que teorías importantes y bien fundamentadas también son susceptibles de cometer errores; lo que hace que deban ser corregidas o reemplazadas. Asimismo, en el fragmento descrito a

partir de la entrevista final para la subcategoría referente a la relación conocimiento científico-realidad, hace alusión a la provisionalidad e incertidumbre del conocimiento científico.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento y algunos comentarios relacionados con la actitud del estudiante 2 frente a cada una de estas actividades, son descritas en la tabla 7.32.

Tabla 7.32. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 2.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	Al culminar la actividad 1, en el espacio referente a la discusión del artículo, el estudiante 2 expresó lo siguiente: <i>“...Entonces yo creo que definitivamente, uno analiza una situación de esas dependiendo de lo que quiera y lo que necesite; y también de lo que sepa en ese momento; y seguramente una persona con más conocimiento va a hacer un análisis mucho más elaborado”</i>
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	El estudiante 2 procedió a la validación de los modelos computacionales de un modo mecánico, sin detectar error alguno en la estructura matemática de dichos modelos; asumiéndolos como modelos correctos.
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	En el ejercicio de construir modelos computacionales desde su estructura matemática hasta el análisis de los resultados generados por éstos, el estudiante 2 junto con sus compañeros estuvo expuesto a la permanente modificación y corrección de errores en dichos modelos. <i>Al respecto de esta actividad, el estudiante 2 expresó: “uno creía que ya el modelo estaba listo y cuando menos pensaba aparecía cualquier cosita que por más insignificante que fuera no dejaba que el modelo funcionara bien del todo, pero ya, hasta que por fin nos dio...”</i>

Aunque el estudiante 2 no logró detectar los errores contenidos en los modelos computacionales presentados en la actividad 8; a partir de las demás actividades es posible percibir que este estudiante adquirió la idea de modelo como una representación parcial de la realidad, susceptible de ser mejorada y perfeccionada de manera permanente.

Síntesis del análisis del estudiante 2

El estudiante 2 se mostró muy interesado por las diferentes actividades realizadas concernientes a la propuesta didáctica, trabajando de manera muy activa a lo largo de todo

el proceso de intervención. Además se mostró muy dispuesto a realizar actividades en grupo y demostró una actitud muy positiva en relación con las actividades de modelación computacional. Sin embargo, al inicio de la actividad de modelación computacional expresiva abierta, este estudiante se mostró un tanto renuente, manifestando que se sentía incapaz de construir un modelo computacional desde su estructura matemática. Dificultad que fue superada en el transcurso de la actividad computacional.

Los resultados que se obtienen a través del análisis de la información recolectada para el estudiante 2, muestran indicios de un aprendizaje significativo crítico de un modo global. Así, en relación con la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento, puede decirse que este estudiante logró una mejor comprensión de dicho campo, que se traduce en el progreso alcanzado en su habilidad para formular preguntas de interés referentes a este campo de la Física; y por supuesto, a partir de la elaboración de los diferentes diagramas AVM para cada una de las actividades de modelación computacional, diagramas cuyo diseño fue cada vez un ejercicio más crítico y reflexivo.

Con base en las actividades de intervención referentes a los principios 6, 7 y 8 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, se ve un avance bastante significativo del estudiante en su concepción de ciencia, internalizando por ejemplo, la idea de la falibilidad del conocimiento científico, admitiendo la provisionalidad e incertidumbre del mismo; y atribuyéndole un papel fundamental a la imaginación e intuición del científico en el proceso de construir la ciencia.

De la misma manera, el estudiante 2 muestra importantes indicios de haber comprendido la idea de modelo como una representación parcial y no exclusiva, así como 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.

Estudiante 3

A los 23 años de edad, este estudiante se encontraba realizando el octavo nivel de su carrera; trabajaba como monitor del curso de cálculo I y dictaba clases particulares de Matemáticas y Física. A lo largo de la carrera había reprobado los cursos: Cálculo III,

Física III y Relatividad. El análisis de la información aportada por este estudiante es presentada a continuación:

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las preguntas formuladas por el estudiante 3 en las diferentes actividades que aportan evidencias sobre el principio 1 de la TASC pueden verse en la tabla 7.33.

Tabla 7.33. Preguntas formuladas por el estudiante 3 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>¿Cuál es la trayectoria del balón? ¿Cuáles fueron los efectos sobre el balón?</p>	Bajo
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Qué trayectoria sigue el objeto? ¿Se presenta aceleración durante el movimiento?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuál es la velocidad máxima para que el péndulo dé la vuelta completa? ¿Cuál es la velocidad en el punto mínimo potencial? ¿Cuál es la tensión en el punto máximo de potencial?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuánto puede ser la fricción con el aire?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Puede el tiempo llegar a ser perpetuo? Si su respuesta es negativa, ¿cuánto es el tiempo?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> Un niño es empujado por su padre en un columpio, ¿cuál es la fuerza máxima con la que el padre puede impulsar al niño?</p>	Bajo
Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Cuál es el ángulo que proporciona un mayor desplazamiento horizontal de la bola?</p> <p>¿Cuáles cree Usted sean las variables que me determinen el valor de la velocidad y el ángulo de tiro?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u></p>	Bajo

	<p>Cuando la fuerza es constante, ¿qué ecuación describe la gráfica V vs t?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> Para que el paracaídas sea útil, ¿qué variable garantiza su buen rendimiento?</p> <p>Bosqueje una gráfica de la aceleración del paracaidista.</p>	
Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto	<p><u>Modelo computacional: fricción</u> 1. ¿Cómo se comporta la aceleración del bloque respecto al tiempo durante el movimiento? 2. ¿De qué tipo de fuerza de fricción se habla cuando hay movimiento? 3. Para que haya movimiento, ¿cómo sería la relación entre la fuerza externa y la fuerza de fricción?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> 1. ¿Cómo se comporta la velocidad de la persona durante su movimiento?, ¿Qué representan los cambios en la gráfica de V vs t? 2. ¿Cuáles son los factores que hacen útil al paracaídas?, ¿Qué cantidades en el movimiento se ven afectadas por el paracaídas?</p>	Medio
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto	<p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cómo depende el período de la amplitud angular? ¿En qué momento se detiene el péndulo si las condiciones son ideales? ¿Cuál es la razón por la cual el período no depende de la masa?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿En qué casos puede decirse que el período depende de la amplitud angular? ¿El péndulo finalizaría su movimiento, en algún momento? ¿Por qué? ¿El período depende de la masa?</p>	Medio-alto

A partir de las preguntas formuladas por el estudiante 3 en la actividad 1, que poca información aportan sobre el fenómeno y poco profundizan en el análisis de éste; y con base en las preguntas formuladas en las actividades 2 y 3, que en su mayoría requieren de una respuesta numérica, de formulación de ecuaciones y hasta el bosquejo de una gráfica sin interpretar su significado; puede considerarse que son preguntas que poco propician un análisis conceptual de las situaciones físicas planteadas.

En la tabla 7.34 son presentadas las respuestas del estudiante 3 al explorar de manera guiada los mismos modelos computacionales (tiro parabólico y relación fuerza-aceleración) que en la actividad 3 había explorado libremente.

Tabla 7.34. Respuestas del estudiante 3 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>En el punto más alto de su trayectoria el balón solo tiene velocidad horizontal por lo que comienza a descender.</p> <p>La velocidad en Y cuando el balón está subiendo disminuye hasta que se hace cero, a partir de este punto el balón empieza a caer y la velocidad en Y a aumentar.</p> <p>La aceleración se mantiene constante.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>$F = ma$</p> <p>$m = F/a$, a mayor masa menor aceleración y viceversa.</p> <p>$F = ma$, para que un cuerpo se mueva, la fuerza debe ser proporcional a la masa.</p>

Aunque descritas de una manera muy concisa, las respuestas del estudiante 3 al modelo computacional de tiro parabólico muestran cierta comprensión del fenómeno por parte del estudiante. Las respuestas correspondientes a las preguntas planteadas para el modelo computacional relación fuerza-aceleración, son insuficientes para dar respuesta al número de preguntas planteadas y pobremente descritas, limitándose a escribir las ecuaciones que relacionan los conceptos involucrados en el fenómeno estudiado. Sin embargo, al comparar estas respuestas con las respuestas obtenidas en la actividad 3 en relación con los mismos fenómenos físicos, puede decirse que hubo un pequeño avance que permitió a este estudiante reflexionar un poco más sobre las posibles relaciones existentes entre los conceptos involucrados en el análisis de las situaciones propuestas.

Con base en la actividad 7, puede afirmarse que en las preguntas formuladas por el estudiante 3 para el análisis de los modelos computacionales de fricción y paracaídas, hubo una mejora significativa en relación con las actividades anteriores de formulación de preguntas; pues en esta actividad se indagó un poco más por las relaciones entre conceptos,

permitiendo que las respuestas fuesen más explicativas y generasen un poco más de reflexión. Sin embargo, en las respuestas aportadas es necesario profundizar más en tales relaciones.

La actividad 9 fue desarrollada por este estudiante en compañía de los estudiantes 1 y 2. Y al igual que para estos otros dos estudiantes, puede decirse que en la actividad de modelación computacional de modo expresivo abierto, el estudiante 3 logra un avance significativo en su capacidad para formular preguntas sobre sistemas o fenómenos físicos referidos a la dinámica Newtoniana.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 3 y que hacen referencia al principio 6 de la TASC, son mostradas en la tabla 7.35.

Tabla 7.35. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“yo pienso que la Física como me la han mostrado a mí y lo que uno ha creído hasta ahora es que es una ciencia que explica con exactitud los fenómenos de la naturaleza...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“A mí me parece que la observación juega el papel del protagonista, por lo menos en Física, la observación es fundamental, pues es que si yo quiero explicar un fenómeno lo primero que tengo que hacer es observarlo”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“Yo digo que al menos en Física todas las teorías han sido construidas de una forma tan rigurosa que las nuevas que surjan siempre tienen que tomar como punto de partida las otras teorías”</i>

La tabla 7.35 aporta información relacionada con la concepción de ciencia que tiene el estudiante 3 en el momento previo a las actividades de intervención haciendo uso de la modelación computacional y del diagrama AVM.

A partir del *pretest* y la entrevista inicial, puede visualizarse una concepción muy tradicional del estudiante 3 en lo referente básicamente a aspectos como: la relación conocimiento científico-realidad y la evolución del conocimiento científico; concibiendo la ciencia como absoluta y verdadera y justificando estas características en la rigurosidad de su construcción.

En la subcategoría referente al método científico, en lo que concierne al *pretest*, este estudiante muestra una concepción más actual en relación con la construcción del conocimiento científico; sin embargo, al ser entrevistado se refiere a la observación (primer paso del método científico) como fundamental y como punto de partida en el proceso de hacer ciencia.

Al final de la intervención, fue realizado el *postest* y la entrevista final, cuya información aportada por el estudiante 3 y relacionada con el principio 6 de la TASC, es mostrada en la tabla 7.36.

La descripción de las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final, da la posibilidad de visualizar un cierto progreso en sus concepciones de ciencia; sobre todo en lo relativo a la relación del conocimiento científico y la realidad y la evolución de dicho conocimiento. Pues si se hace una comparación con las respuestas aportadas por el estudiante 3 en el *pretest* y en la entrevista inicial, se puede concluir que sus ideas han tenido una evolución en términos de considerar, por ejemplo, las teorías científicas como aproximaciones a la realidad y no como copias de ella. Asimismo, ahora este estudiante contempla el error como una posibilidad en la construcción de conocimiento científico, cosa que no sucedía en el momento inicial de la intervención.

Para el estudiante 3, las actividades que aportan información relevante sobre el principio 6 de la TASC son mostradas en la tabla 7.37, acompañándolas de unos breves comentarios relacionados con cada actividad.

Tabla 7.36. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Lo que yo digo es que las teorías Físicas lo que intentan es acercarse a una explicación de la naturaleza, intentan explicar la naturaleza y pues unas logran aproximarse más que otras”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no se limita a seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“...yo diría así, la investigación empezaría así, mirar qué se ha hecho primero, como un estado del arte; ya después de ver lo que se ha hecho, pues plantear una pregunta y trabajar sobre la pregunta, sobre lo que no se ha trabajado, eso si quiero construir cosas nuevas, el objetivo es responder esa pregunta”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“...la teoría que planteó Newton satisfacía muy bien lo que se sabía hasta el momento; pero viene Einstein y esa teoría la derrumba; y esa teoría de Newton al parecer tenía errores, yo lo que digo es que son errores relativos, pues porque aquí funciona pero allá no; o sea a gran escala funciona pero a pequeña escala no, o sea Newton creía que estaba buena la teoría, pero sucede que no porque estaba incompleta...”</i>

Al finalizar la actividad 8 que consistía en la detección del error y darse cuenta que no lo consideró en el desarrollo de los respectivos diagramas AVM, el estudiante 3 expresó: “aunque en el primer modelo (resistencia) noté algo extraño con la ecuación de la fuerza, no le di importancia alguna y lo asumí como una actividad más de exploración abierta”. Este estudiante inclusive validó los modelos computacionales explorados y admitió haber realizado dicha validación de manera mecánica, dando por hecho la validez de dichos modelos.

Tabla 7.37. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
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 3 realiza completamente la actividad de exploración abierta haciendo uso del diagrama AVM. Este estudiante parece no percibir error alguno en la estructura matemática del modelo, de hecho, valida el modelo. Sin embargo, cuando describe las relaciones del modelo como componente del diagrama AVM, escribe la ecuación con la velocidad lineal y no cuadrática como aparecía en el modelo; es decir, “$F = - mg - bv$”.</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>Con base en la exploración de este modelo, el estudiante 3 describe todos los elementos del diagrama AVM y no hay indicio alguno de que haya detectado el error existente en la estructura matemática de este modelo.</p>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 3 realizó esta actividad en conjunto con los estudiantes 1 y 2; construyendo dos modelos computacionales: uno para el péndulo simple y otro para el péndulo físico. La construcción de cada uno de estos modelos, estuvo sujeta a permanentes modificaciones hasta lograr obtener los modelos que les eran satisfactorios para representar los fenómenos de interés planteados.</p>

En la actividad 9 referente a la modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 3 trabajó con los estudiantes 1 y 2. Y de hecho, inicialmente compartió con sus compañeros la misma angustia frente a este tipo de actividad, después de varios intentos sin lograr obtener el modelo adecuado para representar las situaciones físicas que estaban siendo analizadas. Sin embargo, al finalizar dicha actividad, se mostró enormemente complacido por la construcción de los modelos computacionales.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

En la tabla 7.38 se describen las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 3 y que se refieren al principio 7 de la TASC, relacionado con el desaprendizaje; entendiendo por éste, el hecho de no usar el conocimiento previo que impide captar los significados compartidos relativos al nuevo conocimiento.

Tabla 7.38. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p>	<p><i>“A mí me parece que la observación juega el papel del protagonista, por lo menos en Física, la observación es fundamental, pues es que si yo quiero explicar un fenómeno lo primero que tengo que hacer es observarlo”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p>	<p><i>“...Yo digo que para una misma cosa pueden existir varias explicaciones, ¿por qué?... Uno no sabe que motivaciones tuvo esa persona para hacer esa explicación y no otra...”</i></p>

Con base en la información obtenida en el *pretest* y la entrevista inicial, es posible afirmar que en relación con la subcategoría la observación en la construcción de conocimiento científico, el estudiante 3 tiene una visión bastante simplista y coherente con la postura asumida frente al método científico, donde le da a la observación un papel preponderante en la construcción de conocimiento científico y además la sitúa como punto de partida en dicha construcción.

De otro modo, en la subcategoría relacionada con la ciencia como construcción humana, este estudiante asume que el pensamiento está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales que influyen enormemente en la generación de diversas explicaciones para un mismo acontecimiento. Así, en cuanto a esta subcategoría, es posible afirmar que este estudiante tiene una visión más constructivista.

Las subcategorías del *posttest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 3 y que se refieren al principio 7 de la TASC, pueden verse en la tabla 7.39.

Tabla 7.39. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“En la observación de la realidad es imposible evitar un cierto grado de deformación que introduce el observador”</i></p> <p><i>“El observador científico debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p>	<p><i>“... por ejemplo, alguien investiga sobre una característica de los cúmulos con radiación de rayos x, ¿cierto? esa persona saca una conclusión pero otra persona hizo otra investigación sobre lo mismo y sacó otra conclusión y puede que venga otra persona a partir de esas dos conclusiones empieza a construir otras cosas, ¿cierto? Y todas esas conclusiones pueden estar bien hechas, pero son diferentes dependiendo de la visión de quien la sacó...”</i></p> <p><i>“... pero para los científicos explicar cualquier cosa, tienen que haber estudiado algo sobre el tema, porque sino uno no se gana nada con observar algo si no sabe qué es ni para qué sirve...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos.</i></p>	<p><i>“yo pienso que la imaginación es lo principal en un investigador, o sea, para mí la imaginación es fundamental, pues, era lo que tenía Einstein, es que todo el mundo no tiene esa clase de imaginación, uno como se va a imaginar esas cosas, pues yo pienso que las cosas están ahí, a uno lo que le falta es como malicia para darse cuenta...”</i></p>

A partir del *postest* y la entrevista final, este estudiante se reafirma en su concepción de ciencia como una construcción humana, reforzando dicha afirmación con el primer fragmento descrito en la entrevista inicial para la subcategoría relacionada con la observación en la construcción de conocimiento científico, donde considera que pueden existir diferentes visiones e interpretaciones de un mismo fenómeno. Asimismo, para esta subcategoría, admite la necesidad de la existencia de ideas o teorías previas que orienten el problema investigado.

Las actividades de la intervención que aportan información relevante sobre el principio 7 de la TASC, así como algunos comentarios relacionados con la manera en que el estudiante 3 se enfrentó a dichas actividades, se muestran en la tabla 7.40.

Tabla 7.40. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>En la discusión del artículo sobre la aerodinámica del balón de fútbol, el estudiante 3 afirma: “...yo nunca había oído hablar ni del efecto Magnus ni de la crisis de arrastre y no me hubiera imaginado nunca que una situación como tan sencilla, como tan cotidiana se explicara con esos conceptos...pero eso es bueno, ya sabemos que uno se engaña y que uno puede explicar las cosas de muchas maneras”</p> <p>Inclusive después de la lectura del artículo, al indagar sobre las teorías fundamentales para explicar dicha situación física, el estudiante 3 no considera la mecánica de fluidos como una teoría fundamental para el análisis de la situación planteada en el texto.</p>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>Esta actividad fue realizada por el estudiante 3 en compañía de los estudiantes 1 y 2, construyendo dos modelos computacionales: uno para el péndulo simple y otro para el péndulo físico.</p> <p>Este grupo construyó dos modelos diferentes para el péndulo simple y al final de la actividad se decidieron por presentar uno solo, aunque conscientes de que ambos eran adecuados para representar la situación física planteada.</p> <p>Al finalizar esta actividad, el estudiante 3 expresa: “los dos modelos que hicimos, parecen diferentes, pero es más por las animaciones y cositas que nosotros le hicimos, porque somos más creativos, pero esencialmente sirven para lo mismo, los dos representan lo que queremos”</p>

Sin duda alguna estas dos actividades permitieron obtener información muy valiosa en relación con la idea de multirepresentación que logra adquirir el estudiante 3. Así, en la actividad 1, explícitamente hace referencia a la existencia de varias explicaciones para una misma situación física, explicaciones que se derivan de los objetivos y del grado de precisión.

De la misma manera, en la actividad 9, el estudiante 3 se refiere a que la diferencia entre dos modelos para explicar la misma situación física, está dada por la consideración o no de algunos detalles o pormenores, pero admite que existen diversas representaciones esquemáticas para explicar y comprender la misma situación.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

Para el análisis de las respuestas del estudiante 3 en relación con el principio 8 de la TASC, las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene este estudiante, son mostradas en la tabla 7.41.

Tabla 7.41. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“yo pienso que la Física como me la han mostrado a mí y lo que uno ha creído hasta ahora es que es una ciencia que explica con exactitud los fenómenos de la naturaleza...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i> <i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i>	<i>“...de todas maneras yo digo que si la explicación que hace está mala, pues puede volver a corregirla las veces que necesite, una y otra vez,... pero de todas maneras él (el científico) siempre va a hacer lo que piense...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“Lo que yo digo es que si ya es una teoría científica, lo que se dice científica uno ya no puede decir que tiene errores...”</i>

El estudiante 3 muestra una visión netamente tradicional en lo que se refiere la concepción sobre la relación conocimiento científico-realidad y la evolución del conocimiento científico; pues éste asume la Física como una ciencia que aporta explicaciones exactas de los fenómenos de la naturaleza y que las teorías científicas por el hecho de ser consensuadas están exentas de errores y confusiones.

Sin embargo, en la subcategoría relativa a la ciencia como construcción humana, el estudiante 3 destaca el papel fundamental que juega la imaginación y la intuición del científico en la construcción de conocimiento científico, aportando una visión más cercana a las tendencias actuales de la epistemología de la ciencia.

La tabla 7.42 describe las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 3 y que se refieren al principio 8 de la TASC.

Tabla 7.42. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<p><i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i></p>	<p><i>“Lo que yo digo es que las teorías físicas lo que intentan es acercarse a una explicación de la naturaleza, intentan explicar la naturaleza y pues unas logran aproximarse más que otras”</i></p> <p><i>“...pues las teorías científicas lo que tienen que hacer es tratar de explicar la realidad y si no pueden de una vez, pues vuelven a intentarlo hasta que logren algo”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p>	<p><i>“...pues aunque un científico sepa mucho sobre lo que está haciendo, de todas maneras lo que cree, lo que imagina, lo que intuye,... todo todo juega un papel fundamental”</i></p>
Evolución del conocimiento científico	<p><i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i></p>	<p><i>“...uno se engaña, eh, pues porque a uno le parece mentira que Newton hubiera cometido errores, bueno, o más bien que su teoría estuviera incompleta, pero así es y yo me imagino que hay muchas con las que pasa lo mismo y todavía no lo sabemos...”</i></p>

A partir de la información obtenida en el *postest* y en la entrevista final, puede decirse que el estudiante 3 ha progresado de manera significativa en cuanto a sus concepciones sobre ciencia. De manera específica, se hace alusión a las subcategorías referentes a la relación conocimiento científico-realidad y a la evolución del conocimiento científico; donde ahora concibe las teorías científicas como construcciones aproximadas que buscan explicar la realidad y que deben ser replanteadas las veces que sea necesario para corregir permanentemente sus errores y lograr explicaciones cada vez más adecuadas.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento y algunos comentarios sobre el desempeño del estudiante 3 para cada una de estas actividades, se presentan en la tabla 7.43.

Tabla 7.43. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	Al realizar la discusión del artículo, el estudiante 3 se refiere al modelo utilizado para explicar el movimiento del balón, de la siguiente manera: <i>“...yo nunca había oído hablar ni del efecto Magnus ni de la crisis de arrastre y no me hubiera imaginado nunca que una situación como tan sencilla, como tan cotidiana se explicara con esos conceptos...pero eso es bueno, ya sabemos que uno se engaña y que uno puede explicar las cosas de muchas maneras”</i> <i>“...es que seguramente después va a venir otra persona y va a decir que hay de pronto otras teorías que van explicar mejor ese mismo fenómeno,...es que eso es apenas hasta donde han llegado ahora...”</i>
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	En esta actividad, el estudiante 3 admite haber realizado la actividad de exploración de modelos y su respectiva validación, de manera totalmente mecánica; expresando lo siguiente: <i>“...es que quien iba a pensar que estos modelos estaban malos, pero ahora me doy cuenta que esa ecuación que vi por allá como rara, la hubiera corregido y listo,... lo voy a tener en cuenta para cuando vea los otros modelos...”</i>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	Al terminar la actividad 9, el estudiante 3 se refiere a ella afirmando que: <i>“...al principio fue muy difícil, pensábamos que no íbamos a ser capaces de hacer los modelos; pero después de que ya el objeto empieza a moverse aunque todavía no funcione bien, uno lo va puliendo para que se parezca cada vez más al fenómeno que queremos representar...”</i>

A partir de las actividades 1 y 9 de la intervención, puede deducirse que el estudiante 3 admite no solo la existencia de diferentes maneras de ver y de explicar el mundo, sino la necesidad de revisar permanentemente esas explicaciones; asimismo, asume que las representaciones actuales que se tienen sobre el mundo son susceptibles de ser mejoradas y perfeccionadas. Y de alguna manera, podría decirse que la actividad 8 parece generar conciencia en este estudiante acerca de la incertidumbre de los modelos computacionales como representaciones del mundo que son; considerando la posibilidad de modificarlos y mejorarlos permanentemente.

Síntesis del análisis del estudiante 3

Este estudiante se mostró muy activo durante la ejecución de las diferentes actividades de la propuesta didáctica, asumiendo una actitud muy positiva en relación con las actividades computacionales; y sobre todo en aquellas que eran realizadas en grupo, mostrándose muy satisfecho con las actividades de modelación computacional de modo expresivo. No obstante, en la realización de esta actividad de modelación computacional que requería la

construcción de modelos por parte de los estudiantes, manifestó su gran preocupación por no lograr en los primeros intentos, obtener el modelo que consideraban adecuado para representar las situaciones problema planteadas.

A partir del análisis de la información obtenida para el estudiante 3, se obtienen indicios importantes de un aprendizaje significativo crítico de manera global. Pues el avance del estudiante 3 en su habilidad para formular preguntas fue bastante notorio y pudo visualizarse a través de las diferentes actividades que buscaban valorar dicha habilidad. De igual manera, en lo relacionado con los principios 6, 7 y 8 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, al comparar, por ejemplo, las expresiones de este estudiante en la etapa final del estudio con las expresiones iniciales, puede evidenciarse un avance significativo en su concepción de ciencia, mostrando una visión un tanto más crítica en relación con la construcción de conocimiento científico, su evolución, su falibilidad y su provisionalidad.

De la misma manera, puede observarse que aunque el estudiante 3 en la etapa inicial tenía una interesante postura en relación con la ciencia como construcción humana, esta visión es reivindicada en la etapa final de la intervención, donde asume que la construcción de conocimiento está fuertemente condicionada por aspectos subjetivos y emocionales que juegan un papel fundamental en la generación de diversas explicaciones para un mismo acontecimiento. Visión que está íntimamente relacionada con la idea de multirepresentación, donde se admite la existencia de múltiples representaciones parciales y no exclusivas.

Estudiante 4

Con 23 años de edad, este estudiante cursaba el octavo nivel de su carrera; trabajaba como monitor del curso de instrumentación; según él, por su 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. A continuación se presenta el análisis de la información aportada por este estudiante.

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las diferentes actividades que aportan evidencias sobre el principio 1 de la TASC relacionado con la formulación de preguntas y las preguntas formuladas por el estudiante 4 son mostradas en la tabla 7.44.

Tabla 7.44. Preguntas formuladas por el estudiante 4 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>¿Los efectos de arrastre generados por el aire son los causantes del movimiento visto?</p> <p>¿El momento angular del balón y los efectos de arrastre describen el movimiento?</p>	Bajo
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Cuál es la manera más eficiente de lanzar un objeto que describa este movimiento? ¿Qué tipo de trayectoria describe el objeto?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿El movimiento es periódico? ¿De qué depende el período? ¿Cómo varía la velocidad angular?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u></p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿La frecuencia de oscilación de este sistema es diferente del péndulo en el vacío?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿El movimiento puede ser periódico?</p>	Bajo
Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto	<p><u>Modelo computacional: fricción</u> ¿Cómo varía la magnitud de la fuerza aplicada durante la evolución temporal del modelo? ¿Por qué si aplico una fuerza el bloque se mueve con velocidad constante?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cuál es la causa de que el paracaídas se abra? ¿Cómo se evidencia la tercera ley de Newton?</p>	Bajo-medio
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto	<p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Cómo se describe el comportamiento del sistema? ¿Cómo es el movimiento del sistema si se desprecia la constante de amortiguamiento?</p>	Medio

A partir de las actividades 1 y 2 de la intervención, puede verse que entre las preguntas formuladas por el estudiante 4 predomina el tipo de pregunta que requiere respuestas del tipo si o no, preguntas que no brindan la posibilidad de una conceptualización por parte del estudiante a la hora de intentar comprender el fenómeno estudiado. La actividad 3, denominada modelación computacional de libre exploración, no fue realizada por el estudiante 4 por inconvenientes de salud.

Las respuestas del estudiante 4 al interactuar de manera guiada con los modelos computacionales de tiro parabólico y relación fuerza-aceleración son mostradas en la tabla 7.45.

Tabla 7.45. Respuestas del estudiante 4 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>Su velocidad en Y es cero.</p> <p>Su magnitud en X permanece constante mientras que la velocidad en Y varía linealmente.</p> <p>La aceleración permanece constante.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>A mayor fuerza mayor aceleración (masa fija).</p> <p>A mayor masa menor aceleración (fuerza fija)</p> <p>A mayor masa debo aplicar una fuerza de mayor magnitud para mover el objeto con la misma aceleración.</p> <p>Velocidad aumenta linealmente con F.</p>

Las respuestas dadas por el estudiante 4 en la actividad 6, sugieren una comprensión de los sistemas o fenómenos físicos estudiados. Sin embargo, estas respuestas para ambos modelos computacionales siguen siendo extremadamente concisas sin dar lugar a conocer los procesos de conceptualización realizados por el estudiante para el análisis de dichos modelos. Pero al establecer una comparación entre estas respuestas y las aportadas para estos mismos sistemas o fenómenos físicos en la actividad 3, puede evidenciarse un cierto

avance que se deja entrever en el establecimiento de algunas cuantas relaciones entre los conceptos físicos involucrados en el análisis de las situaciones físicas propuestas.

En la actividad 7, el estudiante 4 formula preguntas en relación con los modelos computacionales fricción y paracaídas. A partir de estas preguntas puede decirse que este estudiante logró un cierto avance en su capacidad para formular preguntas, si se compara con las preguntas formuladas en actividades anteriores. Sin embargo, las preguntas todavía no generan una buena conceptualización en relación con los fenómenos de interés; es decir, no propician el establecimiento de relaciones entre los principales conceptos involucrados en las situaciones problema planteadas.

En la actividad 9 referida a la modelación computacional de modo expresivo abierto, el estudiante 4 diseñó un modelo computacional para el oscilador armónico amortiguado. Las preguntas formuladas para este modelo son preguntas válidas para el análisis de la situación física planteada; sin embargo, no contribuyen en su totalidad a la interacción con el modelo computacional y por supuesto a la comprensión del sistema físico estudiado. A partir de esto puede afirmarse que la capacidad del estudiante 4 para formular preguntas de interés acerca de fenómenos relacionados con la dinámica Newtoniana, se encuentra en un nivel medio.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 4 y que se refieren al principio 6 de la TASC, se describen en la tabla 7.46.

Este estudiante tiene una visión muy crítica con respecto a la construcción y evolución del conocimiento científico. Como se puede apreciar en la tabla 7.46, las respuestas del estudiante 4 al *pretest* en relación con las tres subcategorías abordadas, muestran un predominio de la visión constructivista de la ciencia; sin embargo, en la entrevista inicial, en lo concerniente a la relación entre conocimiento científico y realidad, hay una afirmación contundente de la necesidad de hacer uso siempre del experimento para mostrar la relación de la teoría con la realidad que se estudia; visión que no es compatible con las actuales concepciones epistemológicas de la ciencia.

Tabla 7.46. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...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”</i>
Método científico	<i>La eficacia y la objetividad del trabajo científico no estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías.</i>	<i>“...no creo que el método científico sea un método adecuado, pues cada persona es diferente y aunque se pretende estandarizar un modelo a seguir, construir conocimiento científico, siguiendo ciertos pasos, eso es muy difícil”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia no ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“Cada vez van llegando más y más teorías que dicen de las anteriores: ¡ah no, eso es totalmente falso!, los conceptos que surgen de esa teoría para representar la naturaleza son totalmente erróneos por esto y por esto; y por eso crean otras nuevas teorías”</i>

Al final de la intervención, fue realizado el *postest* y la entrevista final, cuya información aportada por el estudiante 4 en relación con el principio 6 de la TASC, es mostrada en la tabla 7.47.

Tabla 7.47. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...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, ...pues yo personalmente no conozco ninguna teoría que explique todo, yo considero que ninguna teoría es completa, además de que cualquier teoría científica no es una explicación fiel a la realidad.</i>

		<p><i>“Todas (las teorías) no describen la naturaleza como es, sino que es una aproximación, el poder de la analogía del cerebro de nosotros, entonces desde ese punto de vista cualquier teoría no está explicando la naturaleza en sí, sino que está dando una aproximación, un modelamiento de la naturaleza”</i></p> <p><i>“la ciencia, en particular la Física, no es una descripción real de la naturaleza misma, sino que se basa en ciertas aproximaciones, en modelos, en analogías, en conceptos que nosotros percibimos de ella”</i></p>
Método científico	<p><i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no se limita a seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i></p> <p><i>La metodología científica no garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad.</i></p>	<p><i>“Yo no creo que hacer ciencia se limite a unos pasos específicos, creo que una primera parte sería curiosidad hacia algo, hacia un fenómeno, hacia algunos fundamentos de cierta teoría, pero también una concepción de la naturaleza que tenga el científico. Entonces considero eso, lo primero es la curiosidad, pero además debe tener el interés y la capacidad, las herramientas teóricas e instrumentales.</i></p>
Evolución del conocimiento científico	<p><i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i></p>	<p><i>“...por ejemplo, la gravedad, Aristóteles la explicó como que los cuerpos tienden a su naturaleza, algo así, o sea que los materiales pesados van hacia el centro y que los materiales livianos van hacia el cielo a donde pertenecen, es una explicación y funciona para el conocimiento de la época, Newton después da otra explicación que es la ley de la gravedad que también funciona para la época. Ya ahora hay otras teorías que involucran gravitones; y sin embargo, aunque todas explican la fenomenología para las exigencias de la época, no necesariamente cada teoría fue formulada con base en la anterior y seguramente vendrán muchas teorías más que no necesariamente se refieran a las existentes”</i></p>

Tanto en las respuestas aportadas por el estudiante 4 al *postest* como a la entrevista final, se mantiene esa visión constructivista de ciencia en lo referente a la relación conocimiento científico-realidad, el método científico y la evolución del conocimiento científico. Sin embargo, al momento de obtener esta información hay una convicción mucho más fuerte

en este estudiante que se puede visualizar a partir de la argumentación que emplea para hacer referencia a cada una de las subcategorías indagadas en relación con la imagen de ciencia.

A continuación son descritas en la tabla 7.48 los comentarios más relevantes para el estudiante 4 sobre el desarrollo de las actividades 8 y 9 de la intervención que aportan información valiosa acerca del principio 6 de la TASC en actividades de modelación computacional.

Tabla 7.48. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
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 4 fue el primero en detectar que había un error y se lo hizo saber de inmediato al profesor investigador 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: <i>“debe ser modificada”</i>. En la validación del modelo escribe lo siguiente: <i>“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”</i></p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>El estudiante 4 no estuvo presente en esta segunda actividad de detección del error.</p>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>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.</p>

Aunque el estudiante 4 sólo pudo estar presente en la primera actividad de detección del error (modelo computacional: resistencia en caída vertical), en la primera actividad se mostró bastante estimulado por el hecho de encontrar el error en la estructura matemática del modelo de resistencia; pues desde el principio de la intervención, estuvo muy motivado por aprender a manejar el programa *Modellus* y por primera vez se sentía no solo con toda la libertad, sino con la necesidad de modificar un modelo y hacer que éste funcionara correctamente. Así, el estudiante 4 detectó el error existente en el modelo computacional,

lo corrigió y realizó la validación del modelo. Este estudiante sugiere vehementemente la realización de más actividades de esta naturaleza.

En la actividad 9 relacionada con la modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 4 diseñó un solo modelo computacional (péndulo amortiguado). Aunque de todos los estudiantes del curso, éste era el que tenía más destreza en la actividad de modelación expresiva, tuvo algunas dificultades que le impedían obtener rápidamente la versión final de su modelo y tuvo que corregir su modelo en repetidas ocasiones, hasta lograr que éste le proporcionara los resultados deseados.

Es importante resaltar que este estudiante valoró enormemente las actividades de modelación computacional, de manera específica, las actividades de modo expresivo abierto.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 4 y que se refieren al principio 7 de la TASC, relacionado con el desaprendizaje, son mostradas en la tabla 7.49.

Tabla 7.49. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“En la observación de la realidad es imposible evitar un cierto grado de deformación que introduce el observador”</i></p> <p><i>“La investigación científica no comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“...es que cuando un científico, por ejemplo, busca construir una teoría, él tiene que tener en su cabeza mucha información, para saber por ejemplo hasta donde han llegado los científicos en ese campo y mirando que él no vaya a hacer lo que ya otros hicieron”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano no es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico no se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“...yo creo que no 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”</i></p>

El estudiante 4 muestra a partir de sus respuestas en el *pretest* y en la entrevista inicial, una visión coherente con las tendencias actuales de la epistemología de la ciencia, en lo que se refiere al papel de la observación en la construcción de conocimiento científico, considerando que la observación no es el punto de partida en la tarea de hacer ciencia y que el científico necesita de ideas previas a la hora de enfrentarse a la construcción de teorías científicas.

De otro lado, en relación con la subcategoría que hace referencia a la ciencia como construcción humana, este estudiante manifiesta una concepción bastante tradicional tanto en el *pretest* como en la entrevista inicial, considerando la ciencia como una actividad elitista, que solo puede ser desarrollada por aquellas personas que poseen ciertos dones cognitivos que los ubica en una posición más privilegiada.

En la tabla 7.50 se describen las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 4 y que se refieren al principio 7 de la TASC.

Tabla 7.50. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“En la observación de la realidad es imposible evitar un cierto grado de deformación que introduce el observador”</i></p> <p><i>“La investigación científica no comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“...es que en cualquier persona, sea un científico o 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...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“...por ejemplo la Física,... yo considero que ésta no es una descripción real de la naturaleza sino que está completamente influenciada por la historia y por la sociedad misma...”</i></p>

Con base en las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final, puede intuirse que este estudiante ahora tiene una concepción más acorde con las visiones actuales de la ciencia, reforzando aún más la idea de la necesidad que tiene el observador de tener ideas previas que le permitan interpretar sus observaciones. Asimismo, hace énfasis en la existencia de diversas interpretaciones para un mismo fenómeno observado.

En relación con la visión de la ciencia como construcción humana, el estudiante 4 tiene ahora una visión más constructivista, al admitir que la ciencia es una actividad fuertemente influenciada por la historia y por la sociedad que no es exclusiva de genios; como lo expresaba de manera explícita en la entrevista inicial.

Las actividades correspondientes a la propuesta didáctica y que aportan información relevante sobre el principio 7 de la TASC, así como algunos comentarios relacionados con la manera como el estudiante 4 se enfrentó a dichas actividades, pueden verse en la tabla 7.51.

Tabla 7.51. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 7 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 eran completamente desconocidos; y en la actividad de discusión del artículo se refirió al análisis de esta situación de la siguiente manera: <i>“...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...”</i>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	En la actividad 9, el estudiante 4 trabajó en conjunto con el estudiante 7. Para esta actividad expresiva, estos estudiantes construyeron un modelo computacional para el péndulo amortiguado. 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 considerara apropiado y que lograra una mejor aproximación a la situación física representada. Al respecto, este estudiante expresa: <i>“...es que yo lo que quería era un modelo lo más preciso posible, que aunque yo 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”</i>

En el estudiante 4 puede evidenciarse claramente a partir de las actividades 1 y 9 de la intervención, la internalización de la idea de modelo como una representación esquemática parcial y no exclusiva; admitiendo que pueden existir varios modelos que representen una misma situación o fenómeno físico, pero que la diferencia entre tales modelos radica en el grado de precisión que se quiera obtener y por supuesto del conocimiento que tenga el modelador acerca de la situación física modelada.

Este estudiante le da un gran valor a las actividades de modelación computacional que le permiten construir su propio modelo y perfeccionarlo permanentemente hasta lograr aquel modelo que satisfaga sus expectativas como modelador.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

En relación con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 4, son descritas en la tabla 7.52 las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial que se refieren al principio 8 de la TASC.

Tabla 7.52. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...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”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano no es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i> <i>“El conocimiento científico no se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...yo creo que no 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...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia no ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas”</i>	<i>“Cada vez van llegando más y más teorías que dicen de las anteriores: ¡ah no, eso es totalmente falso!, los conceptos que surgen de esa teoría para representar la naturaleza son totalmente erróneos por esto y por esto; y por eso crean otras nuevas teorías”</i>

En cuanto a la subcategoría relación conocimiento científico-realidad, en el *pretest*, el estudiante 4 parece tener una visión constructivista; sin embargo, en el fragmento retomado de la entrevista inicial, puede deducirse que este estudiante visualiza las teorías científicas como representaciones exactas de la realidad y le atribuye al experimento el papel de juez en el proceso de comprobación de dichas teorías.

En cuanto a la visión que tiene de la ciencia como construcción humana, su visión es fuertemente tradicional al ver la ciencia como una actividad exclusiva de genios. Y en cuanto a la evolución del conocimiento científico, el estudiante 4 parece tener una visión más cercana a la concepción actual de la ciencia, al considerar la posibilidad de que las teorías científicas contengan errores que hagan que sean revaluadas y en algunos casos hasta destituidas por otras nuevas.

En la tabla 7.53 pueden verse las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 4 y que se refieren al principio 8 de la TASC.

Las respuestas al *postest* y a la entrevista final, dan indicios de que el estudiante 4 ha tenido un progreso significativo en relación con las subcategorías alusivas al principio 8 (incertidumbre del conocimiento), admitiendo que difícilmente una teoría científica puede aportar una visión exacta de la realidad, que éstas son imperfectas y que es necesario replantearlas permanentemente.

La tabla 7.54 describe las actividades que aportan información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento; asimismo, se hacen unos breves comentarios relacionados con la actitud del estudiante 4 frente a cada actividad.

Tabla 7.53. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...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, ...pues yo personalmente no conozco ninguna teoría que explique todo, yo considero que ninguna teoría es completa, además de que cualquier teoría científica no es una explicación fiel a la realidad...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i> <i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...es que si 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...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia no ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas”</i>	<i>“...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...”</i>

A partir de las actividades de intervención relacionadas con el principio 8 de la TASC (principio de incertidumbre del conocimiento), puede verse a partir de las expresiones del estudiante 4, la consideración de que el conocimiento puede ser permanentemente mejorado y perfeccionado en búsqueda de explicaciones cada vez más acertadas en el análisis de fenómenos físicos. Evidentemente estas ideas surgen a partir de las actividades de construcción de modelos computacionales, donde perciben la manera en que estos pueden ser constantemente modificados hasta lograr su mayor funcionalidad.

Tabla 7.54. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	En la discusión del artículo referente a la aerodinámica del balón de fútbol, el estudiante 4 hace el siguiente comentario: <i>“...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”</i>
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	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	Después de construir varias versiones del modelo computacional que fueron constantemente modificadas y mejoradas, finalmente el estudiante 4 obtuvo un modelo computacional que consideraba adecuado para representar la situación física de interés. En relación con esta actividad, el estudiante 4 expresa: <i>“...es que yo lo que quería era un modelo lo más preciso posible, que aunque yo 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”</i>

Síntesis del análisis del estudiante 4

El estudiante 4 estuvo particularmente interesado en las diferentes actividades de modelación computacional, mostrando una muy buena predisposición para el desarrollo de estas actividades y desarrollándolas de manera muy satisfactoria. Aunque manifestó su inclinación por el trabajo individual, accedió fácilmente a trabajar en parejas en las actividades del curso que así lo requerían.

A partir del análisis de la información obtenida para el estudiante 4, pueden tenerse indicios de un aprendizaje significativo crítico en un sentido global; pues aunque este estudiante sigue mostrando algunas dificultades en cuanto a la formulación de preguntas, que hacen presumir que aún debe mejorar mucho para adquirir tal habilidad, es importante reconocer que se logró un cierto avance en esta capacidad formulando preguntas cada vez más pertinentes y más reflexivas en torno a fenómenos de la dinámica Newtoniana.

En relación con los principios 6, 7 y 8 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, 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.

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. El siguiente es el análisis de la información aportada por el estudiante 5.

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las actividades que muestran evidencias del primer principio de la TASC y las preguntas formuladas por el estudiante 5 para este principio pueden verse en la tabla 7.55.

Las preguntas formuladas por el estudiante 5 en la actividad 1, son preguntas que sin duda alguna tienen gran interés para el análisis del fenómeno físico planteado; pues éstas permiten llevar a cabo un ejercicio de reflexión y conceptualización sobre la situación que está siendo estudiada. De modo contrario, aunque en la actividad 2, el estudiante 5 realiza un interesante ejercicio de contextualizar algunos de los sistemas o fenómenos físicos por medio de situaciones problema, en la formulación de preguntas se limita a indagar por ecuaciones que representan matemáticamente el fenómeno y a preguntar por conceptos concretos sin explorar posibles relaciones entre ellos.

Tabla 7.55. Preguntas formuladas por el estudiante 5 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>¿Cómo se modifica la trayectoria de un cuerpo esférico teniendo en cuenta la crisis de arrastre y el efecto Magnus?</p> <p>¿Cómo se comporta el fluido en las inmediaciones del cuerpo esférico?</p>	Medio
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Qué trayectoria describe el proyectil y qué fuerzas la determinan? ¿Para qué ángulo se alcanza una altura máxima y para qué otro ángulo se alcanza una distancia horizontal máxima?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Depende la amplitud del ángulo de inclinación? ¿Qué fuerzas actúan sobre el péndulo?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuál es la ecuación de movimiento? ¿Cuál es el período de las oscilaciones?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> Se considera un cubo de masa m en el extremo de un resorte que realiza movimiento sobre una superficie rugosa, ¿cómo se halla la fuerza de fricción?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Qué fuerzas son responsables de las oscilaciones? ¿Qué parámetros influyen en la frecuencia de oscilación?</p>	Bajo
Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> Para una velocidad inicial fija ¿a qué ángulo se obtiene un alcance horizontal máximo? ¿Cuáles son los vectores dibujados sobre el balón?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> Cuando la fuerza es negativa ¿cómo es el movimiento de la masa? ¿Qué sucede con la velocidad a medida que pasa el tiempo?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué sucede con la velocidad cuando el paracaídas es abierto? ¿Cómo varía la velocidad con el incremento de m y g?</p>	Medio
Actividad 7. Modelación computacional de	<p><u>Modelo computacional: fricción</u> 1. ¿En qué instante comienza el bloque a moverse? 2. ¿Qué sucede con el coeficiente de fricción cuando el</p>	

modoexploratorio abierto	bloque empieza a moverse? 3. ¿Qué sucede si $\mu_c > \mu_e$ y si $\mu_c < \mu_e$? <u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué efecto tiene la resistencia del aire sobre el paracaidista antes de abrir el paracaídas y luego de abrirlo? ¿Qué sucede si el coeficiente de resistencia del aire es muy grande y hay una velocidad inicial?	Medio-alto
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto	<u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso; y un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Cuándo se presenta el fenómeno de resonancia? ¿Qué sucede si la constante de amortiguación es muy grande? ¿Cómo influye la masa de la partícula en el fenómeno de resonancia?	Medio

En la actividad 3 puede verse que algunas de las preguntas que formula el estudiante 5 a partir de la observación e interacción libre con los modelos computacionales (por ejemplo en el modelo referido al fenómeno del paracaídas), aunque no son las más representativas y explicativas del fenómeno, de alguna manera indagan por la relación entre conceptos.

Las respuestas del estudiante 5 al realizar la exploración guiada de los modelos computacionales (tiro parabólico y relación fuerza-aceleración) que había explorado libremente en la actividad 3, son mostradas en la tabla 7.56.

Aunque algunas de las respuestas del estudiante 5 a las preguntas foco formuladas en la actividad 6 siguen siendo un tanto superficiales, éstas aportan alguna información acerca de la comprensión de las situaciones físicas planteadas. Y de manera evidente, estas respuestas difieren en gran medida de las que eran aportadas por este mismo estudiante para las preguntas planteadas en la actividad 3.

De acuerdo con las preguntas foco formuladas por el estudiante 5 en la actividad 7, para el análisis de los modelos de fricción y paracaídas puede afirmarse que se dieron logros significativos en relación con las preguntas formuladas en actividades previas; pues la mayoría de estas preguntas inducen al estudiante a realizar un análisis reflexivo del fenómeno de interés y a establecer relaciones entre conceptos para aportar las explicaciones requeridas.

Tabla 7.56. Respuestas del estudiante 5 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>En el punto más alto de la trayectoria, la velocidad en y es cero debido a la desaceleración causada por la aceleración.</p> <p>La velocidad disminuye mientras asciende y luego aumenta mientras desciende. El cambio se da en la componente V_y debido a la gravedad; $V_x = \text{cte.}$</p> <p>La aceleración es constante en magnitud y dirección; ya que la única fuerza considerada es la gravitacional.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>Es una relación directamente proporcional, a mayor F mayor aceleración.</p> <p>Es una relación inversamente proporcional, a mayor masa menor aceleración.</p> <p>Son directamente proporcionales, a mayor masa mayor es la fuerza que debe ser aplicada para obtener la misma a.</p> <p>A mayor fuerza, mayor aceleración y por tanto mayor velocidad.</p>

Asimismo, en la actividad 9 referida a la modelación computacional expresiva abierta, el estudiante 5 construyó un modelo computacional en el que podía estudiarse tanto el oscilador armónico amortiguado como el oscilador forzado. No obstante, aunque las preguntas planteadas tienen cierto interés para el análisis de los sistemas físicos planteados, éstas son insuficientes para propiciar la comprensión del modelo computacional que representa dichos sistemas.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 5 y que se refieren al principio 6 de la TASC, pueden verse en la tabla 7.57.

Tabla 7.57. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...tarde o temprano cualquier teoría sólo se sabrá si es cierta o no a la hora que un experimento nos arroje dicha información, o sea, la experimentación es como analizar el resultado final, es la verdad absoluta, es la verdad que nos está diciendo la naturaleza. Entonces si mi modelo se ajusta perfectamente a la verdad de la naturaleza, que yo la veo por experimentación, funciona, de lo contrario no...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“yo creo que el conocimiento científico se construye a partir de ciertos métodos de investigación, de ahí viene pues lo que conocemos como el método científico, y consiste en llevar un proceso lógico, un proceso que tenga cierta coherencia, que me permita formar conocimiento a partir de una observación de un fenómeno que yo quiera estudiar, entonces el conocimiento científico es todo eso, es el conjunto de conocimientos que se han ido recopilando a través de usar este método”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<p><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 lo que hoy tenemos y produce nueva ciencia; es gracias al método científico”</i></p> <p><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></p>

La tabla 7.57 aporta información relacionada con la concepción de ciencia que tiene el estudiante 5 en el momento previo a las actividades de intervención apoyadas en la modelación científica. A partir de las respuestas de este estudiante en el *pretest* y en la entrevista inicial, puede inferirse una posición muy tradicional en relación con las tres subcategorías abordadas para la imagen de ciencia. Con respecto a la relación conocimiento científico-realidad concibe la experimentación como elemento determinante para la infalibilidad del conocimiento científico. Asimismo, en relación al método científico, aunque en el *pretest* se visualiza una concepción más actualizada de la ciencia, en la entrevista inicial hace alusión al método científico como el método por excelencia para construir el conocimiento científico; y se reivindica en la defensa de tal método, al referirse a él nuevamente en la subcategoría correspondiente a la evolución del conocimiento científico, afirmando para esta misma subcategoría, que cuando se habla de conocimiento científico no existe cabida para errores y confusiones.

La información aportada por este mismo estudiante en el *postest* y en la entrevista final para la imagen de ciencia relacionada con el principio 6 de la TASC, es mostrada en la tabla 7.58.

A partir de la información aportada por el estudiante 5 en el *postest* y en la entrevista final, puede verse un cierto avance en las argumentaciones referidas a la concepción de ciencia desde las tres subcategorías presentadas. Por ejemplo, en lo concerniente a la relación conocimiento científico-realidad, hace referencia al ejercicio de construcción de modelos como aproximaciones y asemeja esta actividad a la desarrollada por los científicos en la construcción de teorías, valiéndose de su experiencia en las actividades de modelación y mostrando una posición más flexible entre el conocimiento científico y la realidad.

En cuanto al método científico, ya no concibe éste como la manera única de hacer ciencia y hace referencia a la necesidad de una mirada crítica por parte de los científicos y de unas ideas o teorías previas para la construcción de ciencia. Y en la subcategoría correspondiente a la evolución del conocimiento científico, aunque continúa defendiendo la infalibilidad del conocimiento científico, se asume que hay un cierto progreso en la visión de ciencia de este estudiante, en términos de considerar tal conocimiento como temporal y provisional, lo que de manera implícita lo muestra como susceptible de errores.

Tabla 7.58. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</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>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no se limita a seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“Yo creo que la ciencia evoluciona en la medida en que los científicos bajo una 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...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</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>

Las actividades de modelación computacional desarrolladas por el estudiante 5 y que aportan información relevante sobre el principio 6 de la TASC, en términos de la detección de errores y la superación permanente de éstos, son descritas en la tabla 7.59.

Durante la realización de la actividad 8 correspondiente a la detección del error en la exploración de los modelos computacionales haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 5, en particular, mostró gran satisfacción con el proceso de corrección de los modelos computacionales, afirmando, que este ejercicio le permitía profundizar aún más en la comprensión del fenómeno y que sin lugar a dudas el hecho de realizar el diagrama AVM había posibilitado en buena parte tal detección.

Tabla 7.59. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
<p>Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional</p>	<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: <i>“La resistencia del aire produce una fuerza que se opone siempre al movimiento”</i>. Con base en esto, en la validación del modelo escribe lo siguiente: <i>“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 $F = -mg - bv^2$, por la ecuación $F = -mg - bv$, donde v es $-v$ si la piedra cae y $+v$ si la piedra asciende”</i>. 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: <i>“El modelo representa los resultados conocidos, sin embargo, la aceleración fue siempre igual a g, ya que el modelo matemático estaba mal escrito; pero este modelo se corrigió cambiando la ecuación $a = g*(m_1+m_2)/(m_1+m_2)$ por la ecuación $a = g*(m_1-m_2)/(m_1+m_2)$ y corriendo nuevamente el modelo para arrojar los resultados satisfactorios”</i>.</p>
<p>Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM</p>	<p>El estudiante 5 realizó esta actividad en conjunto con el estudiante 6, construyendo un modelo computacional en el que podía estudiarse tanto el oscilador armónico amortiguado como el oscilador forzado.</p> <p>La construcción de dicho modelo fue un proceso lento que requirió de permanentes correcciones y modificaciones.</p>

En lo referente a la actividad 9 relacionada con la modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 5 realizó esta actividad con el estudiante 6. El estudiante 5 trabajó de una manera muy entusiasta durante las dos sesiones de clase respectivas a esta actividad, diseñando un modelo computacional a partir del cual podía analizarse el oscilador armónico amortiguado y el oscilador forzado. Este estudiante tiene un gran dominio de las herramientas computacionales y trabajó de manera muy independiente y productiva durante esta actividad. Sin embargo, al principio de la actividad presentó diversas dificultades y tardó en lograr el modelo computacional apropiado para representar las situaciones físicas de interés.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 5 y que se refieren al principio 7 de la TASC, pueden verse en la tabla 7.60.

Tabla 7.60. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“...el papel de la observación es pues indudablemente el principal, de la observación nace la inquietud de conocer todo, de explicar los fenómenos y la curiosidad científica, entonces es demasiado importante. Es que la observación es fundamental para hacer ciencia; y es por eso justamente que la observación es el primer paso del método científico, el método que se usa para hacer ciencia...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El pensamiento de los seres humanos no está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p>	<p><i>“... es que los científicos lo que hacen es seguir el método científico y eso es independiente de todo, ellos deben atender solamente a lo que dice el método científico y ya...”</i></p>

Las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial, dejan ver una postura netamente tradicionalista en relación con las dos subcategorías abordadas en el análisis del principio 7 de la TASC. En cuanto al papel de la observación en la construcción de conocimiento científico, este estudiante le da un valor preponderante a la observación como elemento fundamental y punto de partida en la construcción de conocimiento científico, reafirmandose en la defensa del método científico como la única manera posible de hacer ciencia. De la misma manera, se refiere al método científico como un método riguroso que no puede ser influenciado por aspectos subjetivos y emocionales propios de quienes hacen ciencia.

En la tabla 7.61 se describen las subcategorías del *posttest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 5 y que se refieren al principio 7 de la TASC.

Tabla 7.61. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“La investigación científica no necesariamente comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“Yo creo que la ciencia evoluciona en la medida en que los científicos bajo una 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...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El pensamiento de los seres humanos no está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p>	<p><i>“...es que yo creo que un científico para hacer buena ciencia no debe dejarse contaminar por nada; es decir, la mejor manera es dedicarse completamente a su investigación sin dejar que nada lo perturbe...”</i></p>

Aunque la visión del estudiante 5 en relación con el papel de la observación en la construcción de conocimiento científico, parece estar superada y le da cabida al conocimiento previo como fundamental para tener una visión crítica del mundo y para explicar la naturaleza; en relación con la visión de ciencia como construcción humana, su concepción sigue siendo bastante tradicionalista; pues este estudiante asume que un científico no debe dejarse contaminar por aspectos subjetivos y emocionales en la labor de construir ciencia. Lo que sugiere que este estudiante sigue manteniendo una visión completamente tradicional en relación con el papel que desempeñan la intuición y la imaginación en la construcción de conocimiento científico.

Las actividades correspondientes a la propuesta didáctica que aportan información relevante sobre el principio 7 de la TASC, así como unos breves comentarios relacionados con la manera como el estudiante 5 se desempeñó en dichas actividades, pueden verse en la tabla 7.62.

Tabla 7.62. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 7 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: <i>“...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 ...”</i> ; <i>“...si nosotros tuviéramos que hacer un modelo computacional sobre ese fenómeno, lo analizaríamos desde la cinemática y si acaso la dinámica y ya”</i>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>En esta actividad, el estudiante 5 trabajó en conjunto con el estudiante 6. Estos estudiantes diseñaron un modelo computacional que permitía visualizar el caso del oscilador armónico amortiguado y del oscilador forzado.</p> <p>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 consideraron adecuado para representar las situaciones físicas propuestas; sin embargo, consideraron que este modelo requería seguir siendo mejorado y perfeccionado.</p> <p>Al respecto, el estudiante 5 expresó: <i>“...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...”</i></p>

Estas actividades permiten percibir en el estudiante 5, la internalización de la idea de modelo como una representación esquemática parcial y no exclusiva, considerando que la representación que se haga de una situación física por medio de modelación, difiere de otras por el grado de precisión que se quiera obtener en relación con la situación modelada. En este mismo sentido, 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 un tanto más sutiles.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

Para este principio, son descritas en la tabla 7.63 las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 5.

Tabla 7.63. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</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>
La ciencia como construcción humana	<i>El pensamiento de los seres humanos no está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales.</i>	<i>“... es que los científicos lo que hacen es seguir el método científico y eso es independiente de todo, ellos deben atender solamente a lo que dice el método científico y ya, porque si se salen de ahí, entonces pueden cometer muchos errores...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las 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>

En cuanto a las subcategorías que se refieren al principio 8 de la TASC, relacionados con la incertidumbre del conocimiento, el estudiante 5 tiene una postura netamente tradicionalista tanto en lo que tiene que ver con la relación conocimiento científico-realidad como con la evolución del conocimiento científico, donde según él no existe espacio para errores y confusiones.

Asimismo, para la subcategoría relacionada con la ciencia como construcción humana, el estudiante 5 considera que si un científico trabaja al margen del método científico, existe la posibilidad que existan errores y confusiones; cosa que no debe darse en la ciencia.

La tabla 7.64 describe las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 5 y que se refieren al principio 8 de la TASC.

Tabla 7.64. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</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>
La ciencia como construcción humana	<i>“El pensamiento de los seres humanos no está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i>	<i>“...es que la mejor manera para que un científico no cometa errores cuando está descubriendo algo, es que se concentre en eso y no piense en nada más...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“... 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>

En cuanto a la relación conocimiento científico-realidad, este estudiante logra dar un paso significativo en comparación con su concepción inicial, asumiendo que lo que hacen los científicos es construir aproximaciones de la naturaleza y dando cabida a la posibilidad de errores, afirmando que deben hacerse muchos intentos hasta lograr la mejor aproximación. De la misma manera, muestra una visión más actualizada en relación con la evolución del conocimiento científico, afirmando explícitamente la incertidumbre del conocimiento científico, mediante la temporalidad y provisionalidad de las teorías que conocemos para explicar el mundo.

Sin embargo, en lo que se refiere a la ciencia como construcción humana, la visión del estudiante 5 sigue siendo netamente clásica, al asumir que el conocimiento científico no puede estar influenciado por aspectos subjetivos y emocionales; y que estos serían contaminantes que conducirían a cometer errores en el proceso de construcción de conocimiento.

Las actividades correspondientes a la propuesta didáctica y que aportan información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento, así como algunos comentarios sobre el desempeño del estudiante 5 en dichas actividades, pueden verse en la tabla 7.65.

Tabla 7.65. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	En la discusión del artículo referente a la aerodinámica del balón de fútbol, el estudiante 5 expresa lo siguiente: <i>“Yo creo que uno hace uso de su conocimiento y entonces para hacer un modelo sobre una situación, uno hace uso de las herramientas que tiene y si hay otro con herramientas mejores, pues va a hacer un modelo muchísimo mejor sobre la misma situación ...”</i>
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	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: <i>“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 ...”</i>
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	En esta actividad que consistía en la construcción de modelos computacionales por parte de los estudiantes; el estudiante 5, aunque tenía un buen dominio de las herramientas computacionales, tardó un buen tiempo en obtener el modelo computacional que consideraba adecuado para representar las situaciones físicas propuestas. Este estudiante expresa lo siguiente en relación con esta actividad: <i>“...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; sin embargo le toca hacer muchos muchos muchos intentos para lograr un modelo por lo menos acertado...”</i>

Con base en las actitudes y expresiones del estudiante 5 en relación con las actividades de intervención 1, 8 y 9, puede notarse que éste asume las explicaciones del mundo como construcciones que se elaboran a partir de los conocimientos que se tengan para generar dicha explicación; y que de igual manera sucede con la actividad de construir modelos computacionales, la cual va a ser enriquecida con las herramientas conceptuales que se tengan en relación con los fenómenos físicos que están siendo analizados. De la misma manera, este estudiante considera los modelos computacionales como aproximaciones del mundo que deben ser permanentemente corregidas y perfeccionadas.

Síntesis del análisis del estudiante 5

Este estudiante ha mostrado un excelente rendimiento académico durante toda la carrera; y en este curso no fue la excepción. 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.

A partir del análisis de la información recolectada para el estudiante 5 se encuentran interesantes evidencias de una mayor profundización de los conceptos relativos al campo de la dinámica Newtoniana. Esta afirmación puede sustentarse a partir del seguimiento realizado a este estudiante en las diferentes actividades relativas a la formulación de preguntas, donde de alguna manera se mantiene su habilidad para formular preguntas y en algunos casos, dicha habilidad es más notoria, sobre todo en las actividades finales de la intervención.

Con base en las actividades de intervención relativas a los principios 6, 7 y 8 de la TASC, que en términos generales permiten valorar 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 en comparación 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, en relación con el principio 7 de la TASC, 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 de manera explícita 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.

Estudiante 6

A los 26 años de edad, este estudiante no había laborado y se encontraba realizando el octavo nivel de su carrera, durante la cual había perdido el curso de Física III. Este estudiante mostró inicialmente una apatía al trabajo con la modelación computacional; sin embargo, en el transcurso de la intervención su actitud mejoró notablemente. En lo que sigue, es presentado el análisis de la información obtenida para el estudiante 6.

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las preguntas formuladas por el estudiante 6 en las actividades relacionadas con el principio 1 de la TASC son presentadas en la tabla 7.66.

De la actividad 1, puede verse que las preguntas planteadas por este estudiante tienen cierto grado de interés, pero conllevan a respuestas del tipo si o no que pocas opciones dan al estudiante de realizar una buena conceptualización en torno al fenómeno de interés. La actividad 2 fue realizada por el estudiante 6 en compañía del estudiante 5; y a partir de la actividad 3, puede apreciarse que las preguntas generadas por este estudiante para la exploración de los modelos computacionales, poco o nada contribuyen a la comprensión de los sistemas o fenómenos estudiados.

Tabla 7.66. Preguntas formuladas por el estudiante 6 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	<p>¿Depende la crisis de arrastre del tipo de superficie del cuerpo esférico?</p> <p>¿El comportamiento del fluido depende de la velocidad del cuerpo esférico?</p>	Bajo
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Qué trayectoria describe el proyectil y qué fuerzas la determinan? ¿Para qué ángulo se alcanza una altura máxima y para qué otro ángulo se alcanza una distancia horizontal máxima?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Depende la amplitud del ángulo de inclinación? ¿Qué fuerzas actúan sobre el péndulo?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuál es la ecuación de movimiento? ¿Cuál es el período de las oscilaciones?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> Se considera un cubo de masa m en el extremo de un resorte que realiza movimiento sobre una superficie rugosa, ¿cómo se halla la fuerza de fricción?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Qué fuerzas son responsables de las oscilaciones? ¿Qué parámetros influyen en la frecuencia de oscilación?</p>	Bajo
Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Cómo es la componente horizontal del vector velocidad? ¿Es la velocidad de caída la misma o diferente para objetos con diferentes masas?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> ¿Cómo cambia la fuerza con el tiempo? ¿Cómo cambia la masa de una partícula para una fuerza que imparte una aceleración constante?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué significa el aumento de velocidad? ¿Cómo es la dirección del vector resistencia respecto del vector peso?</p>	Bajo
Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto	<p><u>Modelo computacional: fricción</u> ¿Cuál es la fuerza neta aplicada sobre el bloque cuando sobre éste actúa la fuerza de fricción estática? ¿Cuál es la fuerza neta aplicada sobre el bloque cuando</p>	

	<p>sobre éste actúa la fuerza de fricción cinética? ¿Cómo se comporta la fuerza de fricción según varía el tiempo?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué pasa con la velocidad del cuerpo a medida que avanza el tiempo? ¿Qué pasa con el vector resistencia a medida que el objeto cae? Para ciertos valores de A_1, A_2, la curva de velocidad respecto al tiempo muestra una primera parte con pendiente negativa y otra con pendiente positiva, para luego tener un valor constante. ¿Qué significan estos tres tramos de la gráfica de la velocidad?</p>	Medio
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto	<p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso; y un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Cuándo se presenta el fenómeno de resonancia? ¿Qué sucede si la constante de amortiguación es muy grande? ¿Cómo influye la masa de la partícula en el fenómeno de resonancia?</p>	Medio

En la tabla 7.67 son presentadas las respuestas del estudiante 6 a partir de la exploración guiada de los modelos computacionales (tiro parabólico y relación fuerza-aceleración) explorados libremente en la actividad 3.

A partir de la actividad 6, puede decirse que las respuestas dadas por el estudiante 6 a las preguntas de interés sobre los dos modelos explorados, en general muestran una comprensión del fenómeno por parte del estudiante; sin embargo, algunas de estas respuestas no profundizan en las relaciones entre los conceptos. Sin embargo, al establecer una comparación entre estas respuestas y las aportadas en la actividad 3 para las preguntas formuladas por él mismo, se percibe en la actividad 6 un intento de conceptualización que no se logra visualizar en la actividad 3.

Con base en la actividad 7 donde el estudiante 6 formuló una serie de preguntas para el análisis de los modelos de fricción y paracaídas, puede afirmarse que hubo un avance en su formulación; sin embargo, es importante resaltar que algunas preguntas siguen induciendo fuertemente una respuesta concreta sin dar lugar a un proceso de conceptualización. Esto se evidencia concretamente en las dos primeras preguntas formuladas para el modelo de fricción. Y la actividad 9 relacionada con la modelación computacional de modo expresivo abierto fue desarrollada por este estudiante en compañía del estudiante 5.

Tabla 7.67. Respuestas del estudiante 6 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>Su velocidad en la dirección vertical es nula y la velocidad horizontal es perpendicular a la aceleración de la gravedad.</p> <p>La velocidad horizontal permanece constante, la rapidez vertical disminuye antes de alcanzar el punto más alto de su trayectoria y aumenta después de alcanzarlo.</p> <p>La aceleración permanece constante y siempre es perpendicular a la velocidad horizontal de la pelota.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>Estas dos cantidades físicas son proporcionales, siendo la masa del cuerpo sobre el cual se aplica la fuerza, la constante de proporcionalidad.</p> <p>Un cuerpo con mayor masa es más difícil de acelerar que otro más liviano.</p> <p>Para hacer que un cuerpo abandone cierto estado de movimiento, hay que ejercerle más fuerza cuanto más masa posea el cuerpo.</p> <p>La fuerza genera aceleración y la aceleración genera cambios en el tiempo de la velocidad.</p>

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 6 y que se refieren al principio 6 de la TASC, son mostradas en la tabla 7.68.

En esta tabla (7.68) se encuentra información relacionada con la visión de ciencia que tiene el estudiante 6 aportada por el *pretest* y la entrevista inicial. Esta información muestra una tendencia a una visión tradicional de la ciencia por parte de este estudiante, básicamente en lo que se refiere a la relación conocimiento científico-realidad, en donde expresa que las teorías científicas tienen que representar las verdades de la naturaleza; y en cuanto al método científico, asume que lo considera un método efectivo para hacer ciencia.

Tabla 7.68. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...la naturaleza es el único marco de referencia que nosotros tenemos para medir las verdades y las teorías tienen que representar esas verdades que hay en la naturaleza; y la naturaleza no está en el papel, está afuera y hay que ir a verla...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“... pues a mí el método científico si me parece efectivo; sobre todo si es un fenómeno al que uno solo tiene acceso a su información por medio experimental...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia no ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“Yo no diría que las teorías científicas pueden tener errores, pienso que no, yo más bien creo que pueden estar incompletas, pero erradas, nunca; y con base en esas ampliarlas o construir otras”.</i>

En relación con la evolución del conocimiento científico, la información obtenida en el *pretest*, da una idea de una visión un poco más acorde con las posturas epistemológicas actuales; sin embargo, en el fragmento transcrito de la entrevista referente a esta misma subcategoría, el estudiante 6 hace alusión a que las teorías científicas pueden estar incompletas, pero nunca erradas. Sin embargo, no profundiza más sobre esa idea de considerar las teorías científicas como incompletas.

La información aportada por el estudiante 6 en el *postest* y en la entrevista final para la imagen de ciencia relacionada con el principio 6 de la TASC, es mostrada en la tabla 7.69.

Tabla 7.69. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“Las teorías que van surgiendo, lo que tratan de hacer es explicar la realidad, o por lo menos en Física, por ejemplo, ahora está vigente la teoría de la relatividad de Einstein, pero nadie puede decir que esta teoría explica la realidad de manera absoluta...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico se limita a seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“Yo si estoy de acuerdo con que uno debe seguir un método que funcione en la ciencia y la observación definitivamente me parece que es el primer paso; y también me parecen lógicos los otros pasos del método científico”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“Yo creo que la principal tarea de los científicos es construir teorías bien acertadas, y si en esa tarea ven que no se llega allá, entonces miran si la teoría que formularon está errónea o tiene huecos, entonces vuelven y la reformulan...”</i>

A partir de la información aportada por el estudiante 6 en el *postest* y en la entrevista final, puede considerarse un ligero progreso en las subcategorías relativas a la relación conocimiento científico-realidad y evolución del conocimiento científico; cuando se refiere a que no es posible afirmar que teorías actuales explican la realidad de manera absoluta y a la posibilidad de contemplar el error y la necesidad de reformular nuevas teorías cuando éste se presenta. Postura que sin duda alguna evidencia un avance en la concepción de ciencia de este estudiante, a pesar de lo escueto en sus expresiones.

En cuanto a la subcategoría referida al método científico, el estudiante 6 continúa mostrando una postura bastante radical cuando hace énfasis en la necesidad de hacer uso de un método como el científico para hacer ciencia, poniendo de relieve la observación como punto de partida en la construcción de conocimiento científico.

A seguir, se describen las actividades de modelación computacional desarrolladas por el estudiante 6 durante la etapa de intervención y que aportan información relevante sobre el

principio 6 de la TASC, relacionado con la detección de errores y la superación permanente de éstos (tabla 7.70).

Tabla 7.70. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 6.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	Por problemas de salud, el estudiante 6 no estuvo en esta actividad
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	El estudiante 6 realizó esta actividad en conjunto con el estudiante 5, construyendo un modelo computacional en el que podía estudiarse tanto el oscilador armónico amortiguado como el oscilador forzado. Este modelo fue permanentemente corregido y modificado hasta lograr obtener un modelo que fuera funcional.

En lo referente a la actividad 9 relacionada con la modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 6 trabajó con el estudiante 5. Aunque este estudiante no se enfrentó a la actividad de una manera tan entusiasta como lo hizo el estudiante 5, finalmente se apropió de la actividad y valoró considerablemente los beneficios de ésta y la oportunidad aportada para enfrentarse al proceso de modelación de modo expresivo abierto.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Para el principio 7 de la TASC relacionado con el desaprendizaje, las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial referidas a la imagen de ciencia que tiene el estudiante 6, pueden observarse en la tabla 7.71.

En relación con el papel de la observación en la construcción de conocimiento científico, el estudiante 6 manifiesta una postura muy tradicionalista tanto en la información aportada en el *pretest* como en la entrevista inicial; dicha postura pone de relieve la supremacía del método científico como el método más adecuado para construir el conocimiento científico, anteponiendo la observación como un mecanismo absolutamente necesario y además como punto de partida para llevar a cabo el cumplimiento de dicho método.

Tabla 7.71. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“A mí me sigue pareciendo muy bueno el método científico; y..., a partir de observación es que se empieza a montar todo el resto, a hacer las teorías...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“...yo creo que una persona, o mejor, un científico que esté haciendo ciencia necesita de otras personas, que eso es muy difícil hacerlo solo, otras personas que estén pensando y trabajando sobre lo mismo...”</i></p>

En cuanto a la ciencia como construcción humana el estudiante 6 parece tener una visión un poco más acorde con las actuales concepciones sobre epistemología de la ciencia, al considerar la ciencia como un resultado de la interacción social y la necesidad de que ésta surja a partir de las diversas visiones sobre el mismo fenómeno estudiado.

En la tabla 7.72 se describen las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 6 y que se refieren al principio 7 de la TASC.

A partir de la información obtenida en el *postest* y en la entrevista final, puede deducirse que el estudiante 6 ha logrado un avance muy significativo, específicamente en lo que se refiere a su concepción sobre el papel de la observación en la construcción de conocimiento científico. Además, en este momento de la intervención este estudiante concibe la necesidad de los científicos de recurrir a teorías o ideas previas que les permitan generar explicaciones sobre aquellos acontecimientos de la naturaleza que están siendo observados.

Tabla 7.72. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“La investigación científica no necesariamente comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“Yo creo que ellos (los científicos) deben tener una teoría previa; pues si es respecto a alguna observación que ya se hecho pero de la cual no se tiene pues como una teoría fuerte, yo creo que si necesitan una teoría previa; y si es una observación nueva, si la observan y se dan cuenta de que eso es algo nuevo en la Física, pues obviamente les tocará a ellos generar sus propias teorías, explicar lo que está apareciendo...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“Yo lo que creo es que la ciencia se hace en comunidad; o sea, un físico teórico no puede creer que solo encerrado en su casa va a cambiar el mundo, o va a hacer más de lo que puede hacer en comunidad; no, pues por algo se hacen publicaciones, se comparte con los colegas en todas partes del mundo o en ciertas regiones y... hay gente que tiene ideas distintas, hay gente que ve unas cosas que otras personas no ven”</i></p>

En cuanto a la subcategoría referente a la ciencia como construcción humana, es fuertemente reforzada la idea (expresada en la entrevista inicial) de una ciencia construida en comunidad, haciendo nuevamente énfasis en la posibilidad de que existan diversas explicaciones y visiones sobre un mismo fenómeno.

Las actividades constituyentes de la propuesta didáctica y que permiten obtener información relacionada con el principio 7 de la TASC para el estudiante 6, pueden verse en la tabla 7.73; donde también se muestran unos breves comentarios en relación con la actitud de este estudiante frente a cada una de las actividades.

Tabla 7.73. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 6.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	De igual manera que la mayoría de estudiantes participantes de este estudio, el estudiante 6 declaró ignorar por completo la existencia de los conceptos crisis de arrastre y efecto Magnus; y ante su utilización para explicar la situación física analizada, expresó: “... <i>debe ser que ya habían intentado explicar ese fenómeno que sucedió con ese chute de otra manera y como no les había aportado de pronto información tan exacta para entenderlo, por eso les tocó rebuscarse estos conceptos tan poco usuales para acercarse más a la explicación que querían...</i> ”
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	El estudiante 6 realizó esta actividad en conjunto con el estudiante 5, diseñando un modelo computacional que permitía visualizar el caso del oscilador armónico amortiguado y del oscilador forzado. Estos estudiantes hicieron varios intentos hasta obtener un modelo que consideraron adecuado para representar las situaciones físicas planteadas, pero conscientes de que este modelo aún podía ser mejorado.

El estudiante 6 no fue muy expresivo al momento de referirse a las actividades de modelación computacional; además, fue muy inactivo en el proceso de modelación expresiva, delegando gran parte de las actividades a su compañero de trabajo. No obstante, es posible evidenciar a partir de sus expresiones en relación con la actividad 1, que este estudiante admite la existencia de otras explicaciones y representaciones para el fenómeno físico abordado, que sin embargo, no tienen el mismo grado de precisión. Expresión que sin duda alguna muestra una evidencia de que este estudiante ha captado la idea de modelo como una representación parcial y no exclusiva.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

En relación con este principio de la TASC, son mostradas en la tabla 7.74 las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial valoradas para el estudiante 6 en lo referente a la incertidumbre del conocimiento.

A partir de la información del *pretest* y la entrevista inicial, puede visualizarse una postura predominantemente tradicionalista en el estudiante 6; pues en lo referente a la relación conocimiento científico-realidad, éste asume las teorías científicas como representaciones exactas y verdaderas de la naturaleza; mientras que al referirse a la evolución del

conocimiento científico, hace referencia a que las teorías científicas no pueden tener errores, que podría nombrárseles posiblemente de incompletas, pero no de erradas.

Tabla 7.74. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...la naturaleza es el único marco de referencia que nosotros tenemos para medir las verdades y las teorías tienen que representar esas verdades que hay en la naturaleza...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad</i> <i>El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...yo creo que una persona, o mejor, un científico que esté haciendo ciencia necesita de otras personas, que eso es muy difícil hacerlo solo, otras personas que estén pensando y trabajando sobre lo mismo...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia no ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas”</i>	<i>“Yo no diría que las teorías científicas pueden tener errores, pienso que no, yo más bien creo que pueden estar incompletas, pero erradas, nunca; y con base en esas ampliarlas o construir otras”.</i>

La tabla 7.75 muestra las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 6 y que se refieren al principio 8 de la TASC.

Podría decirse que uno de los avances más notorios en la concepción de ciencia se da en el estudiante 6; pues su visión en relación con la evolución del conocimiento científico, con la falibilidad de éste y con la relación existente entre conocimiento científico y realidad, se ve no solo reflejada en sus palabras sino en las actitudes que asume frente a las discusiones y a las actividades de aula. Razón por la cual podría decirse que este estudiante logra tener una visión cercana a las concepciones actuales de la epistemología de la ciencia.

Tabla 7.75. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 6 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...por ejemplo, ahora está vigente la teoría de la relatividad de Einstein, pero nadie puede decir que esta teoría explica la realidad de manera absoluta, porque de pronto en unos años nos damos cuenta de que no era tan correcta...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i> <i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“Yo lo que creo es que la ciencia se hace en comunidad; o sea, un físico teórico no puede creer que solo encerrado en su casa va a cambiar el mundo, o va a hacer más de lo que puede hacer en comunidad; no, pues por algo se hacen publicaciones, se comparte con los colegas en todas partes del mundo o en ciertas regiones y... hay gente que tiene ideas distintas, hay gente que ve unas cosas que otras personas no ven”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“Yo creo que la principal tarea de los científicos es construir teorías bien acertadas, y si en esa tarea ven que no se llega allá, entonces miran si la teoría que formularon está errónea o tiene huecos, entonces vuelven y la reformulan; y así tienen que seguir el proceso hasta que logren esa teoría que explique mejor lo que quieren explicar”</i>

Las actividades referentes a la propuesta didáctica y que permiten obtener información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento, así como algunos comentarios al respecto, pueden verse en la tabla 7.76.

Realmente el estudiante 6 no se expresa mucho en relación con las actividades desarrolladas en el curso; sin embargo, en sus pocas intervenciones puede percibirse que existe en él una idea un tanto implícita de que los modelos deben ser permanentemente corregidos con el propósito de obtener un modelo que represente y explique lo mejor posible una situación de interés; lo que sin duda alguna es evidencia de una actitud crítica en relación con el proceso de construcción de conocimiento científico.

Tabla 7.76. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 6.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	En la actividad de discusión del artículo sobre la aerodinámica del balón de fútbol, el estudiante 6 expresó lo siguiente: “...debe ser que ya habían intentado explicar ese fenómeno que sucedió con ese chute de otra manera y como no les había aportado de pronto información tan exacta para entenderlo, por eso les tocó rebuscarse estos conceptos tan poco usuales para acercarse más a la explicación que querían...”
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	Por problemas de salud, el estudiante 6 no estuvo presente en la realización de esta actividad.
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	La participación del estudiante 6 en las actividades de modelación computacional expresivas no es muy activa. Aunque de alguna manera aporta conceptualmente a la construcción de los modelos computacionales, esta actividad fue en su mayoría realizada por su compañero (estudiante 5)

Síntesis del análisis del estudiante 6

Al principio de la intervención, el estudiante 6 mostró una gran apatía a las actividades desarrolladas; sobre todo hacia aquellas relacionadas con la modelación computacional; sin embargo, en el transcurso de la intervención su actitud fue mejorando, siendo cada vez más positiva. Además, no parecía sentirse muy a gusto realizando trabajo en grupo, pero se adaptó fácilmente a éstas actividades considerando que su trabajo no era muy activo y su compañero asumió la mayor parte del trabajo. Este estudiante fue siempre muy escueto al manifestarse sobre la mayoría de las actividades realizadas en la intervención.

Con base en el análisis de la información recolectada para el estudiante 6, puede considerarse en términos globales que éste logró un aprendizaje significativo crítico, que se manifiesta por ejemplo, en un cierto progreso en su habilidad para formular preguntas de interés relacionadas con el campo de la dinámica Newtoniana. Asimismo, en lo referente a los principios 6, 7 y 8 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, que están fuertemente vinculados con la concepción de ciencia, el estudiante 6 muestra evidencias de haber progresado en su visión de ciencia, al contemplar la falibilidad del conocimiento científico y valorar la necesidad de reformular nuevas teorías cuando éstas están incompletas. De la misma manera, pueden tenerse indicios de aprendizaje significativo crítico en relación con el principio 7 de la TASC, al detectar que este estudiante ha captado la idea de modelo como una representación parcial y no exclusiva.

A pesar del progreso general mostrado por este estudiante en las diferentes actividades de la intervención, en cuanto a la utilización del método científico sigue mostrando una postura muy tradicional al considerarlo como el método por excelencia para producir conocimiento científico.

Estudiante 7

Con 29 años de edad, este estudiante estaba laborando en una empresa y se encontraba realizando el séptimo nivel de su carrera, durante la cual había perdido los cursos: Cálculo III, Física III y Física Estadística. A continuación se presenta el análisis de la información aportada por el estudiante 7:

En relación con el principio 1 de la TASC: Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las actividades que aportan evidencias sobre el principio 1 de la TASC y las preguntas formuladas por el estudiante 7 para atender a este principio, son mostradas en la tabla 7.77.

Tabla 7.77. Preguntas formuladas por el estudiante 7 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	¿Por qué causa no se hizo el gol? ¿Qué otros factores pudieron influir a la hora de patear el balón?	----- ¹⁰
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> Considérese un jugador de basketball que lanza un balón, ¿qué factores externos influyen para la trayectoria? ¿En qué dirección se presenta aceleración? <u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Puede ser la tensión menor al peso del objeto? ¿Qué tipo de mecánica puede ser utilizada para conocer la velocidad? <u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u>	Bajo

¹⁰ El estudiante 7 describe las preguntas propuestas por los autores del artículo, por lo que no se hace una valoración de éstas.

	<p>¿Qué tipo de fuerza realiza torque? ¿Es armónico simple este movimiento?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> Considérese una masa atada a un resorte, ¿en qué punto es máxima la energía potencial elástica?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Puede la fuerza realizar un movimiento armónico simple?</p>	
Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Cuál es el ángulo de mayor alcance? ¿Existe aceleración en la dirección horizontal?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> ¿Cuál es la ecuación que relaciona la fuerza con la aceleración? ¿Cómo varía la velocidad?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cómo se mueve el paracaidista si no hay resistencia? ¿Es posible que el paracaidista nunca caiga?</p>	Bajo
Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto	<p><u>Modelo computacional: fricción</u> ¿Qué pasa con la fuerza externa antes y después del movimiento? ¿Qué sucede con el coeficiente de fricción en función del tiempo antes y después del movimiento? ¿Existe un coeficiente de fricción para el que el movimiento sea inminente?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cómo se comporta la velocidad del paracaidista durante su movimiento considerando la resistencia del aire? ¿Si se varía el coeficiente asociado a la resistencia del aire, cómo se ve afectada la velocidad del paracaidista?</p>	Bajo-medio
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto	<p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Cómo se describe el comportamiento del sistema? ¿Cómo es el movimiento del sistema si se desprecia la constante de amortiguamiento?</p>	Medio

En relación con la actividad 1 es importante resaltar que este estudiante hizo la lectura del artículo de manera individual y además envió sus respuestas escritas; pues no asistió a la sesión de clase en la que se realizó la discusión del artículo. Las preguntas formuladas por el estudiante 7 en esta actividad hacen referencia a las preguntas que estaban explícitamente formuladas por los autores del artículo de investigación analizado, por lo que no es posible hacer una valoración de sus preguntas.

Como puede verse en la tabla 7.77, las preguntas que formula el estudiante 7 para la actividad 2 poco aportan a la comprensión de las situaciones físicas planteadas, predominando las preguntas que generan respuestas del tipo sí o no. Asimismo, las preguntas que formula el estudiante 7 en la actividad 3; en general, son preguntas que poco interés pueden generar en los estudiantes, contribuyendo poco a la comprensión de los modelos computacionales explorados.

En la tabla 7.78 son presentadas las respuestas de este estudiante al explorar de manera guiada los modelos computacionales (tiro parabólico y relación fuerza-aceleración) explorados libremente en la actividad 3.

Tabla 7.78. Respuestas del estudiante 7 para las preguntas planteadas en la actividad 6.

Modelos computacionales	Preguntas aportadas por medio del diagrama AVM	Respuestas del estudiante 1
Tiro parabólico	<p>¿Qué sucede con el balón en el punto más alto de la trayectoria?</p> <p>¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?</p> <p>¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?</p>	<p>No tenemos componente vertical de la velocidad.</p> <p>Disminuye en la dirección vertical y en ese punto comienza a aumentar de nuevo. En la horizontal es constante.</p> <p>La aceleración es un vector de magnitud constante.</p>
Relación fuerza-aceleración	<p>¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?</p> <p>¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?</p> <p>¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?</p>	<p>Directamente proporcionales.</p> <p>Inversamente proporcional.</p> <p>Directamente proporcional.</p> <p>La fuerza es directamente proporcional a la velocidad e inversamente proporcional al tiempo.</p>

Las respuestas aportadas por el estudiante 7 para las preguntas de interés formuladas en la actividad 6, no muestran evidencia de una buena comprensión del fenómeno; y en caso de existir tal comprensión poco se refleja en la forma lacónica e irreflexiva de expresar las relaciones entre los conceptos involucrados en el estudio de los fenómenos físicos de interés.

En la actividad 7 relacionada con la modelación computacional de modo exploratorio abierto, el estudiante 7 formula una serie de preguntas para el análisis de los modelos de fricción y paracaídas; y aunque a partir de esta actividad puede decirse que se nota un avance en relación con las preguntas formuladas en actividades anteriores, sus preguntas siguen siendo muy pobres en cuanto no indagan por relaciones importantes entre los conceptos involucrados en los fenómenos analizados. La actividad 9 relacionada con la modelación computacional de modo expresivo abierto fue desarrollada por el estudiante 7 en conjunto con el estudiante 4.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con la imagen de ciencia del estudiante 7 y que se refieren al principio 6 de la TASC, son descritas en la tabla 7.79.

Tabla 7.79. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...yo creo que las teorías que conocemos se acomodan bastante bien al comportamiento de la naturaleza y lo explican a la perfección...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“...lo que pasa es que el orden y la simetría es algo que a nosotros los humanos nos gusta mucho; y entonces cuando se sigue un orden y cuando las cosas van dando frutos creemos que por ahí es que debemos hacer ciencia y hasta ahora eso es lo que ha dado resultados y aparte de ese método no conozco otros métodos, pero como la ciencia necesita comprobarse experimentalmente, entonces creo que el método científico es el método más lógico a seguir...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.”</i>	<i>“...por ejemplo, ahora podemos decir que la mecánica cuántica es una teoría hermosa y perfecta y que difícilmente será derrocada por otra...”</i>

La tabla 7.79 muestra las respuestas del estudiante 7 en el *pretest* y algunos fragmentos de la entrevista inicial relacionados con la imagen de ciencia que tiene este estudiante. Esta

información permite observar un predominio de la concepción tradicionalista de este estudiante en relación con aspectos de la ciencia como: la relación conocimiento científico-realidad, el método científico y la evolución de la ciencia; de tal manera que asume las teorías actuales como una explicación perfecta de la realidad que difícilmente podrá ser destituida; y además considera el método científico como el método más apropiado para hacer ciencia.

La información aportada por el estudiante 7 en el *postest* y en la entrevista final para la imagen de ciencia relacionada con el principio 6 de la TASC, es mostrada en la tabla 7.80.

Tabla 7.80. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...lo que han hecho siempre las teorías científicas que van surgiendo, es retratar la realidad del mundo, plasmándola...”</i>
Método científico	<i>“La eficacia y la objetividad del trabajo científico no se limita a seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías”</i>	<i>“Yo creo que si uno genera nuevas ideas y si uno tiene cosas en la mente, eso tiene que ser el punto de partida para construir conocimiento científico. Yo creo que la creatividad es fundamental, nuevos métodos para resolver cosas, nuevas ideas; y no solamente aquello que observas”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“...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...”</i>

En la tabla 7.80 pueden verse las respuestas del estudiante 7 en el *postest* y en la entrevista final. Esta información permite observar que después del proceso llevado a cabo con las actividades de modelación computacional y de las discusiones en torno a la modelación científica, este estudiante sigue mostrando una posición muy tradicional en lo concerniente

a la relación conocimiento científico-realidad, considerando las teorías científicas como una fotografía de la realidad; lo que sugiere que este estudiante no interiorizó de manera adecuada el concepto de modelo y su relación con los sistemas o fenómenos físicos que representa.

En cuanto a las subcategorías método científico y evolución del conocimiento científico, el estudiante 7 parece tener ahora una visión más cercana a las tendencias actuales en epistemología de la ciencia, concibiendo la creatividad como fundamental en el proceso de construcción de conocimiento científico y refiriéndose a las ideas y conocimientos previos como el punto de partida para hacer ciencia; asimismo, considera el conocimiento científico como un conocimiento temporal, asumiéndolo de manera implícita como un conocimiento susceptible de errores e imperfecciones.

A continuación son descritas las actividades de modelación computacional desarrolladas por el estudiante 7 y que aportan información relevante sobre el principio 6 de la TASC, en términos de la detección de errores y la superación permanente de éstos (tabla 7.81).

Tabla 7.81. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 7.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	<p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u></p> <p>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></p> <p>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>
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>

En la actividad 8 correspondiente a la detección del error en la exploración de los modelos computacionales haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 7 manifestó su gran

asombro cuando se inició la discusión acerca de los errores contenidos en los modelos computacionales, afirmando que éstos funcionaban exactamente como se esperaba que lo hicieran, representando adecuadamente los fenómenos de interés; y que por esa razón no se había percatado de la existencia de errores.

En relación con la actividad 9 concerniente a la modelación computacional de modo expresivo abierto haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 7 diseñó un modelo computacional para el péndulo amortiguado, en conjunto con el estudiante 4. Este estudiante se mostró muy 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 permitió contribuir al desarrollo de esta actividad.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con el principio 7 de la TASC y la información obtenida para el estudiante 7, pueden verse en la tabla 7.82.

En la categoría que hace referencia a la observación en la construcción de conocimiento científico, el estudiante 7 muestra una postura eminentemente tradicionalista, haciendo una defensa del método científico y de la observación como primer paso constituyente de dicho método. Asimismo, se refiere a la posibilidad de explicar fenómenos físicos de alta complejidad, partiendo de la observación y sin necesidad de acudir a ideas o teorías previas que aporten explicaciones sobre éstos.

En relación con la subcategoría la ciencia como construcción humana, en las respuestas al *pretest* se deja entrever una postura más actualizada de este estudiante; sin embargo, al ser entrevistado al inicio de la intervención, puede notarse que tiene una concepción altamente elitista de la ciencia, considerándola exclusiva de genios que trabajan solos y completamente aislados en un espacio donde no deben estar expuestos a influencias sociales.

Tabla 7.82. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“...uno se puede encontrar con fenómenos muy complejos que pueden ser explicados sin necesidad de unos conceptos previos...”</i></p> <p><i>“...pero como la ciencia necesita comprobarse experimentalmente, entonces creo que el método científico es el método más lógico a seguir; y como todos sabemos, este método empieza necesariamente por la observación de la naturaleza ...”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“...es que un genio, un loco de esos grandes físicos que conocemos se encierra en su laboratorio y saca lo que sea, formula esas grandes y hermosas teorías que ahora tenemos...”</i></p>

La tabla 7.83 describen las subcategorías del *postest* y la entrevista final relacionadas con la imagen de ciencia que tiene el estudiante 7 y que se refieren al principio 7 de la TASC.

De acuerdo con las respuestas al *postest*, el estudiante 7 sigue mostrando una visión muy clásica en relación con el papel de la observación en la construcción de conocimiento científico; sin embargo, en la entrevista final este estudiante hace referencia a la existencia de ideas previas y le otorga un alto grado de importancia a la creatividad en la construcción de conocimiento científico; haciendo énfasis nuevamente en ella al referirse a la ciencia como construcción humana. En ese mismo sentido, considera que la imaginación y la creatividad posibilitan el hecho de que varias personas aporten otras explicaciones para una misma situación de interés.

Tabla 7.83. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La observación en la construcción de conocimiento científico	<p><i>“El observador científico no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el problema investigado”</i></p> <p><i>“Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia”</i></p>	<p><i>“Yo creo que si uno genera nuevas ideas y si uno tiene cosas en la mente, eso tiene que ser el punto de partida para construir conocimiento científico. Yo creo que la creatividad es fundamental, nuevos métodos para resolver cosas, nuevas ideas; y no solamente aquello que observas”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i></p> <p><i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i></p> <p><i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i></p>	<p><i>“...yo creo que las personas del corriente, los parroquianos también pueden hacer ciencia de igual manera que la hace un científico...”</i></p> <p><i>“...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...”</i></p>

También es importante resaltar que el estudiante 7 ya no tiene una concepción tan elitista de la ciencia; y de manera un tanto escueta considera que la ciencia es una actividad que está al alcance de cualquier persona.

Las actividades referentes a la propuesta didáctica y que se relacionan con el principio 7 de la TASC, así como algunos comentarios al respecto del desempeño del estudiante 7 en dichas actividades, pueden observarse en la tabla 7.84.

El estudiante 7 no estuvo presente en la actividad 1 referente a la lectura y discusión del artículo sobre la aerodinámica del balón de fútbol; y en relación con la actividad 9 es posible deducir de manera muy implícita evidencias de que este estudiante ha comprendido la idea de modelo como representación esquemática parcial y no exclusiva, aunque no estuviera de acuerdo con el diseño de otras representaciones para la situación física que

estaba siendo abordada. Pues este estudiante se mostraba reacio a cada modificación que su compañero (estudiante 4) pretendía hacer al modelo construido inicialmente.

Tabla 7.84. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 7.

Actividades asociadas al principio 7 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 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 7 realiza la actividad 9 en conjunto con el estudiante 4. En esta actividad diseñaron un modelo computacional para el péndulo amortiguado.</p> <p>Fueron obtenidas varias versiones del modelo computacional construido por estos estudiantes. Sin embargo, el estudiante 7 acordaba con cada una de las versiones, considerando innecesario hacer modificaciones en ellas.</p> <p>El estudiante 7 no se pronunció en relación con esta actividad de modelación.</p>

Esta actitud puede fácilmente atribuirse a su poca familiaridad con las actividades computacionales y por supuesto, a las dificultades conceptuales que mostró tener durante todas las actividades desarrolladas a lo largo de la intervención.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de incertidumbre del conocimiento.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial y la información del estudiante 7 relacionada con el principio 8 de la TASC se observan en la tabla 7.85.

En cuanto a las subcategorías que hacen referencia al principio 8 de la TASC (principio de incertidumbre), en el estudiante 8 se observa un predominio de una posición puramente tradicionalista en relación con la ciencia y que se manifiesta en la visión que tiene sobre la relación conocimiento científico-realidad y de la evolución del conocimiento científico; de tal manera que asume las teorías científicas actuales como explicaciones infalibles de la realidad, que difícilmente pueden ser destituidas gracias a su perfección.

Tabla 7.85. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...yo creo que las teorías que conocemos se acomodan bastante bien al comportamiento de la naturaleza y lo explican a la perfección...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i> <i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i> <i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...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...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La Ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas”</i>	<i>“...por ejemplo, ahora podemos decir que la mecánica cuántica es una teoría hermosa y perfecta y que difícilmente será derrocada por otra teoría...”</i>

En cuanto a la ciencia como construcción humana, las respuestas al *pretest* permiten visualizar una postura más constructivista; sin embargo, en la entrevista realizada al inicio de la intervención, argumentada que gracias a la rigurosidad con la que se construye el conocimiento científico, no es posible creer que puedan cometerse errores en ese proceso de construcción.

En la tabla 7.86 se describen las subcategorías del *posttest* y la entrevista final relacionadas con el principio 8 de la TASC para el estudiante 7.

Mientras que para la subcategoría denominada relación conocimiento científico-realidad, la respuesta del estudiante 7 en el *pretest* sugiere la superación de la visión de ciencia como un reflejo cierto de la realidad, el fragmento tomado de la entrevista final referente a la misma subcategoría pone de manifiesto la concepción de las teorías científicas como retratos exactos de la realidad. En este mismo fragmento y de manera implícita se puede

percibir que el error es contemplado por este estudiante como un elemento constitutivo de la ciencia, poniendo en evidencia la incertidumbre del conocimiento científico.

Tabla 7.86. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 7 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de la imagen de ciencia referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso, no son un reflejo cierto de la realidad”</i>	<i>“...es que yo creo que el objetivo final o a donde quiere llegar una teoría científica, pues es a mostrar la realidad tal y como es; y por eso es que los científicos se tienen que esforzar tanto y hacer tantos intentos hasta lograr ese objetivo...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad”</i> <i>“El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales”</i> <i>“El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos”</i>	<i>“...yo creo que las personas del corriente, los parroquianos 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 muchas muchas veces, pero también lo pueden hacer...”</i>
Evolución del conocimiento científico	<i>“La evolución de la ciencia históricamente no se da mediante la acumulación sucesiva de teorías verdaderas”</i>	<i>“...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...”</i>

En relación con las subcategorías: la ciencia como construcción humana y la evolución del conocimiento científico, las concepciones de este estudiante están más cercanas de las concepciones actuales de la epistemología de la ciencia, de manera que se hace explícita la concepción de ciencia como una construcción humana provisional, temporal y susceptible de errores y confusiones.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 8 de la TASC relacionado con la incertidumbre del conocimiento; y algunos comentarios sobre la actitud del estudiante 7 en relación con dichas actividades, pueden observarse en la tabla 7.87.

Tabla 7.87. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 7.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura y discusión de artículo	El estudiante 7 no estuvo presente en la actividad de discusión del artículo.
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	El estudiante 7 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.
Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto con diagrama AVM	En la actividad 9, el estudiante 7 en compañía del estudiante 4 construyeron varias versiones para el modelo computacional que representaría la situación física propuesta; y este estudiante se mostraba conforme con cada una de las versiones obtenidas, 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...”

Por lo poco que se expresa el estudiante 7 en relación con las actividades de intervención, puede percibirse aunque de manera un tanto implícita, la consideración de la idea de multirepresentación y de la posibilidad de que un modelo pueda ser constantemente perfeccionado; de hecho, parece asumir el mejoramiento de los modelos como un acto completamente natural; aunque es evidente que esta no es su pretensión con las actividades de modelación computacional de modo expresivo.

Síntesis del análisis del estudiante 7

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. Esta actitud se evidenció particularmente en las actividades de modelación computacional de modo expresivo abierto.

A partir del análisis de los resultados obtenidos para el estudiante 7, es posible afirmar que éste obtuvo un cierto progreso tanto en la habilidad para formular preguntas como en la visión de ciencia relacionada con los principios 6, 7 y 8 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico. Sin embargo, su avance en la formulación de preguntas de interés sobre fenómenos de la dinámica Newtoniana, no fue muy notorio; manteniéndose a lo largo de la intervención entre el nivel bajo y medio en su capacidad para formular preguntas.

En relación con el progreso en su visión de ciencia, éste se manifiesta haciendo 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.

En relación con el principio 7 de la TASC es importante destacar que: el hecho de que este estudiante conviniera con cada una de las versiones del modelo construido en la actividad de creación, es 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 ese mismo sentido, considera que la imaginación y la creatividad son elementos que posibilitan el hecho de que varias personas aporten otras explicaciones para una misma situación de interés.

Sin embargo, en la entrevista final continúa poniendo de manifiesto la concepción de las teorías científicas como retratos exactos de la realidad; lo que sugiere que este estudiante no interiorizó de manera adecuada el concepto de modelo y su relación con los sistemas o fenómenos físicos que representa.

7.3 Síntesis del Estudio II

A partir de la información aportada por los estudiantes para cada uno de los principios u objetivos orientadores de este estudio; y teniendo en cuenta la triangulación de los diferentes instrumentos de recolección de datos, se presenta una breve síntesis de los resultados obtenidos en relación con cada principio de la TASC atendido en el estudio.

Sobre el principio del cuestionamiento, o principio 1 de la TASC que se refiere al hecho de enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Para este principio orientador del estudio que tuvo como propósito valorar el progreso de los estudiantes en la habilidad para formular preguntas propiciada por el uso de la modelación computacional con diagrama AVM; se encuentra que todos los estudiantes llegaron a un nivel medio o medio-alto, lo que puede ser considerado bueno; sobre todo si se parte del hecho de que, de acuerdo con la escala cualitativa definida para valorar el nivel de los estudiantes en la formulación de preguntas, todos se encontraban al inicio de la intervención en un nivel bajo en su capacidad para formular preguntas de interés sobre situaciones problema referidas al campo conceptual de la dinámica Newtoniana. Preguntas que generaban respuestas de tipo numérico y respuestas del tipo sí o no; y que difícilmente contribuían a la comprensión de los sistemas físicos estudiados. Al final de la intervención, se obtiene que los estudiantes 1, 2, 3 y 5, se ubican en un nivel medio-alto en la habilidad para formular preguntas; pues ahora sus preguntas indagan más por relaciones entre conceptos, exigiendo una mayor comprensión de los conceptos involucrados en el análisis de una determinada situación problema. Sin embargo, los estudiantes 4, 6 y 7, se posicionaron en el nivel medio, mostrando algunas dificultades en la actividad de formular preguntas, entre las que sobresale el predominio de preguntas que generan respuestas del tipo sí o no.

Sobre los principios epistemológicos, donde se agrupan los principios 6, 7 y 8 de la TASC, referidos al aprendizaje por error, al desaprendizaje y la incertidumbre del conocimiento; y que para ser atendidos en el contexto de la modelación científica (y específicamente de la modelación computacional con dAVM) son nombrados como principios orientadores relativos a: la valoración crítica de los modelos, la concepción de modelo y la incertidumbre del conocimiento, respectivamente.

- En relación con **la valoración crítica de los modelos**, los estudiantes 1, 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 $F=-mg-b(v/|v|)v^2$. Por otro lado, los estudiantes 2, 3 y 6 hicieron una valoración parcial de los modelos proporcionados; los estudiantes 2 y 3 no realizaron un análisis profundo de los modelos, validándolos sin detectar los errores en ellos; y el estudiante 6 no estuvo presente en la actividad de detección de errores. Sin embargo, estos tres estudiantes mostraron una actitud más crítica en relación con la construcción de modelos, modificando y corrigiendo de modo sistemático los errores que se iban generando en este proceso, hasta lograr modelos más satisfactorios para representar las situaciones problema planteadas. 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**, todos los estudiantes con excepción del estudiante 7, lograron una concepción adecuada; 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. Al estudiante 7 le atribuimos una concepción parcial de modelo, considerando que aunque en las actividades de la propuesta didáctica deja entrever la idea de modelo como representación esquemática parcial y no exclusiva al concebir la existencia de varios modelos para representar un mismo fenómeno o sistema físico; en la entrevista final, continúa poniendo de manifiesto la concepción de las teorías científicas como retratos exactos de la realidad; lo que sugiere que este estudiante no interiorizó de manera adecuada el concepto de modelo y su relación con los sistemas o fenómenos físicos que representa.

- En relación con **la incertidumbre del conocimiento**, se da el mismo caso que en el principio anterior; y es que todos los estudiantes, excepto el estudiante 7, muestran indicios de haber adquirido una visión constructivista en relación con la concepción del conocimiento científico, su construcción y su evolución. Pues éstos, 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 parcial en relación con la incertidumbre del conocimiento.

Una breve síntesis de la valoración que se hace de los estudiantes para cada uno de los objetivos orientadores del estudio estrechamente relacionados con los principios de la TASC atendidos en este estudio, se muestra en la tabla 7.88. La construcción de esta tabla está basada en el esquema de valoración de los objetivos del estudio mostrado en la figura 7.4.

Tabla 7.88. Valoración de los principios de la TASC por parte de los estudiantes.

Principios de la TASC				
Estudiante	Principio del cuestionamiento	Principios epistemológicos		
		Valoración crítica de los modelos	Concepción de modelo	Incertidumbre del conocimiento
1	Nivel medio-alto	Valoración adecuada	Concepción adecuada	Visión constructivista
2	Nivel medio-alto	Valoración parcial	Concepción adecuada	Visión constructivista
3	Nivel medio-alto	Valoración parcial	Concepción adecuada	Visión constructivista
4	Nivel medio	Valoración adecuada	Concepción adecuada	Visión constructivista
5	Nivel medio-alto	Valoración adecuada	Concepción adecuada	Visión constructivista
6	Nivel medio	Valoración parcial	Concepción adecuada	Visión constructivista
7	Nivel medio	Subvaloración	Concepción parcial	Visión parcial

A partir de los resultados altamente satisfactorios obtenidos en este estudio, decidimos formular un tercer estudio en el que fueran atendidos todos los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, clasificados en principios disciplinares, epistemológicos y didácticos. En el siguiente capítulo es descrito el tercer y último estudio que conforma esta tesis.

Capítulo 8

ESTUDIO III

En este capítulo se presenta el tercer y último estudio que conforma esta tesis. Inicialmente son descritos los objetivos generales, los objetivos específicos y el contexto; detallando posteriormente las fases del estudio y el análisis y discusión de resultados, en donde se definen los criterios para el análisis de las diferentes actividades y se presenta el análisis de caso objeto de estudio.

Objetivos

Objetivos generales

- Valorar la posibilidad de atender los diferentes principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico referidos tanto al aprendizaje como a la enseñanza, a partir de las actividades de modelación computacional con diagrama AVM.
- Favorecer en los estudiantes la formación de visiones epistemológicas más acordes con las concepciones actuales sobre el conocimiento científico y la modelación científica.

- Valorar la influencia del enfoque didáctico propuesto en las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes a partir del diseño de modelos para ser implementados como materiales de enseñanza.

Objetivos específicos u orientadores:

Considerando que en este tercer y último estudio que compone esta investigación fueron atendidos todos los principios de la TASC, para cada principio se definió un objetivo específico u orientador.

- **Asociado al principio 1:** valorar el progreso de los estudiantes en la habilidad para formular preguntas, propiciado por el uso de la modelación computacional con diagrama AVM.
- **Asociado al principio 2:** valorar el uso de diversos materiales de enseñanza contemplados por los estudiantes en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.
- **Asociado al principio 3:** determinar el grado de coherencia observada en la relación percepción-representación a partir de los modelos construidos por los estudiantes y de las reflexiones de éstos en torno al papel que juega la percepción en la modelación.
- **Asociado al principio 4:** identificar y describir el progreso de los estudiantes en la comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados relacionados con el lenguaje propio de la modelación computacional y el diagrama AVM, que les permite percibir el mundo de una manera diferente.
- **Asociado al principio 5:** estimar la visión que tienen los estudiantes sobre la relación existente entre modelo y realidad y la evolución de ésta a lo largo de la intervención.

- **Asociado al principio 6:** buscar evidencias en los estudiantes de una valoración crítica de los modelos computacionales que les permita la detección de errores como estrategia para la validación y perfeccionamiento de dichos modelos.
- **Asociado al principio 7:** 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.
- **Asociado al principio 8:** determinar la contribución de actividades de enseñanza que involucran elementos del proceso de 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.
- **Asociado al principio 9:** valorar el uso de diversas estrategias instruccionales consideradas por los estudiantes en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.

Contexto

Así como en el estudio II, para el tercer y último estudio realizado en el marco de esta investigación, se llevó a cabo un estudio de casos colectivo. Aquí fueron analizados tres casos, considerados más representativos y altamente pertinentes al proporcionar la información necesaria que permitiera la comprensión de la situación de interés.

Este estudio se llevó a cabo durante el segundo semestre de 2009 con un grupo de siete estudiantes (una mujer y seis hombres) integrantes del curso Didáctica para Físicos del programa de Física de la Universidad de Antioquia. Estos estudiantes se encontraban entre el sexto y octavo nivel de la carrera; y para ese entonces habían aprobado todas las asignaturas de Física clásica del programa; y la gran mayoría de ellos, había cursado también algunos cursos de Física moderna.

8.1 Fases del estudio

Al igual que los dos estudios anteriores, el tercer y último estudio que conforma esta tesis fue desarrollado en tres etapas secuenciales: recolección de la información inicial, propuesta didáctica y recolección de la información final. La tabla 8.1 muestra estas etapas con las actividades correspondientes a cada una, los instrumentos de recolección de datos utilizados, los objetivos y la duración.

Sin embargo, es importante aclarar que las actividades dos a la nueve que conforman la propuesta didáctica de este estudio, son exactamente las mismas actividades -dos a la nueve- implementadas en el estudio II (tabla 7.1), con los mismos objetivos y la misma duración. Lo anterior, teniendo en cuenta que los objetivos de los estudios II y III relacionados con el principio del cuestionamiento y los principios epistemológicos de la TASC, son comunes a los dos estudios. Por esta razón, estas actividades no son incluidas en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Actividades e instrumentos de recolección de datos implementados en el estudio III¹¹.

Etapas	Actividades e instrumentos de recolección de datos	Objetivo	Duración
Recolección de la información inicial	<i>Test Force Concept Inventory (FCI)</i>	Conocer el dominio de los estudiantes acerca de los principales conceptos de la dinámica Newtoniana.	2 horas
	<i>Pretest</i> sobre imagen de ciencia, modelos, modelación científica y enseñanza de las ciencias.	Identificar las ideas de los estudiantes sobre la ciencia y su enseñanza, los modelos y la modelación científica.	40 minutos
	Entrevista inicial semi-estructurada.	Complementar la información obtenida en el <i>pretest</i> .	50 minutos
Propuesta didáctica	1. Lectura y discusión del artículo: "A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física", de Brandão, Araujo y Veit (2008).	Familiarizar a los estudiantes con elementos del proceso de modelación científica y con la manera de abordar la enseñanza de la Física a partir de modelos.	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 una adecuada 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 sobre los principios de la TASC y su implementación en el diseño de actividades y materiales de enseñanza.	Favorecer la comprensión de los diferentes principios de la TASC y su utilización en el diseño de actividades y materiales de enseñanza.	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, herramientas 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>Postest</i> sobre imagen de ciencia, modelos, modelación científica y enseñanza de las ciencias.	Valorar el progreso de los estudiantes en sus concepciones de ciencia y de modelación científica.	40 minutos
	Entrevista final semi-estructurada.	Identificar la evolución en las concepciones de los estudiantes sobre ciencia y modelación científica.	50 minutos

¹¹ Las actividades 2 a la 9 de este estudio son idénticas a las del estudio II presentadas en la tabla 7.1.

8.1.1 Recolección de la información inicial

Aplicación del test FCI: los estudiantes participantes en el estudio III tenían características comunes con los participantes en el estudio II; y con éstos también fue aplicado el test FCI al inicio de la intervención con el fin de conocer el dominio que tenían del concepto de fuerza -necesario para la comprensión del campo de la dinámica Newtoniana y en el que se enmarcarían las diferentes actividades de modelación computacional-.

Aplicación de pretest sobre imagen de ciencia, modelos y modelación científica; y enseñanza de las ciencias: al inicio de este estudio fue utilizado como *pretest* un cuestionario que pretendía indagar por las concepciones de los estudiantes en tres categorías a saber: imagen de ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física; y enseñanza de las ciencias (anexo H). Dicho cuestionario surgió como una adaptación del cuestionario sobre ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física (Brandão, Araujo, Veit e Silveira, 2011); y del cuestionario INPECIP o Inventario de Creencias Pedagógicas y Científicas de Profesores (Porlán, 1989; Porlán, Rivero y Martín, 1997), que también sirvió de base para el *pretest* y *postest* del estudio II; y de donde se toman los ítems relacionados con la categoría enseñanza de las ciencias.

La aplicación de este cuestionario como *pretest* tenía como principal propósito conocer las concepciones de los estudiantes en relación con la ciencia, los modelos y la modelación científica; aportando información altamente valiosa para establecer una idea de la comprensión de los estudiantes sobre los tópicos que serían abordados en este estudio, así como para definir/redefinir algunas de las actividades de la propuesta didáctica.

Entrevista inicial semi-estructurada: de igual manera que en el estudio II, en una tercera sesión del estudio III y con una duración de seis horas (aproximadamente 50 minutos con cada estudiante) fue realizada una entrevista inicial, que atendiendo al protocolo de entrevista semi-estructurada, pretendía indagar a cada uno de los estudiantes sujetos de la investigación por concepciones relacionadas con la imagen de ciencia, de modelos y modelación científica; y de enseñanza de las ciencias. Este tipo de entrevista generó un diálogo que se desarrolló con mucha naturalidad, en el que cada estudiante expresó libremente sus opiniones en relación con los asuntos indagados.

El propósito de esta entrevista era conocer esencialmente las visiones de los estudiantes en relación con los modelos y la modelación científica como eje central de este estudio. La entrevista permitió además, complementar la información aportada por los estudiantes en el *pretest* aplicado en este mismo estudio.

8.1.2 Propuesta Didáctica

La metodología de enseñanza o propuesta didáctica que orientó el tercer estudio de esta tesis aparece completamente descrita en la sección 5.2 de este texto; por lo que en este capítulo nos concentraremos en el análisis de resultados obtenidos con la implementación de dicha propuesta.

8.1.3 Recolección de la información final

Aplicación de *postest* sobre imagen de ciencia, modelos y modelación científica; y enseñanza de las ciencias: posterior a la implementación de la propuesta didáctica fue suministrado nuevamente a los estudiantes el cuestionario que indagaba por la imagen de ciencia, los modelos y la modelación científica en el contexto de la Física; y la enseñanza de las ciencias. Ahora, usado como *postest* para valorar el progreso de los estudiantes fundamentalmente en la comprensión de aspectos relacionados con los modelos y la modelación científica; que pudiera ser atribuido al desarrollo de la propuesta didáctica.

Entrevista final semi-estructurada: esta entrevista tuvo lugar en la última sesión del curso, donde cada estudiante fue entrevistado de manera individual durante aproximadamente 50 minutos. En esta entrevista que más bien fue un diálogo que se dio con una gran naturalidad y espontaneidad, se pretendía indagar por la evolución de las concepciones iniciales de los estudiantes en relación con la visión de ciencia, los modelos, la modelación científica y la enseñanza de las ciencias; propiciadas por las actividades de modelación computacional y demás actividades que conformaron la propuesta didáctica. Asimismo, esta entrevista permitió una mejor comprensión de las respuestas aportadas por los estudiantes en el *postest* previamente suministrado.

8.2 Análisis y discusión de resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el estudio III y su respectivo análisis con base en la valoración de cada objetivo específico asociado con los principios de la TASC. Se inicia mostrando los resultados del *test FCI* que sirvieron como punto de partida para la definición/redefinición de algunas de las actividades de la propuesta didáctica implementada en este estudio. Seguidamente se presenta el análisis de los demás datos colectados haciendo una síntesis interpretativa de la información obtenida para cada uno de los casos analizados.

Al inicio de este estudio fue aplicado el cuestionario sobre el concepto de fuerza (*test FCI*) como una herramienta de diagnóstico, con el propósito de conocer el dominio que tenían los estudiantes acerca de la mecánica Newtoniana como campo de conocimiento en el que se enmarcaron las diferentes actividades desarrolladas en la propuesta didáctica implementada en este estudio. En la tabla 8.2 se muestra una síntesis de los resultados del desempeño global de los estudiantes en este *test*, resaltando que su aplicación no tenía como propósito hacer inferencias estadísticas.

Tabla 8.2. Desempeño de los estudiantes en el cuestionario sobre el concepto de fuerza o *test FCI*.

Estudiante	Número de respuestas correctas	Porcentaje de respuestas correctas	Media del porcentaje de respuestas correctas	Desviación estándar	Coefficiente de variación
1	16	53.33%	71.42%	45.28%	63.39%
2	21	70.00%			
3	16	53.33%			
4	17	56.66%			
5	29	96.66%			
6	17	56.66%			
7	25	83.33%			

El desempeño global sugiere que este grupo de estudiantes tiene un dominio aceptable de la mecánica Newtoniana, de acuerdo con el nivel mínimo de 60% planteado por Hestenes y Halloun (1995a); sin embargo, si observamos el desempeño de los estudiantes a nivel individual, podemos percibir que los estudiantes 1, 3, 4 y 6, ni siquiera se ubican en ese nivel mínimo; mientras que el estudiante 5 es el único que sobrepasa el 85% de respuestas correctas al *test FCI*; límite a partir del cual Hestenes y Halloun (1995a) consideran que se

da un nivel de conocimientos y de comprensión comparable a la concepción Newtoniana - *Mastery threshold*-.

El alto valor del coeficiente de variación muestra que este grupo no es homogéneo en relación con el dominio que tienen los estudiantes sobre algunos de los principales conceptos de la mecánica Newtoniana; sin embargo, el grupo fue expuesto a una serie de actividades de modelación computacional de modo expresivo o de creación y los principales resultados son expuestos a lo largo de este capítulo.

De otro lado, los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico atendidos en este estudio, los objetivos específicos relacionados con estos principios y las actividades e instrumentos de recolección de datos que permiten la valoración de cada uno de los objetivos, son mostrados en la tabla 8.3.

Las actividades 4, 5 y 11 correspondientes a la propuesta didáctica no son contempladas para valorar los objetivos de este estudio; pues ellas se refirieron a las exposiciones e instrucciones del profesor en relación con los instrumentos a ser utilizados en las demás actividades que constituyen la propuesta.

En este estudio se hace una valoración de los nueve principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico clasificados en tres categorías: principios disciplinares (1, 3 y 4), principios epistemológicos (5, 6, 7 y 8) y principios didácticos (2 y 9). Principios que al ser atendidos en el contexto de la modelación científica (y específicamente de la modelación computacional con diagrama AVM), denominamos principios orientadores y son considerados para la valoración de los objetivos específicos del estudio -asociados a los principios de la TASC-. En la tabla 8.4 se muestran las tres categorías, los principios de la TASC relativos a cada categoría y los principios orientadores asociados a cada principio de la TASC.

Tabla 8.3. Principios de la TASC, objetivos relacionados y actividades e instrumentos de recolección de datos que permiten valorar cada principio.

Principio de la TASC	Objetivos relacionados	Actividades correspondientes
Principio 1: principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas	Valorar el progreso de los estudiantes en la habilidad para formular preguntas, propiciado por el uso de la modelación computacional con diagrama AVM.	Actividades de la propuesta didáctica: 2, 3, 7, 9.
Principio 2: principio de la diversidad de materiales educativos	Valorar el uso de diversos materiales de enseñanza contemplados por los estudiantes en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.	Actividades de la propuesta didáctica: 14, 15. <i>Pretest y postest</i> Entrevista inicial y final
Principio 3: principio del aprendizaje como perceptor/representador	Determinar el grado de coherencia observada en la relación percepción-representación a partir de los modelos construidos por los estudiantes y de las reflexiones de éstos en torno al papel que juega la percepción en la modelación.	Actividades de la propuesta didáctica: 9, 10. Entrevista inicial y final
Principio 4: principio del conocimiento como lenguaje	Identificar y describir el progreso de los estudiantes en la comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados relacionados con el lenguaje propio de la modelación computacional y el diagrama AVM, que les permite percibir el mundo de una manera diferente.	Actividades de la propuesta didáctica: 1, 6. Entrevista final
Principio 5: principio de la conciencia semántica	Estimar la visión que tienen los estudiantes sobre la relación existente entre modelo y realidad y la evolución de ésta a lo largo de la intervención.	Actividades de la propuesta didáctica: 1, 10. <i>Pretest y postest</i> Entrevista inicial y final
Principio 6: principio del aprendizaje por error	Buscar evidencias en los estudiantes de una valoración crítica de los modelos computacionales que les permita la detección de errores como estrategia para la validación y perfeccionamiento de dichos modelos.	Actividades de la propuesta didáctica: 8, 9, 10. <i>Pretest y postest</i> Entrevista inicial y final
Principio 7: 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.	Actividades de la propuesta didáctica: 9, 13. <i>Pretest y postest</i> Entrevista inicial y final
Principio 8: principio de la incertidumbre del conocimiento	Determinar la contribución de actividades de enseñanza que involucran elementos del proceso de 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.	Actividades de la propuesta didáctica: 8, 9. <i>Pretest y postest</i> Entrevista inicial y final
Principio 9: principio de la diversidad de estrategias instruccionales	Valorar el uso de diversas estrategias instruccionales consideradas por los estudiantes en el diseño de actividades didácticas para sus futuros estudiantes.	Actividades de la propuesta didáctica: 10, 13, 14, 15. <i>Pretest y postest</i> Entrevista inicial y final

Tabla 8.4. Principios orientadores asociados a los principios de la TASC.

Categorías	Principios de la TASC	Principios orientadores asociados
Principios disciplinares	Principio 1. De la interacción social y del cuestionamiento Principio 3. Del aprendiz como perceptor/representador Principio 4. Del conocimiento como lenguaje	Habilidad en la formulación de preguntas Relación percepción-representación Comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados
Principios epistemológicos	Principio 5. De la conciencia semántica Principio 6. Del aprendizaje por error Principio 7. Del desaprendizaje Principio 8. De la incertidumbre del conocimiento	Relación modelo-realidad Valoración crítica de los modelos Concepción de modelo Incertidumbre del conocimiento
Principios didácticos	Principio 2. De la diversidad de materiales educativos Principio 9. De la diversidad de estrategias de enseñanza	Diversidad de materiales educativos Diversidad de estrategias de enseñanza

Las tres categorías en que se clasifican los nueve principios de la TASC, los principios orientadores o variables medidas y el nivel definido para la valoración de cada principio se muestran en el esquema de la figura 8.1.

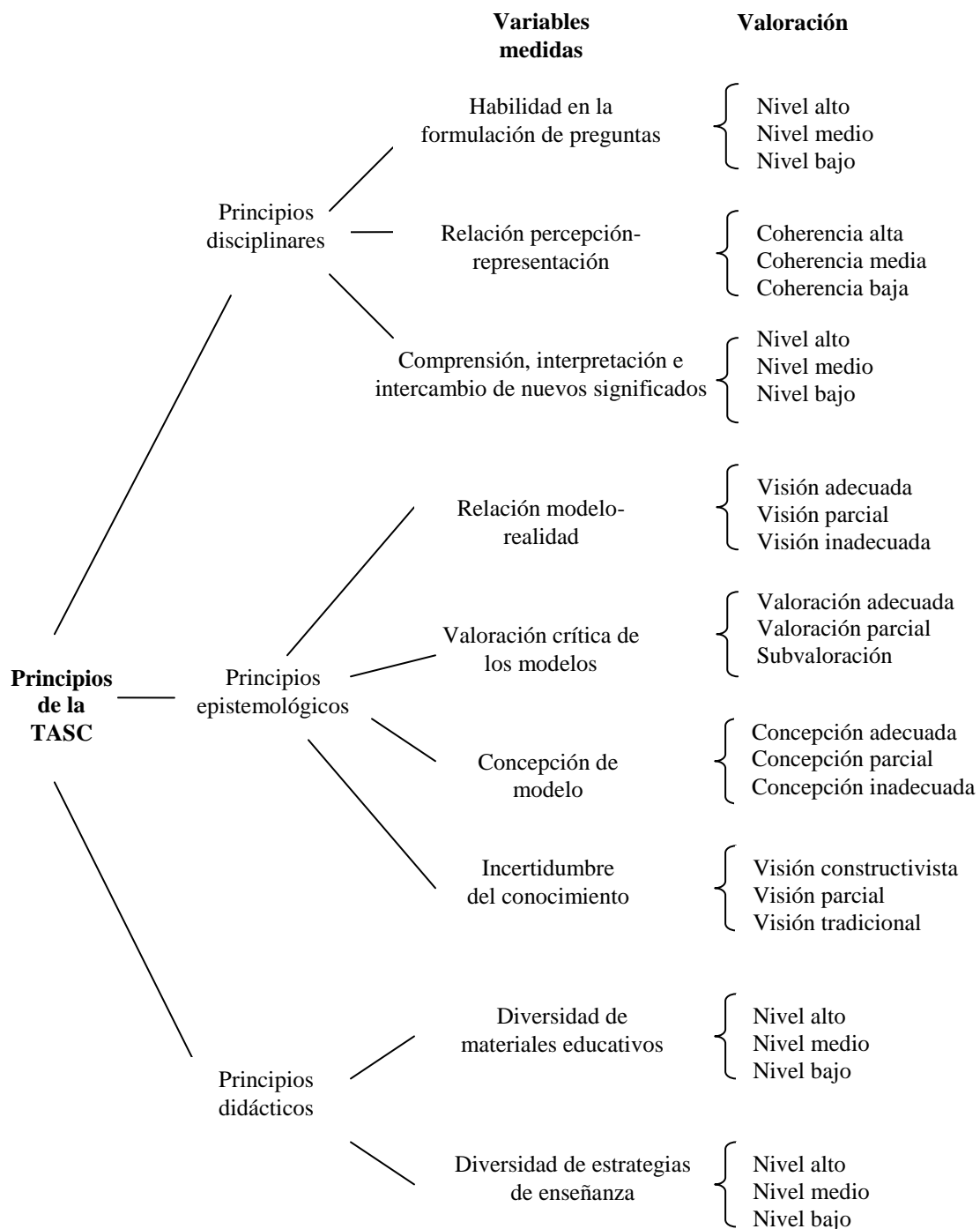


Figura 8.1. Esquema de valoración de los objetivos específicos del estudio III.

8.2.1 Definición de criterios para el análisis de actividades

Criterios para el análisis del *pretest* y *posttest*:

La aplicación del *pretest* y *posttest* en el ámbito de este estudio tenía como propósito conocer las concepciones sobre ciencia, enseñanza de las ciencias, modelos y modelación

científica, de los estudiantes en una etapa previa a la intervención y la evolución de dichas concepciones después de la implementación de la propuesta didáctica.

El cuestionario está constituido por tres grandes categorías con sus respectivas preguntas (anexo F): imagen de ciencia (13 preguntas), concepciones sobre modelos y modelación científica en el contexto de la Física (11 preguntas) y; concepciones acerca de la enseñanza de las ciencias (10 preguntas). Este es un *test* tipo Likert, en el que los estudiantes debían marcar su grado de acuerdo o desacuerdo con cada una de las afirmaciones dadas.

De acuerdo con Hernández, Fernández-Collado y Baptista (2006, p. 347), el puntaje mínimo para la categoría imagen de ciencia sería 13 y el máximo 65. El puntaje mínimo para la categoría modelos y modelación científica sería 11 y el máximo 55. Y el puntaje mínimo para la categoría enseñanza de las ciencias sería 10 y el máximo de 50.

Para el análisis de este *test* se considera el promedio resultante en la escala mediante la fórmula PT/NT (PT: puntuación total y NT: número de ítems o afirmaciones). Para calcular la puntuación de cada estudiante en el *test*, se atribuye a los cinco niveles de la escala de concordancia (totalmente de acuerdo, de acuerdo, indeciso o sin opinión, en desacuerdo, totalmente en desacuerdo) un puntaje de 5 a 1 si el ítem del *test* contiene una afirmación coherente con una visión adecuada de ciencia, modelos y modelación científica o enseñanza de las ciencias (ítems: 1.3, 1.5, 1.8, 1.9, 1.12, 2.1, 2.4, 2.6, 2.7, 2.9, 2.11, 3.2, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 3.9, 3.10). El puntaje es invertido (de 1 a 5) para valorar los demás ítems o afirmaciones que no son compatibles con una visión contemporánea de ciencia o de enseñanza de la ciencia (ítems: 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.10, 1.11, 1.13, 2.2, 2.3, 2.5, 2.8, 2.10, 3.1, 3.3, 3.7).

Los puntajes obtenidos en el *pretest* y *postest* por cada estudiante para las categorías: imagen de ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física; y enseñanza de las ciencias pueden verse en las tablas 8.5, 8.6 y 8.7, respectivamente.

Tabla 8.5. Puntaje de los estudiantes para la categoría imagen de ciencia en el *pretest* y *postest*.

Estudiante	Puntuación <i>Pretest</i>	Promedio resultante <i>Pretest</i>	Puntuación <i>Postest</i>	Promedio resultante <i>Postest</i>
1	48	3.7	59	4.5
2	44	3.4	57	4.4
3	37	2.8	49	3.8
4	47	3.6	59	4.5
5	45	3.5	54	4.1
6	39	3.0	55	4.2
7	40	3.1	54	4.1

Tabla 8.6. Puntaje de los estudiantes para la categoría concepciones sobre modelos y modelación científica en el contexto de la Física, en el *pretest* y *postest*.

Estudiante	Puntuación <i>Pretest</i>	Promedio resultante <i>Pretest</i>	Puntuación <i>Postest</i>	Promedio resultante <i>Postest</i>
1	32	2.9	48	4.4
2	38	3.4	49	4.5
3	31	2.8	43	3.9
4	44	4.0	49	4.5
5	39	3.5	46	4.2
6	31	2.8	47	4.3
7	31	2.8	44	4.0

Tabla 8.7. Puntaje de los estudiantes para la categoría concepciones acerca de la enseñanza de las ciencias en el *pretest* y *postest*.

Estudiante	Puntuación <i>Pretest</i>	Promedio resultante <i>Pretest</i>	Puntuación <i>Postest</i>	Promedio resultante <i>Postest</i>
1	34	3.4	42	4.2
2	27	2.7	39	3.9
3	34	3.4	42	4.2
4	31	3.1	39	3.9
5	34	3.4	39	3.9
6	31	3.1	40	4.0
7	31	3.1	35	3.5

Tabla 8.8. Desempeño de los estudiantes en el *pretest* y *postest* para las categorías imagen de ciencia, modelos y modelación científica en el contexto de la Física; 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	42.86	4.22	9.84
	<i>Postest</i>	7	55.28	3.50	6.33
Modelos y modelación científica	<i>Pretest</i>	7	35.14	5.20	14.80
	<i>Postest</i>	7	46.57	2.37	5.09
Enseñanza de las ciencias	<i>Pretest</i>	7	31.71	2.56	8.07
	<i>Postest</i>	7	39.42	2.37	6.01

La tabla 8.8 muestra una síntesis del desempeño de los estudiantes en el *pretest* y *postest*, para las tres categorías en estudio mostradas en la columna 1 de la misma tabla. Lo anterior permite concluir que, de un modo general, se dio un aumento en el puntaje del *postest* en

relación con el *pretest*. La dispersión o variabilidad de los datos puede considerarse aceptable, siendo para la gran mayoría de los casos inferior al 10%; con excepción del *pretest* en la categoría correspondiente a los modelos y modelación científica en el contexto de la Física, donde se obtuvo una dispersión particularmente alta (14.80%). Este hecho se debió a que uno de los estudiantes obtuvo un puntaje bastante alto en el *pretest*.

Con el propósito de mostrar la existencia de una diferencia significativa entre el *pretest* y *postest* aplicados a los estudiantes para valorar la imagen de ciencia; las concepciones sobre modelos y modelación y la concepción sobre la enseñanza de las ciencias en un momento previo y posterior a la intervención didáctica, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas. Siendo H_0 la hipótesis nula establecida para este análisis, la cual considera que no existe diferencia alguna entre los resultados del *pretest* y *postest* ($H_0: pretest = postest$); y definiendo H_1 como hipótesis alternativa, que establece la existencia de una diferencia entre los puntajes del *pretest* y *postest* ($H_1: pretest \neq postest$); el estadístico de Wilcoxon arroja los valores de T y su respectivo nivel de significancia, los cuales son mostrados en la tabla 8.9. Dicho análisis fue realizado con el paquete estadístico SPSS, versión 16.0.

Tabla 8.9. Prueba de Wilcoxon para la diferencia significativa *pretest-postest*.

Categorías	N	T	Nivel de significancia (Wilcoxon) α
Imagen de ciencia	7	0	0.02
Modelos y modelación científica	7	0	0.02
Enseñanza de las ciencias	7	0	0.02

La tabla de valores críticos de T en la prueba de los rangos señalados de pares igualados de Wilcoxon (Siegel, 1972, p. 288) muestra que para $N=7$, un valor de T igual a 0 permite rechazar la hipótesis de nulidad en un nivel de significancia $\alpha = 0.02$ para una prueba de dos colas. Los valores de T y α son exactamente los mismos en las tres categorías indagadas, por lo que se puede concluir consecuentemente que existe una diferencia significativa entre los resultados del *pretest* y el *postest*, que puede considerarse como una evolución de las concepciones de los estudiantes en relación con su visión inicial de ciencia, de modelos y modelación científica y de enseñanza de las ciencias.

Dado que el cuestionario aplicado como *pretest* y *postest* utiliza una escala tipo Likert con cinco opciones para su valoración, es importante aclarar que en el ámbito de este estudio, estas cinco posibilidades se convierten en dos; asumiendo que se encuentran dos visiones contrapuestas al valorar las respuestas de los estudiantes en relación con las tres categorías definidas.

De este modo, las respuestas de los estudiantes en el *pretest* y *postest*, relativas a las tres categorías en estudio, son valoradas a partir de dos visiones: una visión ingenua o tradicional y una visión constructivista o actualmente aceptada en la epistemología de las ciencias.

La visión ingenua o tradicional en relación con la imagen de ciencia, los modelos y la modelación científica, hace referencia a una tendencia positivista, empirista-inductivista y atórica, mientras que la visión constructivista para esta misma categoría hace alusión a un modelo más acorde con las actuales concepciones epistemológicas de la ciencia y de la modelación científica.

Del mismo modo, para la categoría relativa a la enseñanza de las ciencias, la visión ingenua o tradicional se relaciona con la imagen del estudiante como un receptor pasivo de conocimientos y con una tendencia conductista en la evaluación de los aprendizajes. En contraposición con esta visión, una postura constructivista en relación con la enseñanza de las ciencias estaría próxima a la que posee la comunidad científica que trabaja en la didáctica de las ciencias.

Las tres categorías del cuestionario, sus respectivos ítems y su clasificación como visión tradicional o constructivista son presentadas en la tabla 8.10.

Para realizar el análisis del *pretest* y *postest* con sus correspondientes categorías, fueron creadas unas subcategorías de análisis en las cuales aparecen contenidos los ítems relativos a cada una de ellas; como se muestra en la tabla 8.11.

Tabla 8.10. Ítems correspondientes a la visión tradicional y constructivista para las categorías imagen de ciencia, modelos y modelación científica; y enseñanza de las ciencias.

Categorías	Ítems correspondientes a la visión ingenua o tradicional	Ítems correspondientes a la visión constructivista o actualmente aceptada
1. Imagen de ciencia	<p>1.1 Las teorías científicas representan la naturaleza tal y como ella es, describiendo y explicando los fenómenos naturales de manera completa.</p> <p>1.2 Para que el conocimiento científico pueda emerger de observaciones y/o experimentaciones sobre el mundo natural, el científico debe abstenerse de ideas previas.</p> <p>1.4 El punto de partida para la construcción de conocimiento científico siempre debe ser la observación y la experimentación.</p> <p>1.6 La efectividad y la objetividad del trabajo científico se deben al fiel cumplimiento de las etapas establecidas por el método científico: observación, hipótesis, experimentos y elaboración de teorías.</p> <p>1.7 Todas las leyes científicas son universales, pues son aplicables a todas las situaciones y condiciones en la naturaleza.</p> <p>1.10 Las leyes científicas son generalizaciones de muchas observaciones y/o experimentos.</p> <p>1.11 Los resultados de observaciones y de experimentos son incuestionables, pues revelan la manera como la naturaleza es o funciona.</p> <p>1.13 Una teoría debe estar en completo y total acuerdo con la observación y/o experimentación.</p>	<p>1.3 Una característica importante de las teorías científicas es la posibilidad de que puedan ser consideradas como incorrectas.</p> <p>1.5 Una característica importante del conocimiento científico es su falibilidad.</p> <p>1.8 La ciencia no es segura, pero es progresiva por naturaleza. Pues permite la revisión de sus presupuestos y está abierta a nuevos interrogantes.</p> <p>1.9 El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones.</p> <p>1.12 Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios.</p>

<p>2. Modelos y modelación científica en el contexto de la Física</p>	<p>2.2 Teorías que predicen correctamente los resultados de mediciones en un cierto dominio experimental, dispensan explicaciones o modelos de cómo la realidad funciona en ese dominio.</p> <p>2.3 Los científicos describen la realidad en sus mínimos detalles, incluyendo el mayor número de informaciones posibles, en el proceso de modelación científica de sistemas físicos.</p> <p>2.5 Los modelos científicos aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés.</p> <p>2.8 La principal función de un modelo científico es la de servir como herramienta de enseñanza.</p> <p>2.10 La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo debe ser completa y total.</p>	<p>2.1 Hay modelos científicos que simulan el mecanismo de funcionamiento de sistemas físicos inaccesibles a los sentidos humanos.</p> <p>2.4 Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye.</p> <p>2.6 Los modelos científicos deben ser modificados siempre que no estén de acuerdo con los datos empíricos o con el cuerpo de conocimiento ya establecido.</p> <p>2.7 Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos.</p> <p>2.9 Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere.</p> <p>2.11 Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos.</p>
<p>3. Enseñanza de las ciencias</p>	<p>3.1 Los alumnos aprenden correctamente los conceptos científicos solamente cuando realizan actividades prácticas.</p> <p>3.3 La manera correcta de aprender ciencias en primaria es aplicando el método científico en el aula.</p> <p>3.7 Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos.</p>	<p>3.2 La realización de problemas en clase es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias.</p> <p>3.4 La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias.</p> <p>3.5 El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico.</p> <p>3.6 Cada profesor construye su propia metodología para la enseñanza de las ciencias.</p> <p>3.8 En la clase de ciencias es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos.</p> <p>3.9 La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos.</p> <p>3.10 La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas favorece que el alumno memorice mecánicamente el contenido.</p>

Tabla 8.11. Categorías y subcategorías de análisis para el *pretest* y el *postest*.

Categorías	Subcategorías	Ítems
Imagen de ciencia	Relación conocimiento científico-realidad	1.1, 1.7, 1.13
	La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	1.3, 1.5, 1.8, 1.12
	El papel de la observación y la experimentación en la construcción de conocimiento científico	1.2, 1.4, 1.10, 1.11
	La ciencia como construcción humana	1.6, 1.9
Modelos y modelación científica en el contexto de la Física	Relación entre modelo y realidad	2.3, 2.5, 2.9, 2.10
	Función de un modelo	2.1, 2.2, 2.6, 2.7, 2.8
	El modelo científico como construcción humana	2.4, 2.11
Enseñanza de las Ciencias	Implementación de estrategias de enseñanza	3.1, 3.2, 3.3, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.10
	Implementación de recursos para la enseñanza	3.4, 3.9

Nota: es importante aclarar que para la categoría de enseñanza de las ciencias no se tomaron los 14 ítems del cuestionario de Porlán (Porlán, 1989; Porlán, Rivero y Martín, 1997); más bien se hizo una adaptación descartando 4 ítems que se consideraron podrían parecer ambiguos para los estudiantes.

Criterios para el análisis de las entrevistas (inicial y final)

El análisis de la información obtenida en las entrevistas inicial y final se hace con base en las mismas categorías y subcategorías definidas en la tabla 8.11; considerando que en ambas entrevistas se indagó por los mismos asuntos que en el *pretest* y *postest*, buscando tener una mayor comprensión de las concepciones de los estudiantes en relación con la imagen de ciencia, los modelos, la modelación científica y la enseñanza de las ciencias. En la descripción de cada caso analizado se presentan algunos fragmentos de las entrevistas realizadas a los estudiantes, obteniéndose valiosa información en relación con los aspectos indagados.

De aquí en adelante son presentados los criterios de análisis de las diferentes actividades asociadas a los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico. Resaltamos que se hace mención de manera superficial a los criterios de análisis asociados a los principios 1, 6, 7 y 8; dado que aparecen descritos en el estudio II que constituye esta tesis.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC: principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Los criterios de análisis del principio 1 de la TASC en el estudio III fueron previamente descritos en el estudio II (tabla 7.10). Las actividades 2, 3, 7 y 9 de la propuesta didáctica sirvieron de base para valorar este principio, de acuerdo con el progreso de la habilidad de los estudiantes para formular preguntas de interés asociadas al campo de la dinámica Newtoniana.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 2 de la TASC: principio de la diversidad de materiales educativos.

A partir del *pretest*, *postest*, la entrevista inicial y final; y las actividades 14 y 15, se pretendía valorar el uso de diversos materiales de enseñanza que los estudiantes consideraban al momento de proponer actividades de clase para ser implementadas con sus futuros estudiantes.

En el *pretest* y en la entrevista inicial se analizaron las respuestas de los estudiantes, relacionadas con la subcategoría denominada implementación de recursos para la enseñanza; y en el *postest* y entrevista final se pretendía valorar si las ideas de los estudiantes en relación con las iniciales habían tenido algún tipo de progreso. Y a partir de las actividades 12, 13, 14 y 15 de la propuesta didáctica, que enfrentaban a los estudiantes a proponer actividades de clase y estrategias de enseñanza, se podían obtener evidencias de la implementación de este principio en el aula de clase.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 3 de la TASC: principio del aprendiz como perceptor/representador.

Por medio de informaciones obtenidas a través de la entrevista inicial y final y por las actividades 9 y 10, se buscan evidencias en los estudiantes de este principio. La entrevista inicial y la entrevista final permiten valorar las reflexiones iniciales y finales llevadas a cabo por los estudiantes acerca del papel que desempeña la percepción en el proceso de modelación científica. De igual manera, las actividades de la propuesta didáctica consideradas para hallar evidencias sobre este principio, permiten valorar la manera en que las percepciones que tienen los estudiantes del mundo se ven reflejadas en los modelos que construyen como representaciones de éste. En estos términos, el modelo puede considerarse como una representación que expresa nuestras percepciones; por lo que

construir modelos es plasmar el conocimiento que se tiene sobre un sistema o fenómeno perteneciente a un determinado campo de conocimiento.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 4 de la TASC: principio del conocimiento como lenguaje.

La entrevista final y de manera particular las actividades 1 y 6 de la propuesta didáctica, permiten obtener importantes evidencias de que los estudiantes han logrado la comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados relacionados con el lenguaje propio de la modelación.

La entrevista final aporta valiosa información sobre la manera como los estudiantes comprenden algunos conceptos relacionados con la modelación científica y se refieren a ellos una vez han sido partícipes de la propuesta didáctica implementada. Para la valoración de este principio no nos concentramos en subcategorías específicas asociadas a las entrevistas; pues esta valoración puede hacerse a partir del lenguaje utilizado por los estudiantes a lo largo de las diferentes actividades para referirse concretamente a los modelos y a la modelación científica.

En cuanto a las actividades de la propuesta didáctica, la gran mayoría de ellas están directamente relacionadas con la modelación científica, por lo que su desarrollo implica necesariamente abordar el uso de elementos y conceptos propios de la modelación -que son incorporados mediante la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM- posibilitando la comprensión y el intercambio de nuevos significados a través de la dinámica de aula que sugiere la propuesta didáctica aquí implementada, que favorece ampliamente la interacción y el trabajo en grupo.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 5 de la TASC: de la conciencia semántica.

Este principio es fundamental para la comprensión de los modelos y de la modelación científica y puede ser ampliamente valorado a partir del *pretest*, *postest*, entrevista inicial, entrevista final y las actividades 1 y 10 de la propuesta didáctica.

El principio de la conciencia semántica se refiere al hecho de que así como la palabra es un símbolo que representa una cosa, pero no es la cosa en sí; asimismo, en el contexto de la modelación científica, el modelo es un elemento que se construye para representar la realidad, pero no es la realidad en sí misma. En estos términos, atender a este principio en el ámbito de esta investigación, implica valorar la concepción que tienen los estudiantes acerca de la relación existente entre modelo y realidad.

El *pretest* y la entrevista inicial, en lo que se refiere particularmente a la subcategoría ‘relación entre modelo y realidad’, permite llevar a cabo la valoración de la concepción inicial de los estudiantes; y el *postest* y la entrevista final nos lleva a valorar el progreso de los estudiantes en la comprensión de esta relación. Del mismo modo, las actividades 1 y 10 de la propuesta didáctica permiten al estudiante llevar a cabo una reflexión sobre la relación modelo-realidad.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 6 de la TASC:
principio del aprendizaje por error.

Los criterios de análisis del principio 6 de la TASC en el estudio III son esencialmente los mismos descritos en el estudio II; la única diferencia es que el análisis del *pretest*, *postest*, la entrevista inicial y la entrevista final, se hacen con base en las subcategorías: relación conocimiento científico-realidad, falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico, la ciencia como construcción humana y el modelo científico como construcción humana. Y además de las actividades 8, 9 de la propuesta didáctica valoradas en el estudio II, aquí se incorpora el análisis de la actividad 10. Considerando que estas actividades permitirán una mayor comprensión acerca de la manera en que los estudiantes están valorando los modelos y si ese tipo de valoración les permite la detección de errores como estrategia de validación y la posterior reconstrucción de dichos modelos.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 7 de la TASC:
Principio del desaprendizaje.

Los principales criterios de análisis de este principio fueron descritos en el estudio II; sin embargo, es importante resaltar que para efectos del estudio III son valorados el *pretest*, *postest*, la entrevista inicial y la entrevista final, a partir de las subcategorías: relación

modelo-realidad y función de un modelo. Del mismo modo, las actividades de la propuesta didáctica que en el marco de este estudio aportan información para la valoración del principio 7, son las actividades 9 y 13. Asumiendo que éstas permiten al estudiante comprender y poner en práctica la idea de multirepresentación; es decir, que es posible representar una determinada situación física a través de dos o más modelos distintos (y que dependiendo de nuestros objetivos podemos escoger los más simples y por tanto menos precisos).

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 8 de la TASC:

principio de incertidumbre del conocimiento.

Los criterios de análisis para el principio 8 fueron descritos en el estudio II, pero se enuncian aquí algunas diferencias que se dan en la valoración de este principio en el contexto del estudio III. La información obtenida en el *pretest*, el *postest*, la entrevista inicial y la entrevista final, es valorada a partir de las subcategorías: la falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico, la ciencia como construcción humana y el modelo científico como construcción humana. Asimismo, las actividades de la propuesta didáctica 8 y 9 permiten valorar el principio de incertidumbre del conocimiento en el estudio III que integra esta tesis, considerando que la valoración de este principio implica obtener evidencias de que los estudiantes logran una comprensión de los modelos como representaciones parciales de la naturaleza que pueden ser permanentemente mejoradas.

Criterios para el análisis de las actividades asociadas al principio 9 de la TASC:

principio de la diversidad de estrategias instruccionales.

Este principio es valorado a partir del *pretest*, *postest*, la entrevista inicial, la entrevista final y las actividades 10, 13, 14 y 15 de la propuesta didáctica, con el propósito de valorar el uso que hacen los estudiantes de diferentes estrategias de enseñanza en el diseño de actividades didácticas para ser implementadas con sus futuros estudiantes.

En el *pretest* y en la entrevista inicial se valoran las respuestas de los estudiantes, relacionadas con la subcategoría ‘implementación de estrategias de enseñanza’; y a partir del *postest* y de la entrevista final se buscan evidencias de algún progreso de los estudiantes en relación con este principio didáctico. Asimismo, las actividades de la

propuesta didáctica referidas al diseño de materiales y propuestas de enseñanza por parte de los estudiantes, aportan valiosa información para la valoración del principio de la diversidad de estrategias instruccionales.

Criterios para valorar las tentativas de transposición didáctica

A partir de las actividades de la propuesta didáctica que exigían al estudiante -futuro profesor de Física- el diseño de materiales y propuestas de enseñanza fundamentadas en la modelación computacional para ser implementadas con sus futuros estudiantes, es posible llevar a cabo una valoración de las tentativas de transposición didáctica -del saber a enseñar al saber enseñado- llevadas a cabo con miras a favorecer la adquisición de visiones apropiadas de la ciencia por parte de sus estudiantes.

La valoración de las tentativas de transposición didáctica se lleva a cabo a partir de las actividades 9, 12, 13 y 14 de la propuesta didáctica.

8.2.2 Análisis de casos

El estudio III se lleva a cabo con un grupo de siete estudiantes de la asignatura Didáctica para Físicos que se ofrece a los estudiantes que cursan los últimos semestres del programa de Física de la Universidad de Antioquia, Colombia. Los estudiantes de este curso en particular tienen características muy similares entre sí, las cuales son mostradas en la tabla 8.12.

De estos siete estudiantes son elegidos tres casos representativos que se convirtieron en objeto de análisis de este estudio. Un criterio fundamental para la elección de estos tres casos fue el rendimiento de los estudiantes en las diferentes actividades de la propuesta didáctica implementada; de donde se elige un estudiante con desempeño bajo (Estudiante 3), 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 tres estudiantes nunca coincidieron en un grupo de trabajo. Asimismo, la información aportada en la última fila de la tabla 8.12 -valoración inicial de la habilidad para formular preguntas referidas a la dinámica Newtoniana- fue utilizada también como criterio para

seleccionar estos tres estudiantes; de modo que se valoraron las preguntas formuladas por ellos en la segunda actividad de la propuesta didáctica, denominada “formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana”.

La valoración de estas preguntas se hizo con base en los criterios para el análisis de actividades asociadas al principio 1 de la TASC -principio de la interacción social y del cuestionamiento-, descritos en el capítulo 7 de esta tesis; permitiendo hacer una clasificación de los estudiantes en relación con la calidad de preguntas formuladas por éstos. De esta manera, el estudiante 3 se ubica en un nivel bajo en su capacidad para formular preguntas, el estudiante 4 podría decirse que está entre un nivel bajo y medio; y el estudiante 5 se encuentra en un nivel medio en su capacidad para formular preguntas¹². Estos niveles coinciden aproximadamente con el desempeño de los estudiantes a lo largo del estudio (primer criterio considerado para su elección).

A continuación se presenta el análisis de la información obtenida para cada uno de los tres estudiantes considerados casos representativos de este estudio.

¹² Ver tablas 8.13, 8.34 y 8.55 (en las que aparecen las preguntas formuladas por cada estudiante)

Tabla 8.12. Caracterización de los estudiantes.

Información	Estudiante 1	Estudiante 2	Estudiante 3	Estudiante 4	Estudiante 5	Estudiante 6	Estudiante 7
Edad	24	22	22	21	23	26	23
Nivel de la carrera	7	8	7	7	9	7	7
Trabaja	No	joven investigador del grupo de materia condensada	No	No	No	No	No
Asignaturas reprobadas en el programa	Física I	Ninguna	Física I Métodos II ¹³	Métodos II	Ninguna	Física I y II Cálculo II y III Métodos II	Cálculo I y III Métodos II
Tipo de Bachillerato	Académico	Académico	Ciencias Naturales	Matemáticas	Matemáticas	Académico	Académico
Valoración inicial de la habilidad para formular preguntas referidas a la dinámica Newtoniana	Nivel bajo	Nivel bajo	Nivel bajo	Nivel bajo-medio	Nivel medio	Nivel bajo	Nivel bajo

¹³ En esta asignatura se aborda el tema de las Ecuaciones diferenciales parciales.

Estudiante 3

Con 22 años de edad, este estudiante nunca había laborado y se encontraba realizando el séptimo nivel de su carrera durante la cual había reprobado las asignaturas Física I y Métodos II. Desde el inicio del curso este estudiante manifestó no tener ningún tipo de interés por la docencia, expresando que gustaba de la Física pero no de su enseñanza; y al respecto afirmó: “no me visualizo como profesor”. Sin embargo, su desempeño en las asignaturas de Física durante toda la carrera había sido muy aceptable. A continuación es presentado el análisis de la información aportada por este estudiante en el contexto de este estudio.

En relación con el principio 1 de la TASC: principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las actividades que permiten obtener evidencias sobre el principio 1 de la TASC; es decir, sobre la habilidad de los estudiantes para formular preguntas, así como algunas de las preguntas formuladas por el estudiante 3 y el nivel en que éstas se encuentran, son presentadas en la tabla 8.13.

Tabla 8.13. Preguntas formuladas por el estudiante 3 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.	<u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Cuánto tiempo tardará en llegar el balón? ¿Se conserva la energía en el movimiento? <u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuál es el período de oscilación? ¿Qué tipo de movimiento describe la masa? <u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuál es el período de oscilación? ¿Se conserva la energía del sistema? <u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Cuál es la ecuación del movimiento del cuerpo atado al resorte? ¿Cuál es la altura del líquido después de estar	Bajo

	<p>sumergido todo el cuerpo?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Cuál es la velocidad angular de oscilación? ¿Cuál es el momentum angular?</p>	
<p>Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración</p>	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Qué sucede con la velocidad en Y en el punto máximo? ¿Cuáles son los valores de la velocidad para los ángulos de 30°, 45° y 60°?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> ¿Cuál es el comportamiento de la aceleración y de la velocidad respecto al tiempo para una fuerza constante aplicada en cada una de las tres masas? ¿De la gráfica de la velocidad respecto al tiempo se puede inferir cuál es el cuerpo más masivo?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cuál es el comportamiento de la velocidad respecto al tiempo al caer el paracaídas? ¿Qué ocurre con la velocidad cuando el paracaídas se abre?</p>	<p>Bajo-medio</p>
<p>Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto</p>	<p><u>Modelo computacional: fricción entre sólidos</u> ¿En qué momento la fuerza aplicada es cero? ¿En qué momento se empieza a mover la partícula?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué tipo de movimiento realiza un objeto en caída provisto de paracaídas con o sin aire?</p>	<p>Bajo-medio</p>
<p>Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto</p>	<p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical:</u> ¿Qué consideraciones se hacen para que el péndulo se tome como oscilador armónico? ¿Cuál es la importancia de este ejercicio?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical:</u> ¿Qué diferencia hay entre éste que es un péndulo físico y el péndulo simple?</p> <p><u>Un niño en un columpio que es empujado por su padre:</u> ¿Qué es la frecuencia de resonancia y a qué se debe este fenómeno? ¿El niño puede mantener su movimiento sobre el columpio?, ¿Por qué?</p>	<p>Medio</p>

El desarrollo de estas actividades permitió evidenciar un progreso significativo en la habilidad de este estudiante para formular preguntas de interés sobre fenómenos de la dinámica Newtoniana. Si bien, este estudiante inicialmente se encontraba en un nivel bajo en su capacidad para formular preguntas, dicha habilidad fue mejorando, considerando que en las actividades finales (7 y 9), sus preguntas no indagaban por respuestas numéricas y

del tipo sí y no. Al final de la intervención consideramos que el estudiante 3 se ubicó en un nivel medio en la capacidad para formular preguntas.

En relación con el principio 2 de la TASC: principio de la diversidad de materiales educativos.

Las ideas iniciales del estudiante 3 en relación con el uso de materiales educativos para la enseñanza de la Física expresadas mediante el *pretest* y la entrevista inicial, son mostradas en la tabla 8.14.

Tabla 8.14. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 2 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 2 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Implementación de recursos para la enseñanza	<p><i>“La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos”</i></p>	<p><i>“Uno como estudiante necesita es imaginar o que le abran la mente, pero si a vos te llegan y te pintan un dibujo, vos te quedas en las mismas, porque no lo ves”</i></p> <p><i>“... para un estudiante lo primordial es poder palpar, o verlo al menos, algo que le garantice por ejemplo que eso es conservación del momento”</i></p>

A partir de las respuestas dadas por el estudiante 3 en el *pretest*, es posible pensar que su visión acerca de la implementación de recursos para la enseñanza tiende a ser constructivista. Sin embargo, al ser indagado en la entrevista inicial acerca de los recursos que utilizaría para enseñar Física a sus estudiantes, el estudiante 3 se rehúsa a dar una respuesta concreta a la pregunta planteada y de manera implícita se refiere a la necesidad de hacer uso posiblemente de otras estrategias y/o recursos, pero no se refiere a éstas. Y por su actitud reflejaba un total desconocimiento del asunto sobre el cual estaba siendo indagado.

Las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final en relación con el principio 2 de la TASC, pueden verse en la tabla 8.15.

Tabla 8.15. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 2 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Implementación de recursos para la enseñanza	<p><i>“La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos”</i></p>	<p><i>“Yo utilizaría por ejemplo videos; y también por ejemplo el computador porque brinda muchas posibilidades, para quienes saben aprovecharlas y les gusta”</i></p>

Más allá de las respuestas del estudiante 3 al *postest* que al igual que en el *pretest* tienden a ser de índole constructivista, sus manifestaciones en la entrevista final en relación con este tópico fueron mínimas. Sin embargo, parece haber adquirido alguna idea acerca de los recursos de enseñanza y de manera muy escueta hace alusión a los videos y al computador como materiales que implementaría en la enseñanza.

Las actividades de la propuesta didáctica que favorecen la implementación de recursos de enseñanza y algunos comentarios del desempeño del estudiante 3 en estas actividades, pueden verse en la tabla 8.16.

Tabla 8.16. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 2 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 14. Diseño del trabajo final	<p>El estudiante 3 realizó esta actividad con los mismos estudiantes con quienes realizó la actividad 13. Los estudiantes diseñaron dos modelos computacionales para representar la primera y segunda ley de Newton.</p> <p>Materiales de enseñanza propuestos para ser implementados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notas de clase escritas por el profesor - Modelos computacionales - Videos de algunos fenómenos relacionados
Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final	<p>En la discusión que se genera en esta actividad, el estudiante defiende el uso de otros materiales educativos, expresando lo siguiente: <i>“consideramos importante incluir estos materiales de enseñanza porque creemos que si hay alguna disciplina que permite usar varios materiales para ser explicada, esa es la Física; pues es que casi todo de lo que trata la Física lo podemos ver en el mundo cotidiano; y así nos quitamos la idea de que solo podemos enseñar conceptos como estos, pegados del libro de Física para cada curso. No digamos que el libro es malo, porque no es cierto, pero no es la única alternativa”</i></p>

A pesar de que consideramos que desde el inicio de la intervención el estudiante 3 tenía cierta conciencia de la necesidad de implementar diversos recursos para la enseñanza de la Física, a partir del desarrollo de las actividades de la propuesta didáctica se refiere con mayor propiedad a la implementación de recursos en el aula de clase, aludiendo a las posibilidades -además del libro de texto- que brinda una disciplina como la Física.

En relación con el principio 3 de la TASC: principio del aprendiz como perceptor/representador.

El estudiante 3 se refiere a la relación percepción-representación en la entrevista inicial, con la siguiente expresión: “yo como que no sabría decir que es la percepción, no sé, como que puede ser algo que uno se imagina y que le ayuda para construir o para crear cosas, o algo así”

Ya en la entrevista final, para referirse a la misma relación, el estudiante 3 expresa lo siguiente: “es que alguien ve el fenómeno físico y él percibe que eso puede ser representado mediante este modelito y ya; es decir, es como el mismo papel que juega la imaginación frente a la ciencia”, “...si uno no ha percibido o no se ha apropiado de algo relacionado con cierto fenómeno, es muy difícil que sea capaz de representar eso en un modelo, por ejemplo”.

Si bien, este estudiante no es muy expresivo, al final de la intervención parece tener una mayor claridad del papel que desempeña la percepción en el proceso de construcción de modelos, planteando la percepción como la apropiación de algo -un fenómeno, por ejemplo-, que se vería plasmada en la construcción de modelos.

Las actividades de la propuesta didáctica que aportan información relevante sobre el principio 3 de la TASC y algunos comentarios relacionados con la manera como el estudiante 3 se enfrentó a dichas actividades, pueden verse en la tabla 8.17.

Tabla 8.17. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 3 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 3 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>Este estudiante realiza esta actividad en compañía de otro estudiante. En el proceso de construcción de modelos, éstos delegan algunas tareas individuales y finalmente crean un consenso en torno a lo que considerarán o no definitivo.</p> <p>El estudiante 3 tiene muy poca claridad sobre los conceptos físicos necesarios para construir los cuatro modelos computacionales requeridos; por lo que su aporte al trabajo es mínimo. Esta dupla construye sólo tres modelos para las situaciones: objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical y un niño en un columpio que es empujado por su padre.</p> <p>El estudiante 3 no logró construir totalmente el modelo que le había sido asignado; por lo que su participación en esta actividad estuvo limitada a ayudar a su compañero con el diseño de los diagramas AVM.</p>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	<p>A la pregunta: ¿consideras importante la percepción del modelador en el proceso de construcción de modelos computacionales?, el estudiante 3 respondió: <i>“Si, esto se ve reflejado en que el modelador puede mejorar los modelos computacionales para una mayor adaptación a la realidad”</i></p>

Indudablemente las dificultades conceptuales de este estudiante, o por decirlo de otro modo, la poca percepción que tiene del campo de la dinámica Newtoniana, impide que pueda desarrollar a satisfacción la actividad de modelación expresiva; y aunque trató de ayudar a su compañero en la construcción de los diagramas AVM, su aporte no fue el mejor. Además, la respuesta dada por el estudiante 3 en la actividad 10 no muestra evidencias de su comprensión acerca de la relación percepción-representación; sin embargo, esta respuesta permite visualizar una idea sumamente importante relacionada con la incertidumbre del conocimiento; y es la posibilidad que contempla este estudiante de mejorar los modelos computacionales para adaptarlos mejor a la realidad.

En relación con el principio 4 de la TASC: principio del conocimiento como lenguaje.

Evidencias sobre la comprensión, interpretación e intercambio de significados relacionados con la modelación científica por parte del estudiante 3, manifestados en las diferentes actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC son mostrados en la tabla 8.18.

Tabla 8.18. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 4 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo	<p>El estudiante 3 realiza la actividad de lectura del artículo en compañía de otro estudiante. Son descritas aquí algunas de sus respuestas a las preguntas que orientaron la discusión:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué se entiende por modelación científica?: “es como un proceso de búsqueda de respuestas, de crear modelos”. 2. ¿Qué se entiende por modelo conceptual?: “es como la representación de un fenómeno natural” 3. ¿Qué se entiende por referentes?: “son elementos que forman parte del sistema físico de interés” 4. ¿Qué se entiende por idealizaciones?: “son consideraciones que se hacen para simplificar el análisis de un problema”
Actividad 6. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM	<p>En una discusión originada al final de esta actividad, el estudiante 3 se refirió a algunos elementos de la modelación científica así: “<i>es que yo creo que los referentes puede ser todo lo que haya en el modelo, por ejemplo, la fuerza de fricción, la masa, la cesta, la resistencia del aire, la tierra</i>”. “<i>Para que el modelo sea como más fácil de entender yo pienso que hay que quitarle cosas que lo complican a uno; por ejemplo, para los dos modelos yo quitaría solo la fricción y así me queda más fácil de analizar</i>”</p>

Este estudiante es muy renuente a las actividades que implican alguna discusión en grupo y sus respuestas por lo general son muy escuetas, dando poca posibilidad a la interpretación. Las respuestas aportadas a las preguntas de la actividad 1 son casi textuales, descritas en los mismos términos del artículo y no permiten conocer su comprensión acerca de estos conceptos.

Ya en la actividad 6, que era la primera actividad en la que se implementaba la modelación computacional con el diagrama AVM, es posible visualizar un poco de familiaridad del estudiante 3 con conceptos propios de la modelación científica como los referentes y las idealizaciones. Considerando inclusive un agente externo como referente (fuerza de fricción), a diferencia de la respuesta dada a la pregunta 3 de la actividad 1, donde no se refiere a los agentes externos como referentes del modelo.

Del mismo modo, en relación con los referentes del modelo, es claro que el estudiante está considerando elementos -variables y parámetros- que no aportan información acerca del comportamiento del sistema; de hecho, considera la masa como un referente del modelo sin especificar si se refiere con ello al cuerpo que es lanzado como proyectil. Esta dificultad es superada en las posteriores actividades de modelación con diagrama AVM.

Asimismo, el estudiante 3 muestra una mejor comprensión e interpretación acerca de las idealizaciones, considerando que los modelos son susceptibles de ser simplificados, si ello genera una mejor comprensión de los mismos. También en la entrevista final, el estudiante nos proporciona indicios para considerar que ha logrado una mayor comprensión acerca de lo que es por ejemplo el modelo conceptual y la idealización, expresando lo siguiente: “para mí un modelo conceptual es como un esquema, como una representación que hace un científico para mostrar cómo funciona un determinado sistema. Los modelos sirven como para explicar, como para lograr una mejor interpretación de algo, aunque sea dejando de considerar algunos aspectos”.

En relación con el principio 5 de la TASC: principio de la conciencia semántica.

Las reflexiones iniciales del estudiante 3 en el *pretest* y en la entrevista inicial, en torno a la relación existente entre modelo y realidad, pueden verse en la tabla 8.19.

Tabla 8.19. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 5 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 5 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación entre modelo y realidad	<p><i>“Los modelos científicos aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Un modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo debe ser completa y total”</i></p>	<p><i>“Uno podría decir como que la realidad es así, así como es el modelo; o sea que se comporta como el modelo”</i></p>

A partir de las respuestas del estudiante 3 en el *pretest* y en la entrevista inicial, puede observarse una concepción completamente tradicional al referirse a la correspondencia entre modelo y realidad, aludiendo a una equivalencia total entre la realidad y el modelo como el elemento que la representa. Este hecho puede ser consecuencia de que este estudiante no se había enfrentado previamente a cuestionamiento alguno referido a los modelos y al papel de éstos en la ciencia. La tabla 8.20 muestra el progreso del estudiante 3 en lo que se refiere a la comprensión de la relación modelo-realidad.

Tabla 8.20. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 5 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 5 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación entre modelo y realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“El modelo sirve como para representar alguna cosa de la realidad, como buscando acercarse a ella, como parecerse más a ella...”</i></p>

Finalizada la implementación de la propuesta didáctica y de acuerdo con las respuestas del estudiante 3 en el *postest* y en la entrevista final, puede evidenciarse un progreso significativo sobre la relación existente entre modelo y realidad. Las afirmaciones en las que había mostrado total acuerdo en el *pretest*, ahora son negadas en el *postest* admitiendo que ningún modelo científico logra representar exactamente aquello a lo que se refiere; del mismo modo, en la entrevista final se encuentran evidencias de que este estudiante adquiere una conciencia acerca de que el modelo es un elemento que sirve para representar una porción de la realidad y que sólo pretende aproximarse a ella.

Las actividades que aportan información relevante sobre el principio 5 de la TASC referido a la relación modelo-realidad, así como unos breves comentarios relacionados con el desempeño del estudiante 3 en cada actividad, pueden verse en la tabla 8.21.

Tabla 8.21. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 5 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 5 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo	Durante la discusión del artículo, el estudiante 3 expresa lo siguiente: <i>“yo pienso que un modelo lo que tiene que hacer es mostrarnos realmente cómo se está comportando el mundo”</i>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	A la pregunta: <i>¿Contribuyen las actividades de modelación computacional a enriquecer tu visión sobre la modelación científica?</i> , el estudiante 3 responde: <i>“Si, porque a partir de estos modelos computacionales que trabajamos, yo por primera vez pude darme cuenta de lo que era un modelo; que aunque a uno le digan que es científico, eso no quiere decir que sea perfecto y que refleje totalmente lo que es la realidad”</i>

La participación del estudiante 3 en la discusión de la actividad 1 realmente fue mínima, admitiendo no haber comprendido muy bien el artículo leído, además de no realizar una relectura del mismo. Sin embargo, al manifestar: “yo pienso que un modelo lo que tiene que hacer es mostrarnos realmente cómo se está comportando el mundo”, afianza una vez más esa visión ingenua exhibida en sus respuestas al *pretest* y a la entrevista inicial.

En la actividad 10 posterior al desarrollo de las actividades de modelación computacional y al ser indagado acerca de la contribución de dichas actividades al enriquecimiento de su visión sobre la modelación científica, el estudiante 3 muestra una concepción más coherente con la visión actual de la modelación científica, manifestando que por el hecho de un modelo ser científico eso no significa que refleje totalmente lo que es la realidad. Asimismo, este estudiante admite que un modelo aunque sea científico no es perfecto, lo que sin duda alguna muestra evidencias de un progreso en el principio 6 de la TASC.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial relacionadas con el principio 6 de la TASC y que se refieren a la valoración crítica de los modelos que hace el estudiante 3, son descritas en la tabla 8.22.

En el *pretest* y en la entrevista inicial el estudiante 3 manifiesta una concepción netamente tradicional en lo que se refiere a las categorías: relación conocimiento científico-realidad, la falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico y el modelo científico como construcción humana; al punto de afirmar que la ciencia está asociada con la verdad y no contemplando la falibilidad de la ciencia cuando ésta está fundamentada en la experimentación; asimismo, parece no concebir la modelación científica como una actividad humana, al asumir que los modelos científicos son perfectos y que si el hombre se involucra en dicho proceso de creación de modelos, daría fin a tal perfección.

Aunque el estudiante 3 parece tener una visión constructivista en relación con la subcategoría que se refiere a la ciencia como construcción humana cuando afirma en el *pretest* que el progreso de la ciencia se debe a la capacidad del hombre para formular preguntas y proponer soluciones; esta concepción se debilita completamente cuando asume que el conocimiento viene dado, está escrito; y que por esta razón es cierto. Esto permite

observar que el estudiante 3 tiene una visión completamente vinculada a una concepción tradicional de la ciencia; pues parece que al hombre le asigna la tarea de formular preguntas pero no lo asocia con la construcción de teorías científicas para hallar respuesta a tales preguntas.

Tabla 8.22. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<p><i>“Las teorías científicas representan la naturaleza tal y como ella es, describiendo y explicando los fenómenos naturales de manera completa”</i></p> <p><i>“Una teoría debe estar en completo y total acuerdo con la observación y/o experimentación”</i></p>	<i>“...Yo la ciencia la veo como la realidad, la asocio con la verdad”</i>
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Las teorías científicas apoyadas en la observación y en la experimentación, no pueden ser incorrectas”</i>	<i>“Si algo está bien fundamentado en experimentos, es casi imposible que falle”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“... es que el conocimiento científico ya como que está dado en los libros de texto y uno se acomoda a lo que está ahí, porque nadie se atreve a refutar lo que está escrito”</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“En la modelación científica no hay lugar para la introducción de elementos hipotéticos ni se deben ignorar propiedades de los sistemas físicos”</i>	<i>“Los modelos científicos son y tienen que ser perfectos; o sea que si el hombre se involucra ahí, se acaba esa perfección; es que yo creo que los modelos si son ya cosas definitivas”</i>

Las subcategorías correspondientes al *postest* y a la entrevista final relacionadas con el principio 6 de la TASC y que se refieren a la valoración crítica de los modelos que hace el estudiante 3, se muestran en la tabla 8.23.

De manera sorprendente la visión netamente tradicional que mostraba el estudiante 3 al inicio de la intervención *-pretest* y entrevista inicial-, ha tenido un progreso bastante significativo que puede evidenciarse en sus respuestas tanto en el *postest* como en la entrevista final. Pues ahora, este estudiante asume no solo la ciencia sino la modelación científica como una actividad humana que está regida por el conocimiento y la

interpretación personal, lo que hace que en un momento determinado la ciencia y los modelos científicos pueden contener errores que harán necesaria la construcción de nuevas teorías y modelos.

Tabla 8.23. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas no representan la naturaleza tal y como ella es, ni describen y explican los fenómenos naturales de manera completa”</i>	<i>“Yo pienso que la ciencia tiene que ir muy unida a la realidad, que tiene que aproximarse a ella para explicarla, pero la ciencia nunca llega a igualar el mundo, o sea, la realidad”</i>
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Una característica importante de las teorías científicas es la posibilidad de que puedan ser consideradas como incorrectas”</i>	<i>“La ciencia es construida por humanos y el humano tiene error, lleva el error implícito; por lo tanto la ciencia no está libre de errores” “...yo no diría por ejemplo que la cuántica es una teoría definitiva; yo diría que puede resultar una teoría que pueda explicar todo mejor”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“... por ejemplo un problema puede tener muchas soluciones; y eso depende del sentido de la solución que tú le quieres dar y del conocimiento que tengas para eso”</i> <i>“Yo creo que la creatividad de una persona es muy importante para uno formular una teoría científica y teniendo en cuenta que las personas son quienes montan; o sea, quienes crean las teorías; uno si puede pensar que en algún momento pueden tener algún error y la teoría no ser del todo verdadera”</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos”</i>	<i>“Así como la ciencia, los modelos también son construidos por humanos, por personas como nosotros y cada cual puede tener una interpretación diferente de lo que quiere representar, eso depende del punto de vista de cada persona y de si se quiere aproximar más o no a la realidad”</i>

Las actividades de la propuesta didáctica que aportan información de interés en relación con el principio 6 de la TASC referido a la valoración crítica de los modelos por parte del estudiante 3, pueden verse en la tabla 8.24.

Tabla 8.24. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
<p>Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional</p>	<p>El estudiante 3 realiza esta actividad en compañía de otro estudiante.</p> <p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u></p> <p>El estudiante 3 no se percata del error contenido en las ecuaciones del modelo; y de hecho, al describir el campo de las relaciones, escribe la ecuación $F = -mg - bv^2$, sin detectar error alguno en ella. En la validación del modelo escribe: “se puede ver que el modelo cumple con las predicciones”</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>Así como en el primer modelo explorado en esta actividad, este estudiante tampoco se entera de la existencia de un error en la estructura conceptual del modelo. En el campo de las relaciones del diagrama AVM, describió algunas, pero no describió la que contenía el error. Y en la validación del modelo escribe: “<i>Sí se corroboran las predicciones con la animación mostrada y también se nota en las gráficas un comportamiento acorde</i>”</p>
<p>Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM</p>	<p>Este estudiante realiza esta actividad en compañía de otro estudiante. El estudiante 3 se dedicó a la construcción de uno de los modelos computacionales y después de muchos intentos no logró que éste le aportara la información esperada. Al finalizar la actividad, expresó lo siguiente: “<i>Cuando uno ya creía que estaba listo, aparecía cualquier cosita, cualquier variable mal escrita y le dañaba a uno todo; y a pesar de corregir todos los errores que encontraba, me aproximé sí, pero no logré que me funcionara bien del todo; es que uno puede hacerlo de muchas formas, pero igual siempre va a haber alguien que lo haga mejor que uno y que le funcione mejor</i>”.</p>
<p>Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM</p>	<p>A la pregunta: ¿Qué papel juegan los errores en el proceso de construcción de modelos computacionales?, el estudiante 3 respondió: “<i>Los errores contribuyen a que uno pueda cada vez madurar más sus modelos y además construir nuevos modelos que se aproximen cada vez más a la realidad</i>”</p>

En la actividad 8 se aportaron a los estudiantes dos modelos computacionales con errores intencionales, para que a partir de éstos los estudiantes construyeran el respectivo diagrama AVM. El estudiante 3 procedió a completar de manera mecánica dicho diagrama para ambos modelos, dando por hecho que éstos estaban correctos. Pero además, en este punto del proceso de modelación computacional con diagrama AVM no había logrado una comprensión acerca de lo que significaban los campos: resultados conocidos y

predicciones del modelo; e intentó validar el modelo confrontando los resultados arrojados por el modelo con las predicciones y no con los resultados teóricos.

Al final de la actividad 8, el estudiante 3 expresó lo siguiente:

“a mí no se me ocurrió siquiera que un modelo computacional pudiera estar malo, uno cree que así como los otros funcionaban, entonces éste funcionaba igual sin ningún problema”.

Aunque en la actividad 9 relativa a la propuesta didáctica el estudiante 3 no consiguió construir un modelo satisfactorio para representar el fenómeno de interés propuesto, con base en la expresión referida a esta actividad, consideramos que de alguna manera la modelación computacional de modo expresivo abierto le permitió tomar conciencia del papel fundamental que desempeña el error en el proceso de creación de modelos científicos. Del mismo modo, la respuesta aportada por este estudiante en la actividad 10 nos aporta evidencias del rol fundamental que le asigna a los errores en la construcción de modelos, considerándolos necesarios para lograr modelos cada vez más maduros y cercanos a la realidad.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Las subcategorías correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial relacionadas con el principio 7 de la TASC y que se refieren a la concepción de modelo que tiene el estudiante 3, se describen en la tabla 8.25.

A partir de las respuestas aportadas por el estudiante 3 en el *pretest* y en la entrevista inicial, se detecta la concepción de modelo como copia exacta de la realidad, la idea de modelo como una receta y la existencia de un único modelo para explicar un fenómeno; visiones totalmente acientíficas que al momento inicial del estudio poseía este estudiante y que se convierten en obstáculos epistemológicos que le impiden lograr una adecuada comprensión de la verdadera naturaleza de un modelo científico.

Tabla 8.25. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación modelo-realidad	<p><i>“Los modelos científicos aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Un modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo debe ser completa y total”</i></p>	<p><i>“Un modelo... yo creo... si es científico, es porque explica exactamente la realidad”</i></p>
Función de un modelo	<p><i>“La principal función de un modelo científico es la de servir como herramienta de enseñanza”</i></p>	<p><i>“Para mí un modelo científico es como una guía, es como una base para algo que va a encaminar la ciencia; pero yo no creo mucho en los modelos. Yo veo un modelo como una receta”</i></p> <p><i>“Un modelo científico es porque ya está aprobado y ese es el único modelo que puede explicar algo”</i></p>

La evolución de las ideas del estudiante 3 en relación con la concepción de modelo, pueden verse en la tabla 8.26 donde son descritas las respuestas proporcionadas por este estudiante en el *postest* y en la entrevista final, relacionadas con el principio 7 de la TASC.

La información aportada por el estudiante 3 en la tabla 8.26 permite observar algún tipo de progreso significativo en relación con la concepción de modelo; pues en esta etapa de la intervención este estudiante concibe el modelo como una aproximación a la realidad y no como una copia de ella. En este momento del estudio, el estudiante 3 logra describir el modelo en términos científicos y se refiere a él haciendo alusión a conceptos propios de la modelación científica como las idealizaciones y simplificaciones. De otro lado, asume que gracias a la divergencia de pensamientos es posible obtener un número ilimitado de modelos para representar una misma situación física; lo que en el caso de este estudiante no necesariamente es indicio de haber internalizado la idea de multirepresentación que subyace a la modelación científica; y más bien puede interpretarse como un relativismo total en el que cualquier modelo tendría validez sin ser necesariamente consensuado en la comunidad científica.

Tabla 8.26. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación modelo-realidad	<p><i>Los modelos científicos aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés</i></p> <p><i>Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere</i></p> <p><i>La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total</i></p>	<p><i>“... el modelo no es igual a la realidad, porque el científico siempre trata como de simplificar las cosas, de ir como a lo más fácil, para aproximarse lo que más pueda a la realidad”</i></p>
Función de un modelo	<p><i>Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos</i></p> <p><i>La principal función de un modelo científico no es la de servir como herramienta de enseñanza</i></p>	<p><i>“Un modelo muestra cómo funciona el sistema, diría yo; y los modelos sirven como para hacer una mejor interpretación de un fenómeno, es como para ayudar al trabajo de un científico, diría yo; y para eso el científico tiene que hacer simplificaciones, idealizaciones y esas cosas”</i></p> <p><i>“... surgen varios modelos porque usted no piensa igual a mí. Yo creo que una situación física no puede tener una sola interpretación, puede tener varias y de cada interpretación surge un modelo diferente; o en fin, eso depende del punto de vista de cada persona, uno defiende lo que cree”</i></p>

Las actividades de la propuesta didáctica que aportan información sobre el principio 7 de la TASC y algunos comentarios que sintetizan el desempeño del estudiante 3 en estas actividades, se muestran en la tabla 8.27.

Tabla 8.27. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	En esta actividad, el estudiante 3 trabajó en compañía de otro estudiante; y dado que el modelo que le fue asignado a él para su construcción, fue formulado desde diferentes formas y finalmente no proporcionó los resultados esperados, su compañero hizo una modificación de éste. A lo que el estudiante 3 se refirió diciendo: <i>“él lo hace de otra manera, pero yo sé que como yo lo estaba haciendo también funcionaba; es que uno puede hacer que funcione de varias maneras”</i>
Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional	El estudiante 3 hizo algunos aportes en la construcción del modelo para esta actividad, pero realmente fueron sus dos compañeros quienes después de varias versiones del modelo, finalmente obtuvieron uno que fuera satisfactorio para representar la situación que se habían planteado.

A partir de las reflexiones del estudiante en relación con la actividad 9 y de la experiencia vivida en el desarrollo de la actividad 13, podría afirmarse una vez más que el estudiante 3 ha captado la idea de multirepresentación; sin embargo, creemos que hubiese sido más clara la comprensión de dicho concepto mediante la construcción de su propio modelo computacional, o la participación más activa en la construcción de dichos modelos.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de la incertidumbre del conocimiento.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial asociadas al principio de incertidumbre (principio 8 de la TASC) y la visión del estudiante 3 en torno a la incertidumbre del conocimiento pueden verse en la tabla 8.28.

Tabla 8.28. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Las teorías científicas apoyadas en la observación y en la experimentación, no pueden ser incorrectas”</i>	<i>“Para mí, realmente es el experimento el que te dice cómo debería de ser la teoría. Pues uno no puede montar teoría y luego ir a mirar si funciona. No, debería ser todo lo contrario, primero experimento y luego teoría; y una teoría que esté bien fundamentada en el experimento es una teoría que ya es segura”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“...siempre lo que dio el experimento es lo verdadero, eso ya es definitivo, sin importar lo que digan las teorías que vienen después”</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“En la modelación científica no hay lugar para la introducción de elementos hipotéticos ni se deben ignorar propiedades de los sistemas físicos”</i>	<i>“Los modelos científicos son y tienen que ser perfectos; o sea que si el hombre se involucra ahí, se acaba esa perfección; es que yo creo que los modelos si son ya cosas definitivas¹⁴”</i>

¹⁴ La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista inicial para la categoría El modelo científico como construcción humana (tabla 8.22).

A partir de las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial, se observó una fuerte tendencia hacia una visión tradicional de la ciencia y de la modelación científica, de tal manera que este estudiante considera que la experimentación no requiere de concepciones teóricas previas; y que así mismo, se puede tener certeza acerca del conocimiento que esté fundamentado en la experimentación, sin importar los aportes de las teorías científicas.

En relación con la modelación científica, el estudiante 3 es enfático en defender la perfección de dichos modelos, afirmando que son construcciones definitivas en las que el hombre no debería intervenir. Sin duda alguna, estas expresiones denotan la pobre fundamentación conceptual de este estudiante en relación con la epistemología de las ciencias.

La tabla 8.29 muestra las respuestas del estudiante 3 en el *postest* y en la entrevista final, asociadas al principio de incertidumbre del conocimiento.

Aunque en la entrevista final fueron pocas y breves las manifestaciones del estudiante 3 en torno a los tópicos referidos al principio 8 de la TASC, sus expresiones fueron suficientes para tener indicios de cierta evolución en relación con las concepciones iniciales. De este modo, este estudiante considera la posibilidad de modificar y mejorar teorías, asumiendo que ni siquiera las teorías que conocemos actualmente son definitivas y que seguramente llegarán otras que aporten mejores explicaciones.

Pero podría decirse que el progreso más significativo de este estudiante es que en la etapa final de la intervención, se refirió a los modelos científicos como construcciones humanas, como aproximaciones a la realidad determinadas por la visión de mundo de su constructor. Lo que permite entrever que logró comprender los modelos científicos como construcciones inciertas producto de la actividad humana.

Tabla 8.29. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<p><i>“La ciencia no es segura, pero es progresiva por naturaleza. Pues permite la revisión de sus presupuestos y está abierta a nuevos interrogantes”</i></p> <p><i>“Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios”</i></p>	<p><i>“...yo no diría por ejemplo que la cuántica es una teoría definitiva; yo diría que puede resultar una teoría que pueda explicar todo mejor”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i></p>	<p><i>“Yo creo que una teoría se construye porque a alguien le surge una idea nueva o de pronto es que quiere mejorar una teoría que no estaba tan bien hecha o que no tenía nada que ver con el experimento”</i></p>
El modelo científico como construcción humana	<p><i>“Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye”</i></p> <p><i>“Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos”</i></p>	<p><i>“Así como la ciencia, los modelos también son contruidos por humanos, por personas como nosotros y cada cual puede tener una interpretación diferente de lo que quiere representar, eso depende del punto de vista de cada persona y de si se quiere aproximar más o no a la realidad¹⁵”</i></p>

La tabla 8.30 muestra las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC, así como algunos comentarios sucintos del desempeño del estudiante 3 en el desarrollo de dichas actividades.

Las actitudes observadas y expresiones transcritas del estudiante 3 en el desarrollo de las actividades referentes al principio 8 de la TASC, es permiten deducir que éste logró cierta comprensión en relación con la incertidumbre del conocimiento; pues aunque sea a nivel de las actividades de modelación realizadas en el aula de clase, admite que siempre existirán modelos que superen los modelos actuales. Evidencia de que los modelos como

¹⁵ La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista final para la subcategoría El modelo científico como construcción humana (tabla 8.23).

elementos en los que se fundamenta el conocimiento científico, son temporales y provisionales.

Tabla 8.30. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	El estudiante 3 procedió a la validación de los modelos computacionales de manera mecánica, asumiendo los modelos como correctos y sin cuestionarse en absoluto sobre las relaciones descritas en la estructura matemática de dichos modelos.
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>En esta actividad, el estudiante 3 trabajo en compañía de otro estudiante y dado que éste intentó la construcción de un modelo y no logró obtener los resultados esperados, su compañero finalmente y después de varios intentos, obtuvo un modelo que fuera satisfactorio.</p> <p>Al finalizar la actividad, el estudiante 3 se refirió a ella de la siguiente manera: <i>“cuando uno ya creía que estaba listo, aparecía cualquier cosita, cualquier variable mal escrita y le dañaba a uno todo; y a pesar de corregir todos los errores que encontraba, me aproximé sí, pero no logré que me funcionara bien del todo; es que uno puede hacerlo de muchas formas, pero igual siempre va a haber alguien que lo haga mejor que uno y que le funcione mejor”¹⁶.</i></p>

En relación con el principio 9 de la TASC: principio de la diversidad de estrategias instruccionales.

Las ideas iniciales del estudiante 3 en relación con las estrategias instruccionales empleadas para la enseñanza de la Física, son mostradas en la tabla 8.31.

Con base en las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial, puede evidenciarse en él una postura absolutamente tradicionalista en relación con las estrategias de enseñanza de la Física. De hecho, existe una fuerte defensa del método científico y una tendencia a priorizar las actividades prácticas.

Las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC, pueden observarse en la tabla 8.32.

¹⁶ El comentario es el mismo presentado para la actividad 9 en la tabla 8.24.

Tabla 8.31. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 9 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 9 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Implementación de estrategias de enseñanza	<p><i>“Los alumnos aprenden correctamente los conceptos científicos solamente cuando realizan actividades prácticas”</i></p> <p><i>“La realización de problemas en clase no es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La manera correcta de aprender ciencias en primaria es aplicando el método científico en el aula”</i></p> <p><i>“La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas no favorece en el alumno la memorización mecánica del contenido”</i></p>	<p><i>“Yo creo que para la enseñanza de la Física sería como bueno salidas al campo. Es que Física no es sólo lo que hay aquí, es que uno puede mirar planetas, constelaciones. Es que a mí me parece que lo más importante es el trabajo práctico, primero observando cosas”</i></p> <p><i>“Lo que yo nunca he entendido es eso, por qué nunca los físicos tienen como salidas al campo; pues con el solo hecho de vos ver un animal saltando, vos estás viendo Física ahí, de una manera muy diferente”</i></p>

Tabla 8.32. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 9 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Implementación de estrategias de enseñanza	<p><i>“Los alumnos no aprenden de modo correcto los conceptos científicos solamente cuando realizan actividades prácticas”</i></p> <p><i>“La realización de problemas en clase no es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico”</i></p> <p><i>“La manera correcta de aprender ciencias en primaria no es mediante la aplicación del método científico en el aula”</i></p>	<p><i>“Yo usaría dos cosas o tal vez tres: la explicación del profesor primero, eso me parece fundamental, otra sería hacer como una mesa redonda y discutir el tema; preguntarle a los estudiantes qué piensan, qué creen; o sea, hacer también como una socialización de un trabajo en grupo, que es donde se genera una discusión; yo usaría eso; y sobre todo, yo los pongo a trabajar en grupos”</i></p> <p><i>“También me gustaría ponerlos a hacer modelos en un computador. En mi caso creo que es algo útil pero a mí no me gustan los computadores, entonces veo como una gran dificultad, pero modelar ciencia en el computador me parece muy bueno. El computador se vuelve ya fundamental para enseñarle a cualquier persona; entonces así no me guste a mí, hay que usarlo”</i></p>

Las respuestas del estudiante 3 al *postest* y a la entrevista final muestran un avance ampliamente significativo en relación con la visión tradicional manifestada al inicio de la intervención. De hecho, ya no se vislumbra ninguna inclinación por la implementación del método científico en el aula de clase, al punto que defiende la explicación teórica del profesor como estrategia inicial para abordar la enseñanza de un tópico determinado. Sin embargo, sigue habiendo una posición tradicional de este estudiante en relación con la realización de problemas en clase; dado que no reconoce esta actividad como una alternativa al método magistral de la enseñanza de las ciencias. Y en lo referente al trabajo con modelos en el computador en la clase de Física, reconoce que es una actividad fundamental para la enseñanza de las ciencias, aunque evidentemente no es de su preferencia.

La tabla 8.33 describe las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC, ejecutadas por el estudiante 3.

A partir del desarrollo de estas actividades, de sus actitudes, propuestas y expresiones, es posible deducir que el estudiante 3 ha adquirido una visión ampliamente cercana al constructivismo, en lo que se refiere a la implementación de estrategias instruccionales para la enseñanza de la Física. Y en la actividad 10 hace una interesante reflexión cuando se refiere a que el uso del tablero no puede ser la única estrategia de enseñanza implementada por el profesor para enseñar ciencias.

Síntesis del análisis del estudiante 3

Como ya fue mencionado el estudiante 3 tiene un historial de bajo rendimiento académico en asignaturas propias de su campo disciplinar, lo cual se ve reflejado no solo en los resultados obtenidos en el *test FCI* aplicado al inicio de la intervención, sino en el desempeño logrado en las diferentes actividades de la propuesta didáctica que conformaban este estudio. Del mismo modo y debido a su poca fundamentación conceptual acerca de la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento, se le dificultó enormemente realizar a satisfacción las actividades de modelación computacional de modo expresivo abierto. Mostrándose además muy reacio al desarrollo de actividades computacionales, al manifestar el poco gusto que sentía por el trabajo con estas herramientas.

Tabla 8.33. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC desarrolladas por el estudiante 3.

Actividades asociadas al principio 9 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	A la pregunta: ¿Consideras pertinente el uso de actividades de modelación computacional como estrategia de enseñanza de conceptos físicos?, el estudiante 3 responde: <i>“Realmente lo considero muy oportuno, debido a que el estudiante y también el profesor pueden ver que se pueden utilizar otras formas de enseñar la Física y que no solo es el profesor explicando en el tablero todo lo que ya está escrito en el libro”</i> .
Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional	El estudiante 3 desarrolló esta actividad en compañía de otros dos estudiantes. Ellos construyen un modelo para el movimiento parabólico y las actividades de enseñanza que proponen para orientar a sus futuros estudiantes en la interacción con el modelo computacional son: <ul style="list-style-type: none"> - Interacción libre del estudiante con el modelo, modificando variables. - Se presentan y discuten ejemplos de la vida cotidiana donde se visualice este movimiento. - Se propone a los estudiantes mejorar el modelo computacional.
Actividad 14. Diseño del trabajo final	El estudiante 3 realizó esta actividad con los mismos estudiantes con quienes realizó la actividad 13. Los estudiantes diseñaron dos modelos computacionales para representar la primera y segunda ley de Newton. <p>Las estrategias instruccionales o de enseñanza que proponen para ser implementadas en el aula de clase son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Explicación teórica de los conceptos - Discusión de ejemplos de la vida cotidiana relacionados con los conceptos. - Actividades de modelación computacional - Taller en grupo para discutir los fenómenos presentados en video; y puesta en común de las conclusiones.
Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final	En la defensa de su propuesta, el estudiante 3 expresa lo siguiente: <i>“así como podemos usar muchos materiales para enseñar estos temas, asimismo podemos hacer muchas actividades diferentes en la clase de Física que llamen la atención de los estudiantes y los mantengan motivados para aprender”</i>

Seguidamente se hace una síntesis de su desempeño en relación con las tres categorías en que son agrupados los diferentes principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.

En relación con los principios disciplinares: en lo que se refiere a los principios disciplinares de la TASC y a pesar de las dificultades conceptuales observadas en el

estudiante 3 a lo largo de este estudio, fue posible detectar un cierto progreso de este estudiante en su habilidad para formular preguntas de interés en relación con situaciones problema enmarcadas en el campo de la dinámica Newtoniana. Pues al inicio de la intervención, las preguntas planteadas por este estudiante fueron clasificadas en un nivel bajo, aumentando a un nivel medio en las últimas actividades relativas al principio del cuestionamiento.

Asimismo, en cuanto al principio 3 de la TASC -el aprendiz como perceptor/representador- las reflexiones finales sugieren que éste ha adquirido cierta comprensión acerca de la relación percepción-representación; sin embargo, la poca fundamentación conceptual, o más bien, la débil percepción que ha adquirido del campo de la dinámica Newtoniana, no le permite a este estudiante construir modelos satisfactorios para llevar a cabo una adecuada representación de situaciones problemas enmarcadas en este campo de conocimiento.

Con base en las diferentes actividades de la propuesta didáctica relativas al principio del conocimiento como lenguaje, puede detectarse que el estudiante 3 logra una comprensión e interpretación aceptable de algunos de los conceptos propios de la modelación científica a partir de la ejecución de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.

En relación con los principios epistemológicos: la información obtenida para el estudiante 3 en lo que se refiere a los principios epistemológicos de la TASC, arrojó importantes evidencias de haber adquirido una conciencia semántica en torno al modelo como representación de la realidad. Del mismo modo y aunque mostró serias dificultades en las actividades referentes al análisis crítico de los modelos, por medio de la detección de errores, este estudiante en sus expresiones muestra indicios de haber comprendido el papel fundamental que desempeña el error en la modelación científica.

Los resultados que surgen del análisis de los datos del estudiante 3 también muestran un progreso significativo de este estudiante en relación con la concepción de modelo, aunque no es tan claro el hecho de que haya internalizado la idea de multirepresentación. Asimismo, adquiere una visión más crítica y reflexiva en torno a la incertidumbre del

conocimiento científico; y de modo particular a la incertidumbre de los modelos científicos como elementos constituyentes del conocimiento.

En relación con los principios didácticos y las tentativas de transposición didáctica: a pesar de que al estudiante 3 le cuesta mucha dificultad pensar la Física para enseñarla y así como él mismo lo expresó al inicio de la intervención, no se visualiza en un futuro como profesor de Física; el enfoque didáctico implementado le permitió llevar a cabo algunas reflexiones acerca de la enseñanza de la Física a partir del uso de otros recursos diferentes al libro de texto. Y podría decirse lo mismo en cuanto a la conciencia adquirida acerca del uso de diversas estrategias instruccionales o de enseñanza, donde el estudiante hace alusión a la necesidad de implementar otras formas de enseñar la Física.

En cuanto a las tentativas de transposición didáctica realizadas por el estudiante 3 a partir del diseño de modelos para ser implementados con sus futuros estudiantes, es importante resaltar que aunque la propuesta didáctica implementada tuvo una gran influencia en el progreso de sus concepciones epistemológicas y didácticas; el débil dominio que tenía este estudiante sobre el campo conceptual de la dinámica Newtoniana y su poca habilidad para el manejo de las herramientas computacionales, dificultó en gran medida el desarrollo de una adecuada transposición didáctica, en términos de la conversión de un evento o fenómeno físico real en un modelo computacional que lo representara y que posibilitara su comprensión.

Estudiante 4

Este estudiante tenía 21 años de edad, nunca había laborado y se encontraba cursando el séptimo nivel de su carrera en la que había reprobado el curso de Métodos II. Este estudiante había tenido un buen desempeño a la largo de la carrera y mostraba un gran interés por los asuntos relacionados con la enseñanza de su disciplina y de la didáctica como tal. Había realizado previamente lecturas relacionadas con la epistemología y filosofía de la ciencia; lo cual se veía reflejado en sus actitudes a la hora de enfrentarse a las diferentes actividades propuestas en este estudio. La información aportada por este estudiante y su respectivo análisis es presentada a continuación.

En relación con el principio 1 de la TASC: principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

La tabla 8.34 aporta información acerca de las preguntas formuladas por el estudiante 4 y el nivel de valoración que se le da a estas preguntas; mostrando así su progreso en la habilidad para formular preguntas.

Tabla 8.34. Preguntas formuladas por el estudiante 4 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
<p>Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.</p>	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Qué tipo de trayectoria sigue el balón? ¿A qué distancia está la cesta?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuál es el período? ¿Cuál es la trayectoria de la masa?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Cuáles son las ecuaciones del movimiento? ¿Qué sucede con el período y la frecuencia para pequeñas oscilaciones?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Qué tipo de movimiento se observa? ¿Cuál es el efecto del líquido viscoso?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿En qué consiste la resonancia? ¿Cuáles son las ecuaciones del movimiento?</p>	<p>Bajo-medio</p>
<p>Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración</p>	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Qué es lo que causa que el movimiento sea parabólico? ¿Cambia la velocidad en la coordenada X?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> En virtud de que la fuerza es constante y es la misma aplicada a los tres bloques, ¿cuál es la razón para obtener diferentes aceleraciones? ¿Qué relación podemos ver entre fuerza y aceleración?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> Dé una interpretación física del parámetro $A_2$¹⁷. ¿Cambian los resultados al variar la masa y mantener los demás parámetros constantes?</p>	<p>Medio</p>

¹⁷ En el modelo del paracaídas el parámetro A_2 se refiere a la posibilidad de usar o no el paracaídas.

<p>Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto</p>	<p><u>Modelo computacional: fricción entre sólidos</u> ¿En qué momento pasa el coeficiente estático a ser dinámico? ¿Cómo varía el coeficiente de fricción y la fuerza de fricción en el tiempo?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué sucede cuando se abre el paracaídas? ¿Cómo se comporta la velocidad del cuerpo antes y después de abrir el paracaídas?</p>	<p>Medio</p>
<p>Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto</p>	<p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical:</u> ¿Por qué el movimiento del péndulo se va atenuando? ¿Qué hace que esto suceda? ¿Qué relación tiene la velocidad con la dispersión del medio?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical:</u> ¿Cómo se comportan la velocidad, aceleración y posición en función del tiempo? ¿Qué comportamiento tiene la velocidad tangencial, la aceleración centrípeta y la fuerza?</p> <p><u>Un cuerpo que oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso:</u> ¿Cómo es el movimiento de un oscilador armónico sumergido en un fluido? Descríbalo.</p>	<p>Medio-alto</p>

Las preguntas inicialmente formuladas por el estudiante 4 se ubican entre un nivel bajo y medio; y es que de alguna manera, estas preguntas indagan por valores numéricos, ecuaciones; y además inducen las respuestas. En el transcurso de la implementación de la propuesta didáctica, las preguntas formuladas por este estudiante fueron evolucionando de tal manera que al final de la intervención sus preguntas se ubicaban entre el nivel medio y el nivel alto.

En relación con el principio 2 de la TASC: principio de la diversidad de materiales educativos.

En la tabla 8.35 son mostradas las concepciones iniciales del estudiante 4 en relación con el uso de materiales educativos para la enseñanza de la Física.

A partir de las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial, puede verse que hay una cierta defensa al libro de texto. Además, tal y como sucedió con el estudiante 3, este estudiante evade por completo la pregunta planteada acerca de los materiales de

enseñanza que implementaría con sus futuros estudiantes; y en el fragmento de respuesta a la entrevista inicial transcrito en la tabla 8.35, aunque bastante difuso, podría pensarse que se refiere más a lo que sería una estrategia de enseñanza.

Tabla 8.35. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 2 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 2 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Implementación de recursos para la enseñanza	<p><i>“La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos”</i></p>	<p><i>“Sería como que los estudiantes miren por qué tienen este término en esta ecuación, mira esta bolita aquí, mira esta masa allá; y juntos conversemos y miremos como qué pueda ser...”</i></p>

Las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC, son descritas en la tabla 8.36.

Tabla 8.36. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 2 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Implementación de recursos para la enseñanza	<p><i>“La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos”</i></p>	<p><i>“Pues debemos tener en cuenta que esta es una generación audiovisual; y hay demasiadas herramientas audiovisuales que uno puede aplicar como en la enseñanza de la Física; y el computador es una buena opción; y si es para trabajar con modelos computacionales, muchísimo mejor”</i></p>

Aunque en sus respuestas a la entrevista final el estudiante 4 no es muy explícito en relación con los materiales o recursos de enseñanza que implementaría con sus futuros estudiantes; esta expresión así como las respuestas al *postest* nos permiten valorar en él una visión con más tendencia al constructivismo. Sin embargo, sorprende que solo se refiera al computador como recurso de enseñanza y que no haga referencia a otras posibilidades.

Las actividades de la propuesta didáctica referidas al principio 2 de la TASC y algunos comentarios relacionados con el desempeño del estudiante 4 en dichas actividades, son descritas en la tabla 8.37.

Tabla 8.37. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 2 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 14. Diseño del trabajo final	<p>El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante. Los estudiantes construyen un modelo para tratar el problema de los marcos de referencia y consideran que sería apropiado para una clase introductoria de Física.</p> <p>Los principales materiales educativos que proponen son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Videos e ilustraciones que ejemplifiquen la situación física de los marcos de referencia. - Un modelo computacional. - Uso de textos consultados por los estudiantes
Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final	<p>En la discusión del trabajo final, el estudiante 4 expresa lo siguiente en relación con los materiales de enseñanza: <i>“es posible usar diferentes materiales que contribuyan a la comprensión del concepto; por ejemplo los videos e ilustraciones sirven para que el alumno tenga un primer acercamiento a los conceptos; y usamos el modelo computacional para afianzar los conocimientos ya adquiridos sobre los marcos de referencia. También los estudiantes consultan sobre el tema y las notas que traen las comparten con sus compañeros y se convierten en otro material de apoyo; hay muchas posibilidades, sólo que tenemos que ser creativos”</i></p>

A pesar de que en la entrevista final el estudiante 4 hizo referencia únicamente al computador como material de enseñanza, su participación en las actividades 14 y 15 de la propuesta didáctica muestran evidencias de una concepción más constructivista en relación con el tipo de recursos implementados en el aula de clase y con el propósito de su implementación, contemplando otras posibilidades diferentes al uso del texto escolar.

En relación con el principio 3 de la TASC: principio del aprendiz como perceptor/representador.

Este principio nos permite valorar la concepción del estudiante 4 sobre el papel que juega la percepción en la representación; es decir, en la construcción de modelos científicos.

En la entrevista inicial el estudiante 4 se refiere al papel de la percepción en los siguientes términos: “a mí la percepción me parece muy importante porque si una persona construye

un modelo, ese modelo va a estar lleno de todas las cosas que esa persona lleva consigo de la Física; o sea, de sus conocimientos, de su matemática, de cómo mira el mundo; pues, porque igual la ciencia está transformando tu visión de mundo, cada vez que adquieres más conocimiento, tu visión de mundo se transforma; entonces si tú vas a construir un modelo sobre algo tienes una visión más o menos completa con respecto a ciertos aspectos; eso sí, según tu formación académica y de la forma cómo crees que van a ser las cosas”. A partir de esta expresión se puede deducir que este estudiante tiene cierta claridad acerca de la relación existente entre la percepción y la representación en el proceso de construcción de modelos.

En la entrevista final este estudiante nuevamente es indagado acerca de la importancia de la percepción en el proceso de construcción de modelos; y al respecto responde:

“yo pienso que lo que uno hace en un modelo, que lo que está representando con éste es lo que uno sabe; o sea, que la formación académica que uno tiene se ve representada en los modelos que hace; y también la visión que uno tiene del mundo. Supongamos que nos hubieras dicho que hiciéramos algún modelo de estos cuando empezamos el primer semestre de la carrera, seguro que ninguno habría logrado hacer nada; o sea, si no teníamos ni las teorías, ni los conceptos, ni las ecuaciones, no hubiéramos hecho nada... por eso todo lo que hemos percibido durante la formación que hemos tenido lo mostramos con los modelos que hicimos”.

Sin duda alguna la expresión del estudiante 4 en la entrevista final, permite ver que se ha afianzado más su idea acerca de la relación percepción-representación; pues este estudiante hace énfasis en la representación como producto de la percepción, del conocimiento previo.

Las actividades de la propuesta didáctica que aportan información relevante sobre el principio 3 de la TASC y algunos comentarios relacionados con el desarrollo de estas actividades por parte del estudiante 4, pueden verse en la tabla 8.38.

En las expresiones del estudiante 4 descritas en los comentarios relacionados con las actividades 9 y 10, se reitera una vez más el valor que atribuye este estudiante a la representación como producto de la percepción; haciendo énfasis en la necesidad de tener

un conocimiento -percepción- adecuado de los conceptos relativos a un fenómeno, para lograr construir un modelo que lo represente.

Tabla 8.38. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 3 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 3 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 4 conformó una dupla con otro de los estudiantes del curso. De las cuatro situaciones propuestas, ellos construyeron modelos para tres de esas situaciones -objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical y un cuerpo que oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso-.</p> <p>Al finalizar esta actividad, el estudiante 4 expresó lo siguiente: <i>“yo creo que por más que uno sepa manejar el Modellus, si uno no tiene bien claros los conceptos físicos y las teorías; y si además no conoce las ecuaciones que están por detrás de cada modelo o si no las entiende, uno no sería capaz de construir un modelo; pues, por lo menos un modelo que fuera útil”</i></p>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	<p>A la pregunta: <i>¿consideras importante la percepción del modelador en el proceso de construcción de modelos computacionales?</i>, el estudiante 4 respondió: <i>“Claro que sí, ya que la forma como el modelador entiende y visualiza el mundo y un fenómeno en concreto influye completamente en la forma como éste elabora un modelo computacional”</i></p>

Vale resaltar que el estudiante 4 participó activamente en el proceso de construcción de modelos relativo a la actividad de modelación computacional de modo expresivo, construyendo modelos adecuados para representar las situaciones planteadas.

En relación con el principio 4 de la TASC: principio del conocimiento como lenguaje.

En la tabla 8.39 se muestran algunas expresiones del estudiante 4 en las diferentes actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC, a partir de las cuales pueden obtenerse evidencias de su progreso en la comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados relacionados con el lenguaje propio de la modelación científica.

Al igual que el estudiante 3, las respuestas que da el estudiante 4 a las preguntas planteadas para la discusión del artículo son muy limitadas al texto y poco permiten hacer una interpretación de la comprensión que tiene el estudiante sobre estos conceptos. No

obstante, en la actividad 6 se obtienen algunos indicios de que ha logrado una mejor comprensión de conceptos como: referentes, idealizaciones y de manera más implícita, del dominio de validez de un modelo. En este sentido, en la actividad 6 hace alusión a los referentes que considera en la exploración del modelo computacional relativo al tiro parabólico, refiriéndose a aquellos objetos que efectivamente juegan un papel fundamental en el análisis del sistema físico representado. Del mismo modo, se refiere a las idealizaciones consideradas para el mismo modelo, mencionando que estas simplifican el modelo.

Tabla 8.39. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 4 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo	<p>El estudiante 4 realiza la lectura del artículo en compañía de otro estudiante. A continuación se describen sus respuestas a las preguntas que orientaron la discusión del artículo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué se entiende por modelación científica?: “es un proceso de creación de esquemas para comprender la realidad” 2. ¿Qué se entiende por modelo conceptual?: “representación de un sistema o fenómeno natural que acepta la comunidad científica” 3. ¿Qué se entiende por referentes?: “son los objetos relevantes y de interés que serán estudiados en la situación propuesta” 4. ¿Qué se entiende por idealizaciones?: “la idealización es como una aproximación al sistema real”
Actividad 6. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM	<p>Al finalizar la actividad 6 se generó una discusión en la que el estudiante 4 expresó: “yo veo los referentes como los objetos físicos que hacen parte del sistema que estoy analizando, por ejemplo el balón, el sujeto que lo lanza, la tierra que genera la gravedad; y así”. “Las idealizaciones es como hacer el fenómeno más simple de analizar; es decir, por ejemplo en el tiro parabólico, yo considero el balón como un punto material, no considero la resistencia del aire y asumo que la trayectoria se da en dos dimensiones; y esas simplificaciones me muestran un modelo que puede alejarse más de la realidad, pero que es más simple para entender el fenómeno”.</p>

Otro concepto fundamental en la modelación científica al que de manera más implícita hace alusión el estudiante 4, tiene que ver con el dominio de validez de un modelo. En este sentido, el estudiante 4 considera que entre más idealizaciones o simplificaciones tenga un modelo, más se aleja de la realidad; lo que implica que se reduce su contexto o dominio de validez.

En la entrevista final el estudiante 4 nuevamente hace referencia al dominio de validez de un modelo, así como al concepto de idealización. Al respecto afirma lo siguiente:

“Yo pienso que un modelo necesariamente debe ser cambiado por otro en el momento en que no te dé resultados óptimos; cuando se tengan que hacer tantas idealizaciones que el dominio de validez sea mínimo”.

En estos términos consideramos que el estudiante 4 ha logrado comprender e interpretar significados relativos al lenguaje propio de la modelación científica, pero que además ha logrado un intercambio de tales significados a partir de la interacción social mediante el trabajo en grupo.

En relación con el principio 5 de la TASC: principio de la conciencia semántica.

La tabla 8.40 muestra algunas de las principales reflexiones iniciales hechas por el estudiante 4 en el *pretest* y en la entrevista inicial para referirse a la relación entre modelo y realidad.

Tabla 8.40. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 5 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 5 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación entre modelo y realidad	<p>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</p> <p>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</p> <p>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</p>	<p>“Pues un modelo científico es como un conjunto..., como simbólico que tiene como una correlación directa con el fenómeno; pues, como una relación directa”</p> <p>“Entonces yo puedo tener como una visión de la realidad a partir de algo simbólico que usa el hombre para poder acceder como a los fenómenos naturales”</p>

Desde un inicio el estudiante 4 demostró tener una gran claridad de las ideas relacionadas con la ciencia en general y con la modelación científica en particular. Sus repuestas al *pretest* corresponden todas a una visión constructivista de la relación entre modelo y realidad; y en el fragmento de la entrevista inicial que se transcribe para hacer referencia al principio 5 de la TASC, este estudiante utiliza una expresión que podemos considerar altamente adecuada para referirse a los modelos y completamente coherente con lo que sugiere este principio; y es que los concibe como símbolos que tienen una correlación

directa con el fenómeno y que son construidos por el hombre para tener acceso a los fenómenos reales.

Las respuestas del estudiante 4 en el *postest* y en la entrevista final para referirse a la relación existente entre modelo y realidad, pueden verse en la tabla 8.41.

Tabla 8.41. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 5 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 5 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación entre modelo y realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“Pues un modelo es como una manera de representar o de simbolizar un acontecimiento o un fenómeno; los modelos vendrían siendo como símbolos que facilitan que las personas puedan acceder mediante ellos a la comprensión de fenómenos reales”</i></p>

A partir de las respuestas aportadas por el estudiante 4 en el *postest* y en la entrevista final, podríamos decir que entra a fortalecer la visión actualizada que mostró al inicio del estudio acerca de su comprensión sobre la relación modelo-realidad. Todas las respuestas al *postest* manifiestan una visión constructivista; y el fragmento descrito de la entrevista final refleja una mayor conceptualización de este estudiante en relación con los modelos, considerándolos como formas de representar y/o simbolizar un acontecimiento o fenómeno para facilitar su comprensión.

Las actividades que ofrecen información acerca del principio 5 de la TASC concerniente a la relación modelo-realidad y algunos breves comentarios relacionados con el desempeño del estudiante 4 en cada actividad, pueden verse en la tabla 8.42.

En la primera actividad de la propuesta didáctica, el estudiante reafirma una vez más su concepción constructivista en torno a la relación entre modelo y realidad, considerando que existe una relación directa entre el modelo y el fenómeno de la naturaleza; admitiendo que el modelo no es copia de la realidad, cuando se refiere a que éste trata de parecersele.

Asimismo, en la actividad 10 posterior a las actividades de modelación computacional, el estudiante 4 no se expresa de manera explícita en torno a la relación modelo-realidad; pero al referirse a conceptos como límites de validez del modelo e idealizaciones, implícitamente manifiesta una visión de modelo como una representación de un fenómeno real, simplificada e idealizada.

Tabla 8.42. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 5 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 5 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo	Durante la discusión del artículo, el estudiante 4 se refiere a lo siguiente: <i>“pues yo diría que un modelo es como algo que me ayuda a entender mejor la naturaleza, los fenómenos que están en ella; y que el modelo tiene como una relación directa con esa naturaleza, tratando de parecersele”</i>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	A la pregunta: <i>¿Contribuyen las actividades de modelación computacional a enriquecer tu visión sobre la modelación científica?</i> , el estudiante 4 responde: <i>“Sí, porque para modelar computacionalmente; es decir, para hacer un modelo en el computador, se debe entender primero lo que es un modelo y lo que es modelar, en los términos científicos; y también se deben considerar los límites del modelo y las idealizaciones”</i>

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

Las subcategorías correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial relacionadas con el principio 6 de la TASC y que se refieren a la valoración crítica de los modelos que hace el estudiante 4, son descritas en la tabla 8.43.

En relación con el principio 6 de la TASC que pretende una valoración crítica de los modelos por parte de los estudiantes, que les permita considerar el error como algo natural y hasta instructivo en el proceso de modelación, podría decirse que el estudiante 4 muestra una concepción muy vinculada al constructivismo; pues para él, tanto la ciencia como la modelación científica son actividades netamente humanas, que avanzan de acuerdo con los intereses del ser humano y que reflejan la visión de mundo de quien las construye, llevando consigo las subjetividades inherentes a cada persona. Lo que además le da cabida al error dentro de esos procesos de construcción, por ser los errores propios del ser humano.

Sin embargo, en la subcategoría relativa a la relación conocimiento científico-realidad, pudo observarse una visión tradicional del estudiante 4, cuando se refiere a que las teorías

deben estar en total acuerdo con la observación y/o experimentación y que ellas deben corresponderse totalmente con la naturaleza. La tabla 8.44 muestra las respuestas del estudiante 4 en el *postest* y en la entrevista final, lo que permite observar la evolución de sus concepciones en relación con el principio 6 de la TASC.

Tabla 8.43. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Una teoría debe estar en completo y total acuerdo con la observación y/o experimentación”</i>	<i>“Una teoría bien construida te debe mostrar lo que te muestra la naturaleza, debe corresponderse necesariamente con ella”</i>
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Una característica importante de las teorías científicas es la posibilidad de que puedan ser consideradas como incorrectas”</i>	<i>“Se pueden cometer muchos errores al hacer ciencia porque este es inherente al hombre que es quien construye la ciencia”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<p><i>“A mí me parece la ciencia está permeada de todas las interacciones sociales, culturales, los intereses de la gente, la política... me parece que avanza más o menos en la dirección en donde los intereses del hombre han pensado ir”</i></p> <p><i>“Los científicos me imagino que empiezan a partir de una pregunta, de una curiosidad acerca de algo, de una necesidad de resolver un problema, que termina siendo una pregunta. Como que una pregunta se resuelve, y esta deja otras más que son la pauta para las nuevas investigaciones”</i></p>
El modelo científico como construcción humana	<i>“Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos”</i>	<i>“... ese modelo va a estar lleno de todas las cosas que esa persona lleva consigo de la Física; o sea, de sus conocimientos, de su matemática, de cómo mira el mundo. Entonces una persona va a construir un modelo dependiendo de toda su formación académica, de su visión de mundo, de la forma como cree que van a ser las cosas...”</i>

A partir de las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final, puede observarse que ratifica la comprensión inicial que tenía en relación con la ciencia y los

modelos científicos como construcciones humanas falibles. Y en lo concerniente a la relación entre conocimiento científico y realidad, la concepción inicial es superada al considerar que los modelos y las teorías se construyen para explicar la naturaleza mediante aproximaciones, pero que son reflejo fiel de esos fenómenos naturales.

Tabla 8.44. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas no representan la naturaleza tal y como ella es, ni describen y explican los fenómenos naturales de manera completa”</i>	<i>“En algunas ocasiones los científicos tienen como la idea de que lo que se está elaborando tiene una correspondencia total con la naturaleza; y eso no es así, lo que se hace para explicar la naturaleza trata de aproximarse lo más que pueda, pero no es igual”</i>
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios”</i>	<i>“Definitivamente yo me he dado cuenta de algo implícito en las ciencias que es la falsabilidad; yo no sé, una teoría se propone pero puede llegar a ser falsa y cuando se demuestra que es falsa, entonces se propone otra o se deja la pregunta abierta...”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“La ciencia es toda una construcción mental totalmente humana que tiene unas ciertas correspondencias y puede describir de una manera más o menos apropiada en diferentes casos los fenómenos de la naturaleza, y lo que sucede y lo que está en el entorno, pero eso hace parte del imaginario del hombre y depende mucho de la imaginación y de la intuición de quien la está construyendo”</i>
El modelo científico como construcción humana	<p><i>“Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye”</i></p> <p><i>“Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos”</i></p>	<i>“Así como la ciencia, yo diría que el modelo también es una construcción mental, que alguien piensa en algo que quiera representar y cómo hacerlo; y si sale mal lo repite las veces que sea necesario para obtener los resultados deseados; y ahí también juega un papel fundamental la imaginación”</i>

Las actividades de la propuesta didáctica que aportan información relevante acerca del desempeño del estudiante 4 en lo relacionado con el principio 6 de la TASC, pueden observarse en la tabla 8.45.

Tabla 8.45. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional	<p>El estudiante 4 realiza esta actividad en compañía de otro estudiante.</p> <p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u></p> <p>En el análisis de este modelo, el estudiante 4 realiza completamente la actividad de exploración abierta haciendo uso del diagrama AVM. Este estudiante no percibe el error en la estructura matemática del modelo; y pasa a hacer la validación del mismo. En el campo de validación escribe: “el modelo reproduce exactamente los resultados conocidos”.</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>Con base en la exploración de este modelo, el estudiante 4 describe todos los elementos del diagrama AVM; y valida el modelo diciendo que reproduce los resultados conocidos. Aquí tampoco hay indicio alguno de que haya detectado el error existente en la estructura matemática de este modelo.</p>
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante; y al finalizar la actividad expresó lo siguiente: “<i>construir estos modelos fue muy difícil; pues además de ser la primera vez que hacíamos esto; uffff, surgían errores y errores y pensábamos que nunca íbamos a lograr hacer por lo menos uno de los modelos; bueno,... pero pudimos hacer tres; y si siguiéramos intentando seguramente que haríamos el modelo que nos faltó pero además podríamos mejorar mucho los que ya hicimos...</i>”</p>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	<p>A la pregunta: ¿Qué papel juegan los errores en el proceso de construcción de modelos computacionales?, el estudiante 4 responde: “<i>Son fundamentales; pues aunque no nos guste los errores están presentes en todo el proceso de construcción de modelos y se deben tener en cuenta a la hora de modelar; ya que lo pueden alejar a uno del objetivo de la modelación</i>”</p>

En la actividad 8 en la que fueron introducidos intencionalmente errores en la estructura matemática de los modelos computacionales proporcionados a los estudiantes, no hubo indicio alguno de que el estudiante 4 lograra detectar tales errores. Pues de una manera mecánica, tal y como venía desarrollando las demás actividades de modelación computacional, este estudiante completó los diagramas AVM para ambos modelos, basándose únicamente en la animación y en las gráficas arrojadas por el modelo; y dando por hecho que los modelos representaban de manera adecuada el fenómeno. Al finalizar dicha actividad, el estudiante 4 se refirió a ella expresando lo siguiente:

“Nosotros pensamos que esta era una actividad igual que las anteriores; y ahora no sabemos si de pronto los modelos anteriores también tenían errores, eso nos pasa por confiados. Es que como todo funcionaba tan bien y a uno no se le pasa por la cabeza pensar que el computador permite que sucedan esos errores y siga representando el fenómeno tan bien”.

Expresión que sin duda alguna refleja la confianza ciega que depositan los estudiantes en los materiales proporcionados por el profesor, sin permitirse cuestionamientos acerca de la validez de éstos. Y más aún, la sobrevaloración que le asignan al computador, asumiendo que éste difícilmente podría equivocarse.

En las actividades 9 y 10 concernientes a la modelación computacional de modo expresivo abierto y a la valoración de actividades de modelación computacional, respectivamente, las expresiones del estudiante 4 (tabla 8.45) nos dan indicios de que ha logrado incorporar el error y la corrección sistemática de éste como elementos naturales y fundamentales en el proceso de construcción de modelos.

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Las subcategorías correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial asociadas al principio 7 de la TASC y que se refieren a la concepción de modelo que tiene el estudiante 4, son descritas en la tabla 8.46.

A partir de las respuestas del estudiante 4 en el *pretest* y en la entrevista inicial, su visión es vinculada a una concepción constructivista de los modelos y del papel que éstos desempeñan en el conocimiento científico. Asimismo, sus expresiones manifiestan la comprensión de la idea de multirepresentación, al referirse a la existencia de múltiples modelos para explicar un mismo fenómeno.

Las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final asociadas a las subcategorías contempladas para la el principio 7 de la TASC, son descritas en la tabla 8.47.

Tabla 8.46. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación modelo-realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“Pues un modelo científico es como un conjunto..., como simbólico que tiene como una correlación directa con el fenómeno; pues, como una relación directa”</i></p> <p><i>“Entonces yo puedo tener como una visión de la realidad a partir de algo simbólico que usa el hombre para poder acceder como a los fenómenos naturales¹⁸”</i></p>
Función de un modelo	<p><i>“Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos”</i></p>	<p><i>“Un modelo puede dar cabida como a diferentes interpretaciones; es descriptivo, o sea, su finalidad es descriptiva, como explicativa”</i></p> <p><i>“Yo pienso que pueden existir varios modelos para explicar un fenómeno, eso depende de lo que uno quiera”</i></p>

A diferencia de las respuestas del estudiante 4 en el *pretest* y en la entrevista inicial; al final de la intervención se logró una mayor argumentación por parte de éste en lo que concierne a la naturaleza del modelo científico. Así, considera que la existencia de idealizaciones y simplificaciones necesarias en un modelo, permiten ver el modelo como una simple aproximación a la realidad. Asumiendo también que un modelo se construye con la finalidad de describir, explicar y predecir un fenómeno.

Del mismo modo, el estudiante 4 refuerza aún más la idea de multirepresentación que tenía al inicio de la intervención, refiriéndose al ejemplo concreto de la caída de un objeto -bola- y de cómo este fenómeno puede ser explicado inclusive desde diferentes campos de la Física como la cinemática y la dinámica; dependiendo de los objetivos y del grado de precisión deseados.

¹⁸ Las expresiones del estudiante son las mismas presentadas como respuestas a la entrevista inicial para la subcategoría Relación entre modelo y realidad (tabla 8.40).

Tabla 8.47. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación modelo-realidad	<p><i>“Los científicos no describen la realidad en sus mínimos detalles, ni incluyen el mayor número de informaciones posibles, en el proceso de modelación científica de sistemas físicos”</i></p> <p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p>	<p><i>“Sería ideal que el modelo pudiera describir y abarcar todo lo que se quiere estudiar, pero uno tampoco pretende que un modelo describa todo; o sea, los modelos son casos particulares; entonces, que se describa en su totalidad esa situación es imposible; pues hay idealizaciones, hay particularizaciones, hay simplificaciones que hacen que no haya una correspondencia total del modelo con la situación”</i></p>
Función de un modelo	<p><i>“Los modelos científicos deben ser modificados siempre que no estén de acuerdo con los datos empíricos o con el cuerpo de conocimiento ya establecido”</i></p> <p><i>“Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos”</i></p>	<p><i>“Para mí modelo es como una especie de esquema elaborado con sentido lógico que tenga como una finalidad descriptiva; o más bien predictiva; descriptiva, predictiva y explicativa; entonces por ejemplo cuando yo hablo de modelo matemático hablo como de las relaciones matemáticas que corresponden a cierta descripción de algún fenómeno; pues, yo no sé, el modelo es como una especie de esquema y de organización que se hace con una finalidad descriptiva, predictiva y explicativa de algo, de algo físico, por ejemplo de un fenómeno”</i></p> <p><i>“Yo pienso que pueden existir varios modelos para explicar un fenómeno; por ejemplo, la caída de una bolita, vos la podés explicar desde un modelo dinámico, cinemático, vos podés hacer ley de la gravitación, vos podés hacer movimiento uniformemente acelerado, pues, o sea, hay muchas formas de explicar, es que es explicativo y predictivo; entonces la explicación puede ser visualizada desde diferentes puntos de vista, según el interés o según el modelo que más se parezca a lo que necesites, a la finalidad”</i></p>

En la tabla 8.48 se muestran las actividades de la propuesta didáctica referidas al principio 7 de la TASC, así como unos breves comentarios acerca del desempeño del estudiante 4 en estas actividades.

Tabla 8.48. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante; mientras construían los modelos, hubo un momento en el que decidieron trabajar de manera independiente para construir uno de ellos; lo que generó dos modelos funcionales pero con características diferentes. Esta situación generó una discusión entre los estudiantes para llegar a un consenso y elegir uno de los dos modelos.</p> <p>En dicha discusión, el estudiante 4 expresó lo siguiente: <i>“a mí me gusta mi modelo y me parece que representa bien la situación, pero si quieres también podemos dejar el tuyo y le ponemos algunas cositas para que se vea más bonito”</i></p>
Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional	El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante, proponiendo una situación y tratando de construir el modelo de manera individual; razón por la cual surgieron dos modelos y debieron decidir cuál de los dos querían presentar como resultado de la actividad.

Tanto la actividad 9 como la 13, propiciaron situaciones adecuadas para favorecer la comprensión del concepto de multirepresentación por parte de los estudiantes. En este caso, la expresión del estudiante 4 en el desarrollo de la actividad 9 permite reconocer la internalización de la idea de multirepresentación por parte de este estudiante, haciendo referencia a la funcionalidad de ambos modelos para representar la situación deseada; y usando más bien criterios de selección de carácter estético, que pasarían aquí a un segundo plano.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de la incertidumbre del conocimiento.

En la tabla 8.49 se muestran las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial relacionadas con el principio 8 de la TASC que se refiere a la incertidumbre del conocimiento; también se muestra la visión del estudiante 4 en relación con este principio.

El estudiante 4 refleja una visión puramente tradicional en lo que se refiere a la falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico -contrario a la visión inicial que reflejaba al analizar la misma subcategoría en el principio 6 de la TASC-, considerando que a pesar de que una de las características de las teorías es que puedan mostrarse como incorrectas,

aquellas que superaron las pruebas experimentales son teorías que pueden contemplarse como definitivas.

Tabla 8.49. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Las teorías científicas apoyadas en la observación y en la experimentación, no pueden ser incorrectas”</i>	<i>“Yo pienso que uno sí podría decir que hay teorías ya definitivas y que son por ejemplo aquellas que ya han superado toda prueba experimental”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“ si algo puede ser falso en cierto punto; y cuando es falso entonces se propone algo nuevo, siempre está como cambiando en el tiempo; o sea no es algo que se quede estático, no es algo ya terminado, no es algo definitivo para nada, es algo que se está transformando en el tiempo”</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye”</i>	<i>“... entonces una persona va a construir un modelo dependiendo de toda su formación académica, de su visión de mundo, de la forma como cree que van a ser las cosas; pero si de pronto ese modelo no se puede corroborar tiene que construir otros nuevos”</i>

De otro lado, el estudiante 4 considera la ciencia y la modelación científica como construcciones humanas que no son estáticas ni definitivas y que por el contrario se encuentran en permanente cambio y evolución.

Las respuestas del estudiante 4 en el *postest* y en la entrevista final que se refieren al principio 8 de la TASC, pueden observarse en la tabla 8.50.

La visión constructivista que reflejaba el estudiante 4 al inicio de la intervención en relación con la ciencia y la modelación científica como construcciones humanas, se ve fortalecida con los nuevos argumentos que utiliza para referirse a ello. De otro lado, podría decirse que es satisfactoriamente superada la visión tradicional que manifestaba en el *pretest* y en la entrevista inicial; haciendo referencia ahora al concepto de falsabilidad,

contemplando la posibilidad de que las teorías no sean perfectas ni definitivas y que más bien puedan llegar a ser falsas, requiriendo la construcción de nuevas teorías.

Tabla 8.50. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<p><i>“La ciencia no es segura, pero es progresiva por naturaleza. Pues permite la revisión de sus presupuestos y está abierta a nuevos interrogantes”</i></p> <p><i>“Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios”</i></p>	<p><i>“Definitivamente yo me he dado cuenta de algo implícito en las ciencias que es la falsabilidad; yo no sé, una teoría se propone pero puede llegar a ser falsa y cuando se demuestra que es falsa, entonces se propone otra o se deja la pregunta abierta...¹⁹”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i></p>	<p><i>“Uno ve por ejemplo que existieron unos físicos brillantes que formularon ciertas teorías y que, pues, en su momento eso era lo último, la última invención; y con seguridad que los de su época pensaron que no se iban a crear más teorías sobre lo mismo: pero ahora vemos que sí, que surgen nuevos interrogantes y que para resolverlos, pues toca que los científicos de la actualidad formulen otras leyes, otras teorías...”</i></p>
El modelo científico como construcción humana	<p><i>“Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye”</i></p> <p><i>“Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos”</i></p>	<p><i>“Con los modelos científicos, eehhh; pues yo diría que es igual que con las teorías; que los modelos de nuestros antepasados han tenido que ser cambiados para poder explicar las cosas que nos toca ver ahora”</i></p>

Las actividades de la propuesta didáctica referidas al principio 8 de la TASC y algunos comentarios sobre el modo en que el estudiante 4 se enfrentó al desarrollo de tales actividades, son presentados en la tabla 8.51.

¹⁹ La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista final para la subcategoría La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico (tabla 8.44).

Tabla 8.51. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	En esta actividad, el estudiante 4 realiza la exploración de los modelos y su respectiva validación, de manera totalmente mecánica, sin detectar los errores incorporados intencionalmente en la estructura matemática de los modelos.
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante; y al culminar la actividad expresó lo siguiente: <i>“construir estos modelos fue muy difícil; pues además de ser la primera vez que hacíamos esto; uffff, surgían errores y errores y pensábamos que nunca íbamos a lograr hacer por lo menos uno de los modelos; bueno,... pero pudimos hacer tres; y si siguiéramos intentando seguramente que haríamos el modelo que nos faltó pero además podríamos mejorar mucho los que ya hicimos...”</i> ²⁰ .

Las expresiones del estudiante 4 durante el proceso de construcción de modelos computacionales nos aportan valiosos indicios de que ha comprendido la noción de incertidumbre del conocimiento; de tal manera que considera que aunque los modelos que crearon eran funcionales, era posible hacer una modificación de los mismos en el intento de perfeccionarlos. Asimismo, una respuesta del estudiante 4 en el análisis del principio 3 de la TASC, también fue contemplada como evidencia del principio de incertidumbre del conocimiento; y se refiere a la posibilidad que contempla este estudiante de mejorar los modelos computacionales para una mejor adaptación a la realidad.

En relación con el principio 9 de la TASC: principio de la diversidad de estrategias instruccionales.

Las ideas iniciales del estudiante 4 en relación con las estrategias instruccionales empleadas para la enseñanza de la Física, son mostradas en la tabla 8.52.

A partir de las respuestas del estudiante 4 en el *pretest*, puede notarse que éste tiene esencialmente una visión tradicional de la enseñanza de las ciencias; sin embargo, en la entrevista inicial se opone a la clase magistral, defendiendo ampliamente el trabajo en grupo, la interacción y el diálogo para lograr una construcción conjunta de conceptos. Sin duda alguna este estudiante tiene conciencia acerca de la necesidad de hacer cambios a nivel de las estrategias para enseñar ciencias, pero en su último comentario parece

²⁰ El comentario es el mismo presentado para la actividad 9 en la tabla 8.45.

desfallecer en el intento de generar ciertos cambios y más bien conformarse con la forma tradicional de enseñar ciencias.

Tabla 8.52. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 9 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 9 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Implementación de estrategias de enseñanza	<p><i>“La realización de problemas en clase no es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“El profesor no tiene autonomía para construir su propia metodología para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos”</i></p> <p><i>“El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico”</i></p> <p><i>“En la clase de ciencias es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos”</i></p> <p><i>“La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas no favorece en el alumno la memorización mecánica del contenido”</i></p>	<p><i>“A mí me gusta la metodología que es muy cercana como al aprendiz; o sea que uno no es una persona que está parada en un muro que está elevado a unos cuantos centímetros del suelo y el estudiante está abajo y vos estás en un tablero y el estudiante sentado escuchándote como tipo clase magistral; más bien, me gustan las que son cercanas; o sea, tenemos un diálogo, ambos nos enriquecemos, vamos a formar un concepto juntos, cómo podría ser; o sea, qué creen acerca de él, generar un debate, generar como interés; y a partir de las cosas que ellos sienten también cercanas, o sea, de su realidad, de cosas que sean como táctiles; pues, que ellos se manifiesten directamente...”</i></p> <p><i>“...ahh, pero eso es como muy difícil de cambiarlo, pues parece que en la forma tradicional a muchos les funciona mejor”</i></p>

Las reflexiones del estudiante 4 en relación con el principio 9 de la TASC al finalizar la intervención, son descritas en la tabla 8.53.

El estudiante 4 afianza su idea de la necesidad de que el conocimiento sea socialmente construido y no dado al estudiante completamente terminado y hace referencia a que el profesor de ciencias puede valerse de muchas cosas para su enseñanza, pero no es explícito al respecto. Como posible estrategia instruccional, este estudiante solamente se refiere a la implementación de actividades de modelación computacional usadas en una etapa final de la enseñanza de un determinado tópico para asegurar que los estudiantes tienen ya un cierto dominio de los conceptos.

Tabla 8.53. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 4 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 9 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Implementación de estrategias de enseñanza	<p><i>“La realización de problemas en clase no es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico”</i></p> <p><i>“Cada profesor construye su propia metodología para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas favorece que el alumno memorice mecánicamente el contenido”</i></p>	<p><i>“Bueno..., las estrategias serían más que todo como una especie de diálogo; como llegar a unas conclusiones propias de las cosas; porque por ejemplo que el profesor coja un péndulo y explique diferentes posibles cosas y ponga a los estudiantes a predecir lo que puede suceder; o sea, hacer como una construcción mutua entre el profesor y los estudiantes y todos ir construyendo lo que pensamos; o sea, ya no es simplemente escuchar el conocimiento ya completo y terminado, sino que es una construcción y es también un reto intelectual, decir cómo explicaría yo esto y esto; y hay muchas cosas que desafían la intuición de la gente y valerse de eso también”</i></p> <p><i>“Yo utilizaría los modelos computacionales con mis estudiantes, pero tener ya el modelo terminado y que ellos ya interactúen; pero eso a mí me parece como una etapa ya final, no como en una etapa inicial, pues la idea es que ellos ya dominen o al menos conozcan los conceptos que van usar cuando interactúen con el modelo”</i></p>

En la tabla 8.54 pueden observarse las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC y algunos comentarios acerca del desempeño del estudiante 4 en la ejecución de dichas actividades.

Las expresiones y propuestas del estudiante 4 en el desarrollo de las actividades de la propuesta didáctica relacionadas con el principio 9 de la TASC, sugieren que este estudiante ha logrado una visión más adecuada en relación con la implementación de estrategias de enseñanza; y aunque valora ampliamente el uso de actividades de modelación computacional para la enseñanza de la Física, propone muchas más alternativas para la enseñanza de conceptos propios de esta disciplina.

Tabla 8.54. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC desarrolladas por el estudiante 4.

Actividades asociadas al principio 9 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	A la pregunta: ¿Consideras pertinente el uso de actividades de modelación computacional como estrategia de enseñanza de conceptos físicos?, el estudiante 4 responde: <i>“A mí me parece muy importante tener una herramienta como esta para enseñar Física, porque así el estudiante puede tener una visión más clara y precisa de muchos temas que en la teoría se quedan muy abstractos”</i>
Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional	El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante. Construyeron un modelo para representar el movimiento de una partícula con una fuerza constante aplicada y en presencia de fricción. Las actividades de enseñanza que proponen para orientar a sus futuros estudiantes en la interacción con el modelo computacional son: <ul style="list-style-type: none"> - Se propone un taller en el que se orienta la exploración del modelo y se pide a los estudiantes modificar variables y observar los efectos. - Se propone formar grupos de tres personas para discutir aspectos como: los referentes e idealizaciones que contiene el modelo. - Se incentiva a cada grupo a proponer un experimento que permita abordar los conceptos trabajados mediante la modelación. - La evaluación de los conceptos se hace mediante preguntas formuladas en relación con el modelo computacional.
Actividad 14. Diseño del trabajo final	El estudiante 4 trabajó en compañía de otro estudiante y propusieron las siguientes estrategias de enseñanza para abordar la enseñanza de los sistemas de referencia: <ul style="list-style-type: none"> - Explicación básica de los conceptos teóricos - Modelación computacional con base en preguntas propuestas para orientar la interacción con el modelo - Taller en grupos - Diseño de experimento por parte de los estudiantes <p>Además de la mayoría de actividades anteriores que consideran evaluables, proponen las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un examen escrito - Exposición oral de la comprensión del concepto - Hacer modificaciones al modelo computacional presentado
Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final	En la exposición del trabajo final, el estudiante 4 expresó lo siguiente: <i>“como uno en las clases de Física está acostumbrado a sentarse en una silla y a esperar que el profesor hable todo el tiempo y llene quien sabe cuántos tableros durante dos horas y no se escucha nunca la voz de un estudiante; uno al principio piensa que es muy difícil proponer actividades para enseñar la Física; pero la verdad es que hay una infinidad de cosas que podemos hacer para que a nuestros estudiantes no les pase lo mismo que a nosotros”</i>

Síntesis del análisis del estudiante 4

Este estudiante estuvo altamente motivado por el desarrollo de las actividades de la propuesta didáctica y en términos generales puede decirse que tuvo un buen desempeño durante todo el proceso de intervención. De modo particular, su fundamentación conceptual acerca de la epistemología de la ciencia, le permitió asumir una actitud más reflexiva y crítica en relación con las actividades de la propuesta didáctica.

A continuación se presenta de una manera sucinta el desempeño del estudiante 4 en relación con las tres categorías en que se agrupan los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.

En relación con los principios disciplinares: en lo que se refiere a los principios disciplinares de la TASC es posible valorar la evolución del estudiante 4 en su habilidad para formular preguntas relevantes acerca de situaciones problema referidas al campo de la dinámica Newtoniana. Al inicio de la intervención, sus preguntas se encontraban entre los niveles bajo y medio; y para el final de la intervención podría decirse que este estudiante ha progresado en la habilidad para formular preguntas, siendo éstas ahora clasificadas en los niveles medio y alto.

Con respecto al principio del aprendiz como perceptor/representador, puede considerarse que el estudiante 4 tiene una adecuada comprensión del papel que juega la percepción en el proceso de construcción de modelos, concibiendo la representación como producto de la percepción. Y esta concepción es ampliamente compatible con la manera en que asume la construcción de modelos computacionales para representar las situaciones físicas previamente percibidas.

Las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 del TASC que hacen referencia al conocimiento como lenguaje, permiten concluir que a partir de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM, el estudiante 4 ha adquirido una adecuada comprensión de algunos conceptos fundamentales de la modelación científica tales como: referentes, idealizaciones y dominio de validez de un modelo.

En relación con los principios epistemológicos: la fundamentación conceptual previa del estudiante 4 en relación con la epistemología de la ciencia, favoreció enormemente su actitud crítica en torno a las diferentes actividades implementadas en la propuesta didáctica, enriqueciendo su visión de la ciencia y de la modelación científica en lo que se refiere a la conciencia semántica acerca de la relación modelo-realidad, a la incertidumbre del conocimiento científico y de los modelos.

A pesar de que este estudiante no obtuvo un desempeño totalmente satisfactorio en el proceso de análisis crítico de los modelos, debido a que no tuvo éxito en las actividades de modelación computacional que contemplaban la detección del error y la corrección del mismo; sus reflexiones en torno a la falibilidad del conocimiento y de los modelos científicos como tal, muestran evidencias claras de haber logrado una valiosa comprensión del principio 6 de la TASC. Asimismo, hay indicios claros de haber internalizado adecuadamente la idea de multirepresentación y del modelo como una representación parcial y aproximada de la realidad.

En relación con los principios didácticos y las tentativas de transposición didáctica: inicialmente el estudiante 4 muestra una cierta inclinación por el libro de texto como recurso para la enseñanza de la Física; y de acuerdo con sus reflexiones al final de la intervención, es posible deducir que consideró otro tipo de recursos, haciendo un fuerte énfasis en los recursos computacionales. En cuanto a las estrategias de enseñanza, desde el inicio de la intervención este estudiante hace interesantes reflexiones en términos de la necesidad de implementar diversas estrategias instruccionales en el aula de clase; y en el transcurso de la implementación de la propuesta didáctica, hace importantes aportes fortaleciendo la idea de que el conocimiento debe ser socialmente construido al interior del aula, proponiendo diferentes posibilidades para lograrlo.

En relación con las tentativas de transposición didáctica llevadas a cabo por el estudiante 4 a partir de la construcción de modelos computacionales para ser implementados con sus futuros estudiantes, puede destacarse que la fortaleza de este estudiante en la fundamentación conceptual acerca de la epistemología de las ciencias jugó un importante papel en la tarea de transformar su percepción acerca de los fenómenos y/o eventos reales enmarcados en el campo de la dinámica Newtoniana, en modelos que se constituyen en

materiales para la enseñanza de conceptos físicos concernientes a este campo de conocimiento.

La actividad de construcción de modelos computacionales para ser utilizados como materiales de enseñanza, le permitió a este estudiante llevar a cabo una serie de operaciones de transposición como: idealizaciones, definición de referentes, delimitación del dominio de validez, entre otras; necesarias para llevar a cabo la transformación del saber a enseñar en el saber enseñado mediante la construcción de un modelo.

Estudiante 5

Con 23 años de edad, el estudiante 5 se encontraba cursando el noveno semestre de su carrera, convirtiéndose en el estudiante más adelantado del curso. No se encontraba laborando y tampoco había reprobado asignaturas en el programa. Este estudiante se distinguía por ser muy callado y preferir el trabajo individual al grupal. Su desempeño académico durante el programa había sido muy bueno; y asimismo fue su desempeño en esta asignatura. Seguidamente es presentado el análisis de la información aportada por el estudiante 5 a través del desarrollo de la propuesta didáctica.

En relación con el principio 1 de la TASC: principio de la interacción social y del cuestionamiento. Enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas.

Las preguntas formuladas por el estudiante 5, su nivel de valoración y el progreso de este estudiante en la habilidad de formular preguntas, pueden visualizarse en la tabla 8.55.

Desde el inicio de las actividades de la propuesta didáctica, este estudiante fue ubicado en un nivel medio en la capacidad para formular preguntas de interés relacionadas con fenómenos de la dinámica Newtoniana. Pues aunque algunas de sus preguntas en la actividad 2 propiciaban respuestas del tipo sí o no, fue el estudiante que mejores preguntas formuló, considerando que la mayoría de ellas indagaba por relaciones entre conceptos. La habilidad para formular preguntas fue progresando en el estudiante 5 de tal modo que al finalizar la intervención, consideramos que sus preguntas se ubicaban en un nivel alto; pues éstas posibilitaban la conceptualización, requiriendo el dominio de conceptos para aportar respuestas.

Tabla 8.55. Preguntas formuladas por el estudiante 5 en cada una de las actividades asociadas al principio 1 de la TASC.

Actividades asociadas al principio 1 de la TASC	Preguntas formuladas por el estudiante para cada actividad	Nivel de las preguntas formuladas
<p>Actividad 2. Formulación de preguntas a partir de situaciones problema referentes a la dinámica Newtoniana.</p>	<p><u>Un jugador de basketball lanza un balón en dirección a la cesta</u> ¿Es la trayectoria realmente parabólica? ¿Es necesario tener en cuenta la curvatura de la tierra?</p> <p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical</u> Si las masas del hilo y el objeto son comparables, ¿el movimiento es armónico simple? ¿Es necesario considerar una amplitud pequeña? ¿Por qué?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical</u> ¿Podemos aproximar el fenómeno a un movimiento armónico simple? ¿Cómo depende el período de la longitud de la varilla y su masa?</p> <p><u>Un cuerpo oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso</u> ¿Qué tipo de movimiento es? ¿El resorte cumple la ley de Hooke?</p> <p><u>Un niño en un columpio es empujado por su padre</u> ¿Qué sistema físico es? ¿De qué manera puede el sistema entrar en resonancia?</p>	<p>Medio</p>
<p>Actividad 3. Modelación computacional de libre exploración</p>	<p><u>Modelo computacional: Tiro parabólico</u> ¿Qué sucede con la velocidad en Y en el punto más alto de la trayectoria? ¿Se puede establecer una relación entre la aceleración y los cambios de velocidad?</p> <p><u>Modelo computacional: Relación fuerza-aceleración</u> ¿Qué se puede decir de la aceleración de cada bloque y qué relación hay entre ellos? ¿Cuál es la relación entre la aceleración y la velocidad en cada situación?</p> <p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Qué sucede si la resistencia del aire es cero y el paracaídas no abre? ¿Existe un valor límite de la velocidad o crece indefinidamente?</p>	<p>Medio</p>
<p>Actividad 7. Modelación computacional de modo exploratorio abierto</p>	<p><u>Modelo computacional: fricción entre sólidos</u> ¿Cuál es la diferencia entre μ_e y μ_c? ¿Cómo se relaciona F con F_f antes y después del movimiento?</p>	<p>Medio-alto</p>

	<p><u>Modelo computacional: Fenómeno del paracaídas</u> ¿Cómo se interpreta la gráfica de la velocidad en Y contra el tiempo para $A_1^{21}=0$? ¿Cómo se comporta la velocidad a lo largo del recorrido?</p>	
<p>Actividad 9. Modelación computacional de modo expresivo abierto</p>	<p><u>Objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical:</u> ¿Se logra observar un cambio apreciable en el período cuando el ángulo θ es variado?, ¿Qué se puede concluir? ¿Qué pasa con el período cuando se varía la longitud del hilo?</p> <p><u>Varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical:</u> ¿Es posible asociar o definir un período a esta situación? Manipulando solo el parámetro de la fricción, ¿es posible llevar las oscilaciones de la varilla a comportarse como un péndulo simple?</p> <p><u>Un cuerpo que oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso:</u> ¿Qué ocurre cuando el amortiguamiento es muy grande? Dejando transcurrir un tiempo muy grande, ¿qué se puede decir acerca de las oscilaciones?</p> <p><u>Un niño en un columpio que es empujado por su padre:</u> ¿Cuándo puede decirse que hay resonancia? ¿Qué ocurre si no se incluye la fricción en el sistema?</p>	<p>Alto</p>

En relación con el principio 2 de la TASC: principio de la diversidad de materiales educativos.

Las ideas que inicialmente tiene el estudiante 5 con respecto al uso de materiales educativos para la enseñanza de la Física, son mostradas en la tabla 8.56.

Tabla 8.56. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 2 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 2 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Implementación de recursos para la enseñanza	<p>“La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias”</p> <p>“La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos”</p>	<p>“Yo utilizaría como videos de los experimentos, sería eso, para que vayan viendo pues como la relación entre la teoría y el experimento y que les quede más claro”</p>

²¹ En el modelo del paracaídas A_1 es el coeficiente de resistencia.

El estudiante 5 refleja una visión con tendencia al constructivismo a partir de las respuestas aportadas por éste al *pretest* y a la entrevista inicial. Al ser indagado acerca de los materiales o recursos de enseñanza que utilizaría con sus futuros estudiantes, este estudiante solo hace referencia a los videos como material de apoyo.

La tabla 8.57 muestra las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final en lo que se refiere a la implementación de materiales o recursos para la enseñanza de la Física.

Tabla 8.57. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 2 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 2 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Implementación de recursos para la enseñanza	<p><i>“La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos”</i></p>	<p><i>“...además del libro, a mí me gusta mucho la parte de mostrarles el modelo, o sea, el modelo computacional, lo que estamos trabajando nosotros y que interactúen. Yo he tenido esa idea hace varios semestres; si algún día voy a enseñar, me gustaría la parte computacional que le permita al alumno interactuar y que se vaya apropiando más de esa situación; que los conceptos le queden más claros, que al variar tal parámetro se dé cuenta de cómo se comporta el sistema; eso hace que los conceptos vayan quedando más claros, cuando uno interactúa y además ve pues; por ejemplo, uno puede mostrarle un bloqucito deslizando por un plano inclinado; entonces de pronto en el modelo es mucho más fácil, llevarlo a la sala de computadores y mostrarle pues cómo se da ese comportamiento, cómo varía con los cambios”</i></p>

Posiblemente por el buen desempeño que obtuvo el estudiante 5 en las diferentes actividades de modelación computacional, éste se ve abocado a hacer una valoración excesiva de los modelos implementados en el computador, valorando ampliamente su uso como recurso para la enseñanza de la Física. Sin embargo, este estudiante se inclina tanto a la defensa de este único recurso de enseñanza que parece no darse cuenta de la diversidad de materiales que pueden ser implementados en la enseñanza de una disciplina como la Física.

Las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC, así como algunos comentarios relacionados con el desempeño del estudiante 5 en la ejecución de tales actividades, se describen en la tabla 8.58.

Tabla 8.58. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 2 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 2 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 14. Diseño del trabajo final	<p>El estudiante 4 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante. Ellos diseñaron un modelo computacional para representar el movimiento de un objeto en un plano inclinado. Los materiales educativos propuestos para orientar la actividad de aula son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modelo computacional - Diagrama AVM
Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final	<p>Al exponer el trabajo final, el estudiante 5 expresó lo siguiente: <i>“el modelo computacional es considerado como un material de enseñanza en el sentido de que lo utilizamos para hacer la explicación conceptual del movimiento de una caja de masa m sobre un plano inclinado con fricción; pero también lo utilizamos para que los estudiantes puedan interactuar con él usando el diagrama AVM. Usamos el diagrama AVM porque a nosotros nos gustó mucho este material para ayudar a entender bien el modelo y estamos seguros de que a los estudiantes también les va a ayudar”</i></p>

El estudiante 5 fue reiterativo en defender el modelo computacional como un material valioso para la enseñanza de la Física; y de la misma manera se refiere al uso del diagrama AVM para favorecer la comprensión del modelo y la situación por éste representada. No obstante, este estudiante sigue sin referirse al empleo de otros recursos para la enseñanza de la Física; lo que hace suponer que sus concepciones están fuertemente influenciadas por la propuesta didáctica implementada en este estudio.

En relación con el principio 3 de la TASC: principio del aprendiz como perceptor/representador.

Con este principio se busca conocer la visión que adquiere el estudiante 5 sobre la relación percepción-representación en el proceso de modelación científica.

En lo que se refiere a este principio, en la entrevista inicial el estudiante 5 expresó lo siguiente: “yo creo que la percepción es fundamental para quien construye modelos; pues el modelo que crea el individuo o el científico está muy arraigado en lo que él ve, en lo que

él piensa, en toda su formación previa de la ciencia y todas esas cosas”. El estudiante 5 es muy conciso y claro en sus expresiones; y lo que puede deducirse de su respuesta en la entrevista inicial es que tiene claridad acerca de la relación entre percepción y representación en el proceso de construcción de modelos, pero además defiende que el modelo construido es el fruto de la formación previa del individuo, de la percepción previa.

En la entrevista final al ser indagado nuevamente sobre el papel que desempeña la percepción en la construcción de modelos, el estudiante 5 respondió: “es que percibir es como uno ver una cosa y como comprenderla, como interpretarla; y yo creo que uno es capaz de construir un modelo si percibe las cosas que tienen que ver con ese modelo; si uno percibe bien algo, si tiene buena comprensión y buena formación sobre algo, va a ser capaz de representar eso que sabe, por ejemplo en un modelo”. Aquí se ratifica una vez más su concepción acerca de la relación percepción-representación, al referirse a la percepción en términos de comprensión e interpretación que se ve reflejada en los modelos construidos.

Las actividades de la propuesta didáctica que aportan información acerca del principio 3 de la TASC y algunos comentarios relacionados con el desarrollo de estas actividades por parte del estudiante 5, pueden verse en la tabla 8.59.

El buen rendimiento académico del estudiante 5 y su adecuada comprensión de los conceptos físicos relativos al campo de la dinámica Newtoniana, sumados a su habilidad para la modelación computacional; sin duda alguna fueron determinantes para el éxito de este estudiante en la actividad 9 relativa a la construcción de modelos; donde hace referencia una vez más a que el dominio conceptual facilita el proceso de modelación computacional de modo expresivo.

Asimismo, el estudiante 5 en la actividad 10, considera que pueden existir diferentes modelos computacionales, siendo unos más adecuados que los otros por aproximarse más a la realidad; y que éstos dependen del conocimiento o percepción del modelador.

Tabla 8.59. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 3 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 3 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 5, con una gran habilidad para el manejo de las herramientas computacionales, decidió realizar esta actividad de manera individual, logrando construir modelos computacionales para las cuatro situaciones propuestas -objeto sujeto a un hilo oscilando en un plano vertical, varilla sostenida de un pivote y oscilando en un plano vertical, un cuerpo que oscila unido a un resorte en posición vertical y sumergido en un líquido viscoso; y un niño en un columpio que es empujado por su padre-.</p> <p>Al finalizar la actividad el estudiante 5 expresó: <i>“a mí se me hace fácil hacer estos modelos porque yo estoy viendo un curso de instrumentación en el que aprendí a manejar el programa Labview y se me parece mucho al Modellus; además es porque me gusta mucho todo lo que tiene que ver con la dinámica Newtoniana y yo creo que manejo bien los conceptos y eso facilita que pueda representarlos más fácilmente en los modelos”</i></p>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	<p>A la pregunta: <i>¿consideras importante la percepción del modelador en el proceso de construcción de modelos computacionales?</i>, el estudiante 5 responde: <i>“A mí me parece muy importante la percepción del modelador, pues no todos tenemos el mismo dominio conceptual y por ende los modelos computacionales de algunos pueden ser más adecuados; es decir, representan mejor la realidad; y entre más parámetros se tengan para variar, más completa deberá ser la comprensión de la situación física que se está modelando”</i></p>

En relación con el principio 4 de la TASC: principio del conocimiento como lenguaje.

Las expresiones del estudiante 5 en las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC, que se refieren a los significados atribuidos a conceptos propios de la modelación científica, pueden verse en la tabla 8.60.

A pesar de que las respuestas del estudiante 5 en la actividad 1 no son tomadas textualmente del artículo leído, puede verse que son enormemente influenciadas por las ideas expuestas en ese texto. Llama particularmente la atención la manera en la que se refiere a las idealizaciones como aislamiento de un fenómeno natural mediante la supresión mental de interacciones; de donde se puede deducir que se esfuerza por explicar la comprensión de este concepto en sus propios términos, pero realmente es necesario que adquiriera otros significados para hacer referencia a conceptos como éste.

Tabla 8.60. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 4 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 4 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo	<p>El estudiante 5 realiza la lectura del artículo en compañía de otro estudiante. Seguidamente se describen sus respuestas a las preguntas que orientaron la discusión del artículo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué se entiende por modelación científica?: “la modelación científica es como el proceso de crear modelos que me ayuden a comprender el mundo en que vivimos”. 2. ¿Qué se entiende por modelo conceptual?: “es como el modelo más simple e idealizado de un sistema o fenómeno natural y aceptado por la comunidad científica” 3. ¿Qué se entiende por referentes?: “son elementos que entran en consideración para estudiar un fenómeno natural” 4. ¿Qué se entiende por idealizaciones?: “se trata de aislar un fenómeno natural, para así tener un adecuado estudio de él; es decir, quitando mentalmente las demás interacciones”.
Actividad 6. Modelación computacional de modo exploratorio dirigido con diagrama AVM	<p>Al finalizar esta actividad, se generó una discusión en la que el estudiante 5 expresó lo siguiente: “yo diría que los referentes son como esos elementos físicos que están ahí y que yo puedo observar al interactuar con el modelo; pero que además están cumpliendo con una función específica en el modelo; es decir, que no estén solo de adorno”. “Las idealizaciones son como esas cosas que se desprecian, o más bien, que no se tienen en cuenta y que permiten estudiar de una manera más fácil el sistema que nos interesa; es como quitarle esos elementos que no son tan importantes y que además lo complican”.</p>

En la actividad 6, se refleja una mejor comprensión de este estudiante acerca de conceptos como: los referentes y las idealizaciones. A pesar de que la forma en que él se expresó es un tanto ambigua, ya que se puede generar la idea de que los referentes son elementos de la simulación en sí, y no del mundo real; consideramos acertada la definición que hace de los referentes del modelo, cuando hace alusión a ellos como elementos físicos que permiten la interacción con el modelo, pero cumpliendo una función específica en éste; lo que muestra que se refiere a esos elementos que realmente aportan información para el análisis del sistema físico mediante el modelo. Asimismo, su comprensión acerca de las idealizaciones es ahora más acorde con las ideas que consideramos subyacentes a la modelación científica.

En la entrevista final, el estudiante 5 expresó algunas de las ideas que nos permiten considerar un cierto progreso en su comprensión e interpretación de conceptos como: modelo conceptual e idealizaciones.

En relación con el modelo conceptual, el estudiante 5 expresa lo siguiente:

“Lo que yo puedo entender y que ahora me queda como mucho más claro, es que un modelo conceptual es una representación de alguna situación de la realidad, una representación que necesita de idealizaciones y simplificaciones, pues nunca va a ser igual a la realidad”.

Y al ser indagado en la entrevista final acerca de las idealizaciones, el estudiante 5 responde:

“Las idealizaciones son como despreciar ciertos factores que no influyen mucho en el comportamiento del sistema; y se pueden suprimir y tener en cuenta el sistema sin esos factores; o también de pronto, pues, no sé, ya matemáticamente una aproximación del modelo, dependiendo pues de los órdenes de magnitud que se manejen, pueden haber cantidades muy pequeñas, despreciables, que no van a afectar el resultado en gran medida; entonces también se pueden suprimir. Si no se necesita mucha precisión, entonces uno puede hacer eso, o también para hacer más fácil el modelo, más comprensible, todas esas cosas”.

En su última expresión, además de obtener evidencias de que este estudiante ha internalizado el concepto de idealización, es posible obtener evidencias del principio 7 de la TASC; es decir, este estudiante considera el modelo como una representación parcial que depende del objetivo y del grado de precisión deseado.

En relación con el principio 5 de la TASC: principio de la conciencia semántica.

Algunas de las principales reflexiones iniciales acerca de la relación existente entre modelo y realidad que expresa el estudiante 5 en el *pretest* y en la entrevista inicial, son mostradas en la tabla 8.61.

Al referirse a la correspondencia entre modelo y realidad, el estudiante 5 refleja una visión constructivista a partir de las respuestas aportadas en el *pretest*. Sin embargo, en la entrevista inicial son pocas sus manifestaciones sobre este punto, considerando que el

modelo es usado para describir y explicar la realidad y contemplando la existencia de una relación entre éstos, pero sin dejar en claro su concepción sobre dicha relación.

Tabla 8.61. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 5 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 5 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación entre modelo y realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“Pues uno podría decir que existe como una relación entre modelo y realidad; porque de alguna manera ese modelo como que es algo que se usa para describir, como para explicar esa realidad”</i></p>

El progreso de este estudiante en la comprensión de la relación modelo-realidad, es mostrado en la tabla 8.62, donde son descritas las respuestas aportadas por éste en el *postest* y en la entrevista final.

Tabla 8.62. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 5 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 5 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación entre modelo y realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“El modelo no es igual a la realidad, es la representación de ella; y como se hacen idealizaciones y simplificaciones, hay muchas otras cosas que se escapan en el modelo que representa el fenómeno; y eso hace que apenas se aproxime a la realidad, pero que no sea igual”</i></p>

De acuerdo con las respuestas del estudiante 5 al *postest* puede observarse una concepción claramente vinculada a la concepción constructivista que es fuertemente fortalecida con sus manifestaciones en la entrevista final acerca de la relación existente entre modelo y

realidad. Aquí, este estudiante deja en claro que el modelo no es igual a la realidad y que más bien es una representación de ella; y que debido a las idealizaciones y aproximaciones que conlleva un modelo, éste apenas logra aproximarse a la realidad, sin igualarla.

Las actividades de la propuesta didáctica desarrolladas por el estudiante 5 y que aportan información de interés para la valoración del principio 5 de la TASC, son mostradas en la tabla 8.63.

Tabla 8.63. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 5 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 5 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 1. Lectura crítica y discusión de un artículo	En el transcurso de la discusión, el estudiante 5 expresó lo siguiente: <i>“pues es que el sentido de los modelos es como que ayuden a explicar el mundo en que vivimos, la realidad; o sea que se relacionan con ella porque ayudan a describirla”</i>
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	A la pregunta: <i>¿Contribuyen las actividades de modelación computacional a enriquecer tu visión sobre la modelación científica?</i> , el estudiante 5 respondió: <i>“Sí, porque la modelación computacional es un proceso que nos permite acercarnos a la modelación científica; es decir, nos permite crear modelos para representar la realidad. Lo que tratamos de hacer con la modelación computacional es crear modelos científicos, así como lo hacen los científicos para obtener explicaciones aproximadas de los fenómenos reales”</i>

En la discusión generada en la actividad 1 con base en la lectura del artículo, fueron muy pocas las manifestaciones del estudiante 5 en relación con el asunto indagado en este principio; y así como en la entrevista inicial, en esta actividad también se refiere a los modelos como elementos que permiten describir y explicar la realidad, pero no hace alusión alguna acerca del tipo de relación que existe entre el modelo y la realidad.

Ya en la actividad 10 al ser indagado sobre la contribución de las actividades de modelación computacional para enriquecer su visión acerca de la modelación científica, el estudiante 5 valoró altamente estas actividades, considerando la modelación científica como un proceso de creación de modelos para representar la realidad; y refiriéndose a los modelos científicos como explicaciones aproximadas de los fenómenos reales, dejando mucho más clara su comprensión en torno a la relación modelo-realidad.

En relación con el principio 6 de la TASC: principio del aprendizaje por error.

En la tabla 8.64 se describen las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial referentes al principio 6 de la TASC, que permiten visualizar la valoración de los modelos llevada a cabo por el estudiante 5.

Tabla 8.64. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas no representan la naturaleza tal y como ella es, ni describen y explican los fenómenos naturales de manera completa”</i>	<i>“Una teoría debe tratar de explicar lo más que pueda de la realidad, pero es casi imposible creer que va a ser igual a esa realidad”</i>
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Una característica importante del conocimiento científico es su falibilidad”</i> <i>“Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios”</i>	<i>“Yo creo que uno no puede dar una teoría por sentada, porque en un momento determinado nos damos cuenta de que ésta puede tener errores. Uno debe darle pie a que se pueda modificar, estar abierto a diferentes cambios, siempre para ir mejorando”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico no necesariamente progresa por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“...es que los problemas de la ciencia, los problemas que le interesan a la ciencia como que se van dando, no podemos decir que el hombre los crea”</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“Los modelos científicos no necesariamente se originan en la mente de quien los construye”</i>	<i>“... es que los modelos como que están ahí y alguien los descubre entonces empieza a darlo a conocer, a mostrarlo”</i>

A partir de las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial, pudimos observar que al inicio del estudio tenía una visión constructivista en lo que se refiere a las subcategorías: relación conocimiento científico-realidad y la falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico, asumiendo las teorías como explicaciones de la realidad, pero susceptible de errores y por lo tanto de permanentes modificaciones.

En relación con las subcategorías que se refieren a la ciencia y a la modelación científica como actividades humanas, las expresiones del estudiante 5 manifiestan una concepción

altamente tradicional, considerando que los problemas y modelos que atañen a la ciencia surgen de manera espontánea. La tabla 8.65 muestra el progreso de este estudiante en relación con el principio 6 de la TASC, a partir de las respuestas aportadas por él en el *postest* y en la entrevista final.

Tabla 8.65. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 6 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 6 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación conocimiento científico-realidad	<i>“Las teorías científicas no representan la naturaleza tal y como ella es, ni describen y explican los fenómenos naturales de manera completa”</i>	<i>“Las teorías de la ciencia contienen modelos que se usan para representar la realidad, pero que nunca van a ser igual a esa realidad”</i>
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“Una característica importante de las teorías científicas es la posibilidad de que puedan ser consideradas como incorrectas”</i> <i>“Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios”</i>	<i>“Cuando uno está construyendo algo y no está teniendo en cuenta todos los pormenores, entonces por ahí puede haber un pequeño error; pero eso es importante porque eso hace pues que uno vaya mejorando el modelo y que la ciencia vaya creciendo más, se vaya poniendo conceptualmente más rigurosa, más precisa”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“Yo creo que la ciencia si tiene mucho de intuición y de imaginación de los científicos; pues por ejemplo Einstein, que él se imaginaba unos experimentos mentales, pues, cosas raras; cosas que en esa época no se sabía nada concreto y él proponía las soluciones a esos experimentos. Y todo eso era qué?: imaginación, intuición”</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye”</i>	<i>“Yo creo que cuando una persona elabora un modelo, está como limitada; o sea, uno tiene muchos prejuicios y eso uno lo plasma en el modelo. Pues el modelo que crea el individuo o el científico está muy relacionado con lo que él ve, con lo que él piensa, en toda su formación previa de la ciencia y todas esas cosas”</i>

A partir de las respuestas del estudiante 5 en la tabla 8.65 se reafirma su concepción claramente vinculada al constructivismo, en lo que se refiere a la relación conocimiento científico-realidad y a la falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico. De tal

manera que para referirse a esta última, lo hace desde el concepto de modelo, asumiendo que la existencia de errores en el proceso de su construcción posibilita que este sea permanentemente mejorado, favoreciendo así el progreso de la ciencia.

En relación con la visión de la ciencia como construcción humana, al final de la intervención es posible observar que su postura mejoró notablemente; pues para este momento ya no consideró el surgimiento espontáneo de los modelos y más bien destacó el papel de la imaginación e intuición en el proceso de construcción de la ciencia y de los modelos científicos, asumiendo que estos últimos están limitados por la visión de mundo y el conocimiento previo de su constructor.

La tabla 8.66 muestra el desempeño del estudiante 5 en las actividades de la propuesta didáctica relacionadas con el principio 6 de la TASC.

El estudiante 5 tuvo un excelente desempeño en la actividad 8 de la propuesta didáctica, siendo el único estudiante del grupo en detectar los errores incluidos intencionalmente en la estructura matemática de los dos modelos computacionales proporcionados a los estudiantes en esta actividad. A pesar de realizar el trabajo individualmente, el estudiante 5 se percató desde el inicio de la actividad de los errores existentes en los modelos, haciéndole conocer al profesor esta situación; y comprendiendo de manera adecuada el campo relacionado con la validación del modelo. Durante esta actividad, el estudiante 5 asumió una actitud sumamente crítica en relación con la validación de los modelos, corrigiendo sus errores y pasando a realizar nuevamente el análisis de éstos.

En la actividad 9 de la propuesta didáctica, el estudiante 5 se enfrentó de manera individual a la construcción de los modelos computacionales, con resultados altamente satisfactorios; sin embargo, durante dicho proceso fueron muchas las versiones previas construidas de cada modelo hasta llegar a la versión final de cada uno de ellos. En la actividad 10, al ser indagado acerca del papel de los errores en el proceso de construcción de modelos, este estudiante hace una valoración altamente positiva de los errores, haciendo referencia a que éstos conllevan a una revisión crítica de los modelos y a su posterior corrección que redundan en una mayor comprensión de los mismos. Lo que nos aporta evidencias de que este estudiante ha aprendido a valorar el error como un elemento propio del proceso de modelación científica.

Tabla 8.66. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 6 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 6 de la TASC	Comentarios relacionados
<p>Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional</p>	<p>Para el desarrollo de esta actividad, el estudiante 5 eligió trabajar de manera individual.</p> <p><u>Modelo computacional: resistencia en caída vertical</u></p> <p>En el campo de las relaciones, el estudiante 5 escribe en forma correcta la ecuación que contenía el error; es decir, escribe: $F = -mg - bv_y$. Y en la validación del modelo escribe: “el modelo no se puede validar porque no reproduce los resultados conocidos; ya que la fuerza de fricción depende de V_y y no de V_y^2. Por lo cual, cuando $V_y < 0$, el objeto adquiere una aceleración adicional por estar V_y elevada al cuadrado”</p> <p><u>Modelo computacional: máquina de Atwood</u></p> <p>En el campo de las relaciones, el estudiante 5 escribe la ecuación correcta para este modelo: $a = (m_1 - m_2) / (m_1 + m_2) * g$;</p> <p>Y en el campo referente a la validación del modelo escribió lo siguiente: “a simple vista parece que el modelo si corresponde a lo que uno espera de la teoría, pero cuando se hace el análisis se ve que los valores de T corresponden con el valor esperado, pero los valores de a no; es decir, en el modelo se tenía $a = g$; y esto es erróneo porque estos cuerpos no están en caída libre. Después de cambiar la ecuación, el modelo cambió totalmente porque disminuyó la aceleración”</p>
<p>Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM</p>	<p>El estudiante 5 trabajó de manera individual; y a pesar de su gran habilidad en la construcción de modelos computacionales y de haber logrado construir los cuatro modelos requeridos, fueron varias las versiones realizadas y muchos los errores corregidos en dichos modelos hasta obtener los definitivos, los que consideraba satisfactorios.</p> <p>A propósito, el estudiante 5 expresó: “los dos primeros modelos me parecieron fáciles de hacer, pero con los otros dos si me tocó hacer varios intentos porque me aparecían muchos errores y casi que no los encuentro para poder corregirlos y poner a correr el modelo”</p>
<p>Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM</p>	<p>A la pregunta: ¿Qué papel juegan los errores en el proceso de construcción de modelos computacionales?, el estudiante 5 respondió: “Yo creo que el error es muy importante pues cuando cometemos un error y el modelo no funciona adecuadamente o como esperamos, eso significa que hay alguna falencia en algún concepto, en alguna variable utilizada y esto nos obliga a revisarlo para encontrar los errores y corregirlos; y entre más lo revisamos, mejor lo comprendemos y más profundizamos en él”</p>

En relación con el principio 7 de la TASC: principio del desaprendizaje.

Las subcategorías correspondientes al *pretest* y a la entrevista inicial relacionadas con el principio 7 de la TASC y que se refieren a la concepción de modelo del estudiante 5, se describen en la tabla 8.67.

Tabla 8.67. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Relación modelo-realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“... la idea es que el modelo describa lo más fielmente posible a la realidad, pero no es exactamente igual a ésta”</i></p>
Función de un modelo	<p><i>“Los modelos científicos deben ser modificados siempre que no estén de acuerdo con los datos empíricos o con el cuerpo de conocimiento ya establecido”</i></p> <p><i>“Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos”</i></p>	<p><i>“Yo creo que un modelo tendría que cambiarse por otro cuando hay nuevas evidencias experimentales que no incluye el modelo; entonces hay que mejorarlo, hay que cambiarlo”</i></p> <p><i>“Es posible que puedan existir diferentes modelos para una misma situación, pero no me atrevo a afirmarlo, no sé”</i></p>

El momento inicial de la intervención, el estudiante 5 expresó mediante las respuestas al *pretest* y a la entrevista inicial, una concepción de modelo que pudiéramos considerar adecuado; pues aunque sus manifestaciones en relación con la naturaleza de los modelos son mínimas, se puede entrever una visión constructivista que le permite concebir el modelo como una representación parcial que puede ser cambiada y/o mejorada con el propósito de acercarse a una mejor descripción de la realidad. Asimismo, aunque no con mucha convicción, sugiere la posibilidad de que existan diversos modelos para describir una misma situación o fenómeno.

La evolución de las ideas iniciales de este estudiante puede verse en la tabla 8.68, a partir de la descripción de las respuestas proporcionadas por éste al *postest* y a la entrevista final.

Tabla 8.68. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 7 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 7 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Relación modelo-realidad	<p><i>“Los modelos científicos no aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés”</i></p> <p><i>“Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere”</i></p> <p><i>“La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo no es completa ni total”</i></p>	<p><i>“El modelo no es igual a la realidad, es la representación de ella; y como se hacen idealizaciones y simplificaciones, hay muchas otras cosas que se escapan en el modelo que representa el fenómeno; y eso hace que apenas se aproxime a la realidad, pero que no sea igual²²”</i></p>
Función de un modelo	<p><i>“Los modelos científicos deben ser modificados siempre que no estén de acuerdo con los datos empíricos o con el cuerpo de conocimiento ya establecido”</i></p> <p><i>“Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos”</i></p> <p><i>“La principal función de un modelo científico no es la de servir como herramienta de enseñanza”</i></p>	<p><i>“Un modelo para mí está relacionado con un conjunto de conceptos, teorías y elementos que se usan para representar la realidad, por decirlo así, sería eso”</i></p> <p><i>“Los modelos sirven para explicar los fenómenos. Ellos sirven como para tener una forma no tan abstracta; o sea, una forma más fácil de ver cómo se comportan los fenómenos, los sistemas; es como una forma de representar ese fenómeno más fácilmente.”</i></p> <p><i>“El modelo depende del que lo hace, de las personas que lo crean; entonces ahí juega la parte de la intuición, de la imaginación de cada uno, se van por otras partes, se imaginan otras cosas; y al final un grupo crea su modelo, otro grupo en otra parte crea su modelo para explicar un mismo fenómeno; pero la imaginación, el conocimiento que tienen, la intuición, es diferente; entonces el modelo va a ser diferente”</i></p>

En el *postest* y en la entrevista final el estudiante 5 logra ser mucho más expresivo, argumentando mucho mejor sus respuestas y permitiendo una mejor interpretación de ellas. De esta manera, concibe el modelo como una representación de la realidad que se apoya necesariamente en conceptos y teorías; sin duda, esta idea es fundamental y esa comprensión es parte de lo que se busca favorecer con el uso del diagrama AVM en las actividades de modelación computacional. Del mismo modo, este estudiante considera que

²² La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista final para la subcategoría Relación entre modelo y realidad (tabla 8.62).

el modelo permite explicar de una manera menos abstracta el comportamiento de fenómenos o sistemas.

También se encontraron en sus respuestas evidencia de una comprensión mucho más clara acerca de la idea de multirepresentación, considerando al conocimiento previo, a la intuición y a la imaginación, artífices de la existencia de gran diversidad de modelos.

Las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC y algunos breves comentarios acerca del desempeño del estudiante 5 en el desarrollo de estas actividades, pueden observarse en la tabla 8.69.

Tabla 8.69. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 7 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 7 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	<p>El estudiante 5 trabajó de manera individual; y a pesar de su gran habilidad en la construcción de modelos computacionales y de haber logrado construir los cuatro modelos requeridos, fueron varias las versiones realizadas, previas a los modelos definitivos.</p> <p>En relación con esta actividad, el estudiante 5 expresó: <i>“es que en el Modellus o en cualquier otro programa, uno puede hacer varios modelos para una misma situación; o sea que usted puede representar una sola situación de muchas formas; y si yo intento hacer modelos para las situaciones que nos planteaste pero con el Labview, también van a ser modelos que representen esa situación, pero van a ser muy diferentes”</i></p>
Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional	<p>Aunque el estudiante 5 trabajó en compañía de otro estudiante, finalmente fue presentada su versión del modelo; pues aunque el otro estudiante también consiguió realizar su modelo para la situación que querían representar, por consenso eligieron el modelo del estudiante 5 por considerarlo más completo; en gran medida por la gran habilidad de este estudiante para la modelación.</p>

A partir de las actitudes y expresiones del estudiante 5 en el desarrollo de estas actividades, se obtienen evidencias de que ha logrado afianzar mucho más la idea de multirepresentación, manifestando explícitamente que pueden existir diferentes modelos para una misma situación. Además, en los comentarios relativos al principio 3 de la TASC, se hizo referencia a que el estudiante 5 considera que pueden existir diferentes modelos y que algunos son más adecuados que otros por aproximarse más a la realidad.

En relación con el principio 8 de la TASC: principio de la incertidumbre del conocimiento.

Las subcategorías del *pretest* y la entrevista inicial asociadas al principio 8 de la TASC y la visión del estudiante 5 sobre la incertidumbre del conocimiento pueden verse en la tabla 8.70.

Tabla 8.70. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<i>“La ciencia no es segura, pero es progresiva por naturaleza. Pues permite la revisión de sus presupuestos y está abierta a nuevos interrogantes”</i>	<i>“Yo creo que uno no puede dar una teoría por sentada, porque en un momento determinado nos damos cuenta de que ésta puede tener errores. Uno debe darle pie a que se pueda modificar, estar abierto a diferentes cambios, siempre para ir mejorando”²³</i> <i>“Yo creo que la ciencia es provisional, porque todos los conceptos van evolucionando, no es absoluta, va evolucionando”</i>
La ciencia como construcción humana	<i>“El conocimiento científico no necesariamente progresa por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i>	<i>“...es que los problemas de la ciencia, los problemas que le interesan a la ciencia como que se van dando, no podemos decir que el hombre los crea”²⁴</i>
El modelo científico como construcción humana	<i>“Los modelos científicos no necesariamente se originan en la mente de quien los construye”</i>	<i>“Yo creo que los modelos científicos son como cosas ya exactas como definitivos ... es que los modelos como que están ahí y alguien los descubre entonces empieza a darlo a conocer, a mostrarlo”</i>

Con base en las respuestas del estudiante 5 en el *pretest* y en la entrevista inicial, podría decirse que éste tiene una visión constructivista en relación con la falibilidad y la incertidumbre del conocimiento haciendo referencia a la provisionalidad y a la evolución

²³ La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista inicial para la subcategoría La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico (tabla 8.64).

²⁴ La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista inicial para la subcategoría La ciencia como construcción humana (tabla 8.64).

permanente de la ciencia. Sin embargo, en cuanto a la ciencia y a la modelación científica como construcciones humanas -tal y como se había descrito en el principio 6 de la TASC-, la visión de este estudiante es absolutamente tradicional, atribuyéndole a las teorías y modelos un surgimiento espontáneo completamente ajeno a la actividad humana.

Las respuestas del estudiante 5 en el *postest* y en la entrevista final y que se relacionan con el principio 8 de la TASC, pueden verse en la tabla 8.71.

Tabla 8.71. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 8 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 8 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
La falibilidad e incertidumbre del conocimiento científico	<p><i>“La ciencia no es segura, pero es progresiva por naturaleza. Pues permite la revisión de sus presupuestos y está abierta a nuevos interrogantes”</i></p> <p><i>“Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios”</i></p>	<p><i>“Yo creo que la ciencia es temporal; pues la ciencia cada vez va avanzado más, se va construyendo, se va mejorando, se van descubriendo cada vez más cosas, entonces eso la va ampliando, eso no es estático, va mejorando”</i></p>
La ciencia como construcción humana	<p><i>“El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones”</i></p>	<p><i>“Es que una persona; pues, si hablamos de ciencia tendría que ser un científico como que con su capacidad de imaginar de intuir y esas cosas, él como que plantea por ejemplo un problema, algo que le surge; y entonces busca soluciones para ese problema. Y si esas soluciones que encontró no le sirven, por ejemplo; entonces él tiene que buscar otras y así hasta ir encontrando las mejores”</i></p>
El modelo científico como construcción humana	<p><i>“Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye”</i></p> <p><i>“Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos”</i></p>	<p><i>“Yo creo que cuando una persona elabora un modelo, está como limitada; o sea, uno tiene muchos prejuicios y eso uno lo plasma en el modelo. Pues el modelo que crea el individuo o el científico está muy relacionado con lo que él ve, con lo que él piensa, en toda su formación previa de la ciencia y todas esas cosas”²⁵</i></p>

²⁵ La expresión del estudiante es la misma presentada como respuesta a la entrevista final para la subcategoría El modelo científico como construcción humana (tabla 8.65).

En relación con la falibilidad e incertidumbre del conocimiento, el estudiante 5 consolida su comprensión inicial, refiriéndose a la ciencia como algo que evoluciona y se encuentra en permanente construcción. Y en lo que se refiere a la ciencia y a la modelación científica como construcciones humanas, sus concepciones se acercan ahora a una visión más constructivista, al referirse a la imaginación e intuición del científico como aquellas capacidades que le permiten plantear problemas y buscar constantemente soluciones a éstos. Y del mismo modo, en cuanto a la modelación científica, admite que los modelos son construcciones humanas que se encuentran permeadas por el conocimiento previo y la visión de mundo del modelador.

La tabla 8.72 muestra las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC, así como algunos comentarios del desempeño del estudiante 5 en el desarrollo de tales actividades.

Tabla 8.72. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 8 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 8 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 8. Detección del error en un modelo computacional.	El estudiante 5 realizó satisfactoriamente esta actividad, detectando el error y corrigiéndolo de inmediato mediante la modificación de los modelos computacionales. Al respecto, expresó lo siguiente: <i>“a mí sí me pareció muy raro encontrar un error en el primer modelo; hasta pensé que era yo quien no entendía las ecuaciones; pero después cuando ya me lo encontré también en el segundo modelo, me di cuenta que uno no se puede confiar y creer que todo lo que a uno le presentan está bueno, aunque aparentemente se veían bien, pero siempre hay que revisarlos y analizarlos bien”</i>
Actividad 9. Modelación computacional de tipo expresivo abierto con diagrama AVM	El estudiante 5 realizó esta actividad de manera individual y al culminarla se refirió a ella de la siguiente manera: <i>“me gustaría poder hacer estos mismos modelos con otro programa y poder mejorarlos y cambiarles muchas cositas para que queden mucho mejor, pero de pronto lo haría con otro programa, porque el Modellus lo tendría que aprender a manejar mucho mejor; pero yo sé que si se podrían hacer modelos mucho, mucho mejores y de pronto más cercanos a lo que queremos representar”</i>

Las actitudes y expresiones del estudiante 5 durante el desarrollo de las actividades 8 y 9 reflejan su comprensión acerca de la incertidumbre del conocimiento científico expresado a través de los modelos. En este sentido, considera que los modelos no son definitivos ni absolutamente confiables y que siempre existe la posibilidad de mejorarlos y perfeccionarlos para obtener modelos cada vez más satisfactorios.

En relación con el principio 9 de la TASC: principio de la diversidad de estrategias instruccionales.

Las ideas iniciales del estudiante 5 en relación con las estrategias instruccionales empleadas para la enseñanza de la Física, son mostradas en la tabla 8.73.

Tabla 8.73. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *pretest* y a la entrevista inicial referidas al principio 9 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 9 de la TASC	Respuestas al <i>pretest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista inicial
Implementación de estrategias de enseñanza	<p><i>“Los alumnos no aprenden de modo correcto los conceptos científicos solamente cuando realizan actividades prácticas”</i></p> <p><i>“El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico”</i></p> <p><i>“El profesor no necesariamente tiene autonomía para construir su propia metodología para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos”</i></p> <p><i>“En la clase de ciencias no es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos”</i></p>	<p><i>“yo por ejemplo, para preparar una clase, lo ideal sería hacer teoría y a la par con el experimento; pues, si se puede hacer el experimento; o sino pues la teoría”</i></p>

La manifestación del estudiante 5 en la entrevista inicial para referirse a la implementación de estrategias instruccionales para la enseñanza de la Física, es mínima. En las respuestas al *pretest* existe una combinación de ideas tradicionales y constructivistas, predominando las primeras; de tal manera que este estudiante considera que el profesor no tiene autonomía para construir su propia metodología de enseñanza y que en la clase de ciencias no es conveniente que los estudiantes trabajen en grupos. Además, la idea expresada en la entrevista inicial no aporta ninguna información acerca de la posibilidad de implementar diferentes estrategias en la enseñanza de la Física; pues se refiere a la teoría y al experimento, en caso de que este último sea posible.

Las respuestas del estudiante 5 en el *postest* y en la entrevista final relacionadas con el principio 9 de la TASC, son descritas en la tabla 8.74.

Tabla 8.74. Subcategorías de análisis para las respuestas del estudiante 5 al *postest* y a la entrevista final referidas al principio 9 de la TASC.

Subcategorías de análisis referidas al principio 9 de la TASC	Respuestas al <i>postest</i>	Fragmentos de respuestas a la Entrevista final
Implementación de estrategias de enseñanza	<p><i>“Los alumnos no aprenden de modo correcto los conceptos científicos solamente cuando realizan actividades prácticas”</i></p> <p><i>“Cada profesor construye su propia metodología para la enseñanza de las ciencias”</i></p> <p><i>“En la clase de ciencias es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos”</i></p> <p><i>“Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos”</i></p>	<p><i>“A mí me sigue pareciendo necesario explicar así en el tablero los conceptos, pero se puede hablar después sobre ellos, como ahí entra la parte ya también de evaluación. O sea, a mí me gustaría después de que uno explique conceptualmente en el tablero, el modelo, la teoría, de pronto coger un cuestionario de preguntas de selección múltiple y repartírselo a cada uno y que lo llenen, luego ponerlo en debate y puesta en común; y ver qué respondieron y aclara por qué lo hicieron, qué los llevó a eso. Me gustaría también el trabajo en grupo y sobre todo me parece muy importante en ciencias, sobre todo porque hay que compartir las ideas, todas las ideas no son iguales, entonces es bueno conocer la opinión de los otros que me puede ayudar a enriquecer la mía y a entender un concepto que de pronto no tenga muy claro; entonces sería muy bueno la puesta en común y trabajar en grupo”</i></p>

Las respuestas del estudiante 5 al *postest* reflejan una visión más cercana al constructivismo; sin embargo, este estudiante sigue considerando que para facilitar el aprendizaje de las ciencias es necesario explicar los temas de manera minuciosa, lo que además refleja en las expresiones utilizadas en la entrevista final, en la que además fue mucho más expresivo de lo que pudo ser en la entrevista inicial. Pero además es importante destacar que este estudiante hace una defensa del debate y la discusión; y más importante aún, del trabajo en grupo; algo que al inicio de este estudio era inconcebible para él.

El desempeño del estudiante 5 en las actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC es brevemente descrito en la tabla 8.75.

Tabla 8.75. Actividades de la propuesta didáctica asociadas al principio 9 de la TASC desarrolladas por el estudiante 5.

Actividades asociadas al principio 9 de la TASC	Comentarios relacionados
Actividad 10. Valoración de las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM	A la pregunta: ¿Consideras pertinente el uso de actividades de modelación computacional como estrategia de enseñanza de conceptos físicos?, el estudiante 5 respondió: <i>“Si, me parece muy importante la modelación computacional para dar a entender conceptos físicos, en especial aquellos que son más abstractos o en aquellas situaciones donde es difícil imaginarse la situación física. Además, si se tiene la posibilidad de interactuar con el modelo computacional (cambiando parámetros por ejemplo) será mucho más fácil de llegar al concepto físico que se quiere aprender”</i>
Actividad 13. Diseño de actividades de modelación computacional	El estudiante 5 realizó esta actividad en compañía de otro estudiante. Ellos diseñaron un modelo computacional para representar la ley de la gravitación de Newton. Las actividades de enseñanza propuestas por estos estudiantes para orientar la interacción con el modelo son: <ul style="list-style-type: none"> - En primera instancia se hace una explicación teórica de la ley de la gravitación universal. - Se propone una situación problema cotidiana que tenga relación con el concepto y se genera una discusión sobre ésta, haciendo que todos los estudiantes participen. - Se pide a los estudiantes que interactúen con el modelo mediante la modificación de valores. - Se pide a los estudiantes hacer una especie de validación del modelo, para ver si está representando aquello que dice la teoría.
Actividad 14. Diseño del trabajo final	El estudiante 5 trabajó en compañía de otro estudiante, construyendo un modelo para representar el movimiento de un objeto en un plano inclinado. Las estrategias instruccionales que propusieron para orientar la actividad son: <ul style="list-style-type: none"> - Discusión para explorar los conceptos previos de los estudiantes. - Explicación general del fenómeno - Discusión en grupo sobre situaciones cotidianas que puedan explicarse desde el modelo. - Interacción de los estudiantes con el modelo computacional, orientada a partir de preguntas y del diagrama AVM. - Discusión sobre las teorías, conceptos y principios que posibilitan la comprensión del modelo. Así como sus referentes e idealizaciones. - Síntesis y conclusión a partir de una mesa redonda.
Actividad 15. Presentación y discusión del trabajo final	En la presentación el trabajo final, el estudiante 5 expresó lo siguiente: <i>“nosotros realmente nos concentramos más en proponer estrategias que materiales; pues creemos que a partir de un modelo computacional es mucho lo que se puede hacer; y aún más si tenemos una material tan excelente como el diagrama AVM; pues es que éste le permite al estudiante entender no solo lo teórico del concepto, sino también lo procedimental”</i>

Al igual que en el principio 2 de la TASC referido a los recursos de enseñanza, en este principio el estudiante 5 valora ampliamente el uso de actividades de modelación

computacional para la enseñanza de conceptos físicos, así como el uso del diagrama AVM para la comprensión de aspectos teóricos y conceptuales.

En su fuerte inclinación por el uso de la modelación computacional como estrategia de enseñanza, se resalta el hecho de que este estudiante haga énfasis en la necesidad de que los estudiantes realicen actividades de validación de los modelos computacionales, además de la discusión de elementos como las teorías, conceptos, principios, idealizaciones y referentes; como elementos propios de la modelación científica. Del mismo modo, es importante resaltar que este estudiante propone como una de las actividades de enseñanza, la exploración de los conceptos previos de los estudiantes, principio fundamental de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel.

Síntesis del análisis del estudiante 5

El buen rendimiento académico de este estudiante durante su carrera y el buen dominio de la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento en el que se fundamentan las actividades implementadas en la propuesta didáctica; además del gusto por las actividades computacionales, se compaginaron para lograr como resultado un excelente desempeño del estudiante 5 a lo largo de la intervención.

En lo que sigue se hace una breve discusión del desempeño del estudiante 5 en relación con las tres categorías en que se agrupan los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.

En relación con los principios disciplinares: a partir de la valoración del desempeño del estudiante 5 en las actividades de la propuesta didáctica asociadas a los principios disciplinares de la TASC, es posible apreciar el progreso de este estudiante en lo que se refiere a su habilidad para formular preguntas de interés acerca de fenómenos enmarcados en el campo de la dinámica Newtoniana. Sus preguntas inicialmente se ubicaban en un nivel medio y fueron progresivamente mejorando hasta el punto de considerar que al final de la intervención las preguntas planteadas por este estudiante podían clasificarse en un nivel alto.

En cuanto al principio del aprendiz como perceptor/representador, se obtuvieron evidencias de que el estudiante tenía -inclusive desde el inicio de la intervención- una adecuada comprensión del rol que desempeña la percepción en la construcción de modelos, asumiendo que estos últimos son el fruto de la formación previa del individuo; es decir, de la percepción previa. Refiriéndose a la percepción como la comprensión e interpretación del modelador que se ve reflejada en los modelos construidos. Visión que es por lo demás coherente con la manera altamente satisfactoria en que este estudiante se enfrenta a la tarea de construir modelos computacionales.

En lo que se refiere al principio 4 de la TASC se obtuvieron importantes evidencias de que este estudiante logró una adecuada apropiación de algunos de los principales conceptos propios del campo de la modelación científica. En este sentido, al final de la intervención el estudiante 5 se refiere al modelo conceptual como una representación parcial que depende del objetivo y del grado de precisión deseado; y utiliza términos bastante adecuados para referirse a lo que son los referentes e idealizaciones y el papel que desempeñan en el proceso de modelación.

En relación con los principios epistemológicos: a partir de la información aportada por el estudiante 5 es posible deducir que la propuesta didáctica implementada le ha permitido lograr una mejor fundamentación acerca de aspectos relacionados con la epistemología de la ciencia. En este sentido, ha adquirido una clara conciencia semántica acerca de la relación modelo-realidad. Asimismo, logra hacer un adecuado análisis de los modelos computacionales siendo el único estudiante en detectar los errores en ellos incorporados y llevando a cabo un adecuado proceso de validación de tales modelos.

Puede afirmarse también que este estudiante ha logrado internalizar satisfactoriamente la idea de multirepresentación; y del mismo modo ha asumido una actitud crítica en relación con la incertidumbre del conocimiento científico y de los modelos como elementos fundamentales de la ciencia.

En relación con los principios didácticos y las tentativas de transposición didáctica: aunque en el transcurso de la propuesta didáctica el estudiante 5 parece haber adquirido una clara conciencia de la necesidad de implementar diversos recursos en el aula de clase para abordar la enseñanza de la Física, al final de la intervención muestra una fuerte

inclinación hacia el uso de modelos computacionales y al diagrama AVM y poco se refiere al uso de otros recursos. En relación con la implementación de diversas estrategias instruccionales en el aula de clase, es importante resaltar que al inicio de la intervención este estudiante no consideraba conveniente el trabajo en grupo; y de hecho, en la gran mayoría de actividades grupales él elige ejecutarlas de modo individual. Sin embargo, al finalizar el estudio le asignó un gran valor a las actividades grupales y en consecuencia con esto, decidió realizar las últimas actividades de la propuesta didáctica en compañía de otros estudiantes. Es importante también destacar que este estudiante demuestra una gran inclinación por las actividades de modelación computacional y por proponer a sus estudiantes actividades que impliquen abordar conceptos y elementos propios de la modelación científica.

En lo que se refiere a las tentativas de transposición didáctica realizadas por el estudiante 5 a partir del diseño y construcción de modelos computacionales para ser implementados con sus futuros estudiantes, consideramos que su adecuado dominio de la dinámica Newtoniana como campo de conocimiento y la comprensión lograda acerca de aspectos relacionados con la epistemología de la ciencia, jugaron un papel determinante en los procesos de transformación del saber a enseñar en el saber enseñado llevados a cabo por este estudiante y que implicaron la ejecución de una serie de operaciones de transposición como: la definición de los referentes del modelo, las aproximaciones, idealizaciones, contextualizaciones, delimitación del dominio de validez de modelo, entre otras. Acciones que favorecieron la valoración de los modelos como herramientas que facilitan la transformación, adaptación y adecuación de los contenidos a enseñar.

8.3 Síntesis del estudio III

Con base en la información obtenida a lo largo del estudio III y atendiendo a la triangulación de los diferentes instrumentos utilizados para la recolección de datos, se presentan de manera sintética los resultados globales que se obtienen al atender los nueve principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico a partir de la introducción de elementos propios de la modelación científica mediante actividades de modelación computacional y el uso del diagrama AVM.

Sobre los principios disciplinares

Aquí se agrupan los principios 1, 3 y 4 de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico referentes al principio del cuestionamiento, al aprendiz como perceptor/representador y al conocimiento como lenguaje; y que para ser atendidos en el contexto de la modelación científica (y específicamente de la modelación computacional con dAVM) son denominados: habilidad en la formulación de preguntas, relación percepción-representación y comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados, respectivamente.

Principio del cuestionamiento (principio 1 de la TASC que se refiere al hecho de enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas): para su análisis es denominado como habilidad en la formulación de preguntas y es incluido en los principios disciplinares por considerar que tal formulación está estrechamente relacionada con los conocimientos previos que tiene el estudiante acerca del campo conceptual sobre el cual formula dichas preguntas. Y que la formulación de preguntas relevantes es un indicio importante del aprendizaje significativo de ese campo de conocimiento.

De acuerdo con la escala de medida definida para la valoración de las preguntas formuladas por los estudiantes, puede observarse que al final de la intervención las preguntas fueron clasificadas entre los niveles medio y alto. Logro que puede considerarse satisfactorio, partiendo del hecho de que sus preguntas iniciales fueron clasificadas entre los niveles bajo y medio.

Principio del aprendiz como perceptor/representador: para su análisis este principio es denominado como la relación percepción-representación; y dicha relación es considerada como un principio disciplinar en términos de que uno percibe a partir de lo que sabe; es decir, toda percepción es función de percepciones previas. Asimismo, el modelo es una representación que expresa nuestras percepciones; por lo que construir un modelo es plasmar el conocimiento que se tiene sobre un sistema o fenómeno perteneciente a un determinado campo de conocimiento. En este sentido, es posible considerar que lo que se percibe es en su mayoría, función de percepciones pasadas.

Y en consecuencia con lo anterior, las representaciones que los estudiantes lograron hacer de los eventos o fenómenos de la dinámica Newtoniana, obedecieron claramente al dominio que tenían sobre dicho campo conceptual. De este modo, el estudiante 3 que era quien menos fundamentación conceptual había adquirido acerca de la dinámica Newtoniana, fue quien más dificultades presentó al momento de construir modelos para representar las situaciones físicas propuestas. Lo cual es coherente con las expresiones de los mismos estudiantes, en el sentido de que todos consideraron que el conocimiento previamente aprendido, percibido por el individuo es el que determina la calidad de las representaciones -modelos- que éste pueda construir del mundo. Asumiendo la representación como producto de la percepción; y atribuyéndole a esta última un papel fundamental en el proceso de construcción de modelos.

Principio del conocimiento como lenguaje: en el contexto de este estudio este principio es denominado para efectos de su análisis como comprensión, interpretación e intercambio de nuevos significados. Y es considerado como un principio disciplinar en el sentido de que el lenguaje está necesariamente implicado en cualquier intento humano de percibir la realidad y que la comprensión de un área disciplinar cualquiera implica la comprensión de su lenguaje; es decir, de sus palabras, signos, instrumentos y procedimientos.

Y a partir de este estudio encontramos que las actividades de modelación computacional con diagrama AVM y el intercambio de nuevos significados exigidos por éstas, favoreció en los estudiantes la comprensión de conceptos básicos relacionados con la modelación científica, posibilitándoles así la formulación e interpretación del lenguaje propio de un campo de conocimiento que les permite percibir el mundo de una manera diferente a la cual no estaban acostumbrados.

La comprensión de términos tales como: modelos, idealizaciones, referentes, sistemas físicos, límites de validez de un modelo; relación entre modelo y realidad; se afianzó ampliamente a partir del intercambio de significados que se generó por la constante interacción generado entre los estudiantes a partir del trabajo en grupo. Y se hace importante resaltar que en las actividades propuestas

para sus futuros estudiantes, formularon tareas que implicaban detectar y nombrar los referentes e idealizaciones de los modelos, así como la validación de éstos. Lo que sin lugar a dudas juega un papel fundamental en su comprensión de la modelación científica.

Sobre los principios epistemológicos: donde se agrupan los principios 5, 6, 7 y 8 de la TASC, referidos a la conciencia semántica, al aprendizaje por error, al desaprendizaje y la incertidumbre del conocimiento; y que para ser atendidos en el contexto de la modelación científica (y específicamente de la modelación computacional con dAVM) son nombrados como: la relación modelo-realidad, la valoración crítica de los modelos, la concepción de modelo y la incertidumbre del conocimiento, respectivamente.

Principio de la conciencia semántica: para efectos de su análisis en el contexto de este estudio, este principio es denominado como relación modelo-realidad; y como evidencia de este principio de la TASC, el modelo debe ser concebido como un elemento que se construye para representar la realidad, pero no como la realidad en sí misma.

En este sentido, puede deducirse que al final de la intervención, los estudiantes lograron un progreso significativo en relación con este principio; considerando que el modelo no es más que una herramienta para representar la realidad y que no necesariamente hace alusión a todas las características y/o propiedades del fenómeno real que está siendo modelado. Pues en un principio, estos estudiantes no establecían distinción alguna entre fenómenos naturales y los modelos construidos para explicarlos, viendo los modelos como copias exactas de la realidad.

Principio del aprendizaje por error: para su análisis este principio es nombrado como valoración crítica de los modelos. Y efectivamente buscaba que a partir de la valoración crítica de éstos por parte de los estudiantes pudieran ser detectados los errores y sistemáticamente corregidos. En este sentido, los estudiantes se vieron enfrentados a la interacción con modelos computacionales que contenían errores y al proceso de construcción de modelos que requirió una permanente reconstrucción de ellos, corrigiendo permanentemente los errores detectados hasta

lograr un modelo que fuera satisfactorio. No obstante, una gran dificultad fue encontrada a partir de la interacción con modelos computacionales que contenían errores -actividad 8 de la propuesta didáctica-; y es que solamente uno de los siete estudiantes participantes en este estudio, logró detectar los errores incorporados en estos modelos; sin embargo, al validar el modelo referido a la resistencia en caída vertical, lo que hizo fue cambiar la ecuación cuadrática $F=-mg-bv^2$, por la ecuación lineal $F=-mg-bv$; siendo consecuente con su razonamiento. Pero tal como lo anotamos en el estudio II, la ecuación correcta sería $F=-mg-b(v/|v|)v^2$.

La detección del error por parte de este estudiante generó una serie de reacciones en los demás estudiantes al finalizar esta actividad. En sus diferentes expresiones consideraban los modelos computacionales como correctos e incuestionables, lo que hizo que no llevaran a cabo un análisis crítico de éstos. Pero algo sumamente valioso surgió de esta situación y fue que los estudiantes a partir de ese momento fueron más críticos y reflexivos al momento de enfrentarse a los modelos computacionales.

Estas actividades y las reflexiones de los estudiantes en relación con el error en el proceso de construcción de conocimiento científico, les permitió considerar que los modelos científicos no siempre son correctos igual que la interpretación que las personas hacen de ellos. Y que debemos estar abiertos al error asumiéndolo como algo natural y hasta instructivo, dado que la propia ciencia evoluciona a partir de la superación sistemática de éste.

Principio del desaprendizaje: en el contexto de este estudio este principio fue nombrado como concepción de modelo, pretendiendo que los estudiantes no utilicen (desaprendan) ideas que obstaculicen la comprensión del modelo como una representación parcial y no exclusiva y la internalización de la idea de multirepresentación. Pues al inicio de la intervención se encontraron en los estudiantes una serie de ideas fuertemente arraigadas en relación con la concepción de modelo; tales como: los modelos son correctos y definitivos y los modelos como copias exactas de la realidad; lo que significa que se contaría con un único modelo para explicar un determinado fenómeno o sistema real.

La implementación de la propuesta didáctica permitió que los estudiantes modificaran en gran medida sus visiones en relación con los modelos; considerándolos como construcciones humanas que incluyen aproximaciones e idealizaciones, por lo que solo consiguen representar de manera parcial y aproximada los fenómenos naturales. Asimismo, lograron una adecuada comprensión del concepto de multirepresentación, admitiendo la existencia de múltiples modelos para representar un mismo fenómeno o sistema real, de acuerdo con los objetivos y el grado de precisión deseado.

Principio de la incertidumbre del conocimiento: al atender este principio se pretende valorar las ideas adquiridas por los estudiantes en relación con la falibilidad y provisionalidad del conocimiento científico. Y en este sentido, al final de la intervención las visiones de los estudiantes son consideradas como constructivistas, dado que éstos logran comprender que los modelos no son perfectos ni definitivos, que pueden contener errores y que son representaciones parciales susceptibles de ser permanentemente mejoradas y perfeccionadas; además, comprenden que siendo el conocimiento científico constituido por modelos, este también tiene carácter provisional y contemporáneo, porque constantemente están siendo construidos nuevos modelos y formuladas nuevas teorías en la búsqueda de explicaciones cada vez más próximas a la realidad.

Sobre los principios didácticos: aquí son considerados los principios 2 y 9 de la TASC que se refieren a la diversidad de materiales educativos y de estrategias de enseñanza, respectivamente.

Principio de la diversidad de materiales educativos: los estudiantes participantes en este estudio adquieren una adecuada conciencia de la necesidad de utilizar diversas fuentes y recursos para la enseñanza de la Física; y en las actividades propuestas para ser implementadas con sus futuros estudiantes hacen referencia a materiales educativos que en un principio no consideraban importantes para la enseñanza de esta disciplina.

Principio de la diversidad de estrategias de enseñanza: así como en el principio de la diversidad de estrategias de enseñanza, al inicio de la intervención

los estudiantes no lograron proponer de manera acertada estrategias de enseñanza que pudieran ser implementadas en el aula de clase para favorecer la enseñanza de la Física. Sin embargo, al final de la intervención y al generar actividades para desarrollar con sus futuros estudiantes, logran formular una serie de estrategias de enseñanza, aunque algunas de ellas muy limitadas a la modelación computacional, posiblemente por la fuerte influencia de la propuesta didáctica con ellos implementada.

Sobre la transposición didáctica: en este estudio se tenía como uno de los principales propósitos valorar las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes y favorecidas por el enfoque didáctico propuesto.

En este sentido, es importante considerar que aunque se supone que los estudiantes del programa de Física participantes en este estudio han adquirido cierto dominio en relación con el saber a enseñar, la carencia de fundamentos epistemológicos y didácticos dificulta en gran medida que ese saber pueda ser transformado adecuadamente en saber enseñado.

Asumiendo que su campo de acción más inmediato y seguro será el ejercicio de la docencia; es decir, la enseñanza de la Física; estos estudiantes asumen una actitud positiva en lo que se refiere a pensar la Física para enseñarla. Y el hecho de usar los modelos como herramientas que les permitieron transformar el saber que encuentran en los libros de texto en saber para ser enseñado a sus estudiantes, generó una mayor motivación en ellos. De esta manera, en el proceso de construcción de modelos llevaron a cabo una serie de operaciones de transposición tales como: simplificaciones, aproximaciones, idealizaciones, definición de referentes, contextualizaciones, delimitación de dominios de validez, que les permitió un mayor acercamiento y comprensión de los procesos de producción de conocimiento científico.

Una síntesis de los principales resultados obtenidos en este estudio, así como en los estudios I y II, es presentada en el siguiente capítulo referente a las consideraciones finales.

Capítulo 9

CONSIDERACIONES FINALES

Considerando que al final de cada estudio -I, II, III- se realiza una síntesis describiendo los resultados obtenidos en éste, se presentan en este capítulo las consideraciones finales de la investigación, mostrando brevemente los principales resultados de los tres estudios desarrollados y estableciendo una comparación entre ellos, en términos de similitudes y diferencias. Además, se mencionan algunas de las perspectivas futuras de este promitente campo de investigación.

Convencidos de que la implementación de actividades computacionales en el aula de clase necesariamente debe estar orientada por referenciales teóricos y metodológicos que contribuyan a un uso más efectivo de las mismas, así como por referentes teóricos acerca del aprendizaje que aporten al profesor herramientas para conocer los procesos cognitivos que se dan en los estudiantes a partir de la interacción con herramientas computacionales; decidimos llevar a cabo una investigación para abordar la enseñanza de la Física en el aula de clase a partir del uso de actividades de modelación computacional, apoyadas por una herramienta (diagrama AVM) que permitiera el uso crítico y reflexivo de los modelos computacionales para el aprendizaje de conceptos científicos, pero también para aprender acerca de la modelación científica, de la naturaleza de la ciencia y de su enseñanza.

Con este propósito fueron realizados tres estudios atendiendo a un enfoque de investigación cualitativo, desde la perspectiva de estudio de casos planteada por Stake

(1998). Los resultados de esta investigación sugieren que la implementación de la modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM en la enseñanza de la Física, es altamente pertinente para propiciar un aprendizaje significativo de conceptos físicos, así como para favorecer en los estudiantes la adquisición de visiones más adecuadas en relación con la ciencia y el proceso de modelación científica. En estos términos, la presente investigación permite visualizar la modelación como un campo altamente fructífero para implementar en el aula de clase los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico.

La propuesta didáctica que permeó cada uno de los tres estudios y los respectivos referentes teóricos y metodológicos que se constituyeron en la base para estos estudios, permitió alcanzar de un modo satisfactorio los objetivos propuestos para esta investigación.

De este modo, en el estudio I que estuvo fundamentado en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, la Modelación Esquemática de Halloun y la Modelación Computacional con diagrama AVM, se hallaron importantes evidencias para considerar que los estudiantes lograron un progreso significativo en el aprendizaje de los conceptos de dinámica Newtoniana involucrados en los modelos computacionales explorados. Del mismo modo, las actividades de modelación computacional tuvieron una influencia altamente positiva en la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos; condición necesaria para que se dé el aprendizaje significativo.

Frente a estos resultados ampliamente satisfactorios, consideramos pertinente avanzar en esta investigación, pero ahora buscando obtener un aprendizaje no solo significativo, sino significativo crítico o reflexivo; y a partir de esta idea fueron planteados los estudios II y III. Para cumplir con dicho cometido, se incorporó la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira como un nuevo referente teórico y el principal fundamento para estos dos estudios. Con la inclusión de la TASC se pretendía atender sus principios altamente compatibles con los elementos de modelación científica incorporados en la propuesta didáctica a través de las actividades de modelación computacional y de la construcción coherente del diagrama AVM.

Así, el interés del estudio II estuvo centrado en la atención de cuatro de los principios de la TASC (principio del cuestionamiento, del aprendizaje por error, del desaprendizaje y de la

incertidumbre del conocimiento) a partir de la inclusión de elementos de modelación científica mediante la modelación computacional con diagrama AVM. Los resultados arrojados por este estudio fueron muy positivos, en términos de la habilidad adquirida por los estudiantes para formular preguntas de interés en relación con las situaciones físicas exploradas (principio 1 de la TASC). Asimismo, la atención de los otros tres principios de la TASC, denominados principios epistemológicos; posibilitaron no solo un análisis más crítico de los modelos computacionales, sino además, el enriquecimiento de las concepciones de los estudiantes en relación con la naturaleza del conocimiento científico, su construcción y evolución.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio II, el estudio III se enfocó en atender todos los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, clasificándolos en tres categorías: principios disciplinares (principio del cuestionamiento, del aprendiz como perceptor/representador y del conocimiento como lenguaje), principios epistemológicos (principio de la conciencia semántica, del aprendizaje por error, del desaprendizaje y de la incertidumbre del conocimiento) y principios didácticos (principio de la diversidad de materiales educativos y de la diversidad de estrategias de enseñanza). Los resultados de este estudio tuvieron una gran similitud con los obtenidos en el estudio II; encontrándose evidencias de un mejoramiento en la capacidad de los estudiantes para formular preguntas de interés en relación con las situaciones físicas propuestas; pero además, se evidenció un progreso significativo en las concepciones de ciencia y de modelación científica adquiridas por los estudiantes. Del mismo modo, se encontró que la atención de todos los principios de la TASC en actividades de modelación computacional con diagrama AVM, favoreció una mejor comprensión de conceptos de la Física y propició una mayor reflexión acerca de la enseñanza de esta disciplina.

En este tercer estudio se incluyó además la Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard como parte de la fundamentación teórica, con el propósito de suscitar tentativas de transposición por parte de los futuros profesores de Física, a partir del diseño de actividades y materiales de enseñanza; lo que arrojó resultados positivos en lo que concierne al rol desempeñado por los modelos computacionales, al favorecer en los estudiantes la realización de tareas de transposición tales como: simplificaciones, aproximaciones, idealizaciones, contextualizaciones, delimitación de dominios de validez, necesarias para la transformación de un objeto de saber en un objeto de enseñanza.

Siendo cada nuevo estudio una ampliación -por así decirlo- del estudio anterior, es posible encontrar entre ellos varias diferencias y similitudes en su implementación. Algunas de ellas se muestran de una manera muy sintetizada en la tabla 9.1.

Tabla 9.1. Principales similitudes y diferencias entre los estudios que conformaron la tesis.

Similitudes y diferencias		Estudios
Grupo participante	23 estudiantes de la licenciatura en educación básica con énfasis en ciencias naturales y educación ambiental, semestre 2008-1	I
	7 estudiantes del programa de Física, semestre 2009-1	II
	7 estudiantes del programa de Física, semestre 2009-2	III
Asignatura en la que se realizó la intervención	Física I	I
	Didáctica para Físicos	II, III
Referentes teóricos que orientaron el estudio	Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel	I, II, III
	Modelación esquemática de Halloun	I, II, III
	Modelación computacional con diagrama AVM	I, II, III
	Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira	II, III
Metodología de investigación	Teoría de la Transposición Didáctica de Chevallard	III
	Estudio de casos instrumental	I
Objetivos generales	Estudio de casos colectivo	II, III
	Valorar la contribución de las actividades de modelación computacional y el diagrama AVM al aprendizaje significativo del campo conceptual de la dinámica Newtoniana.	I
	Determinar la influencia de las actividades de modelación computacional en la predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos.	II
	Valorar la posibilidad de atender los principios básicos de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico referidos al aprendizaje, a partir de la implementación de actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM.	II, III
	Conocer la contribución de los elementos de la modelación científica -incorporados mediante actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM- en la evolución de las concepciones de ciencia de los estudiantes.	II, III
	Valorar la posibilidad de atender los diferentes principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico referidos tanto al aprendizaje como a la enseñanza, a partir de las actividades de modelación computacional con d AVM.	III
	Favorecer en los estudiantes la formación de visiones epistemológicas más acordes con las concepciones actuales sobre el conocimiento científico y la modelación científica.	III
	Valorar la influencia del enfoque didáctico propuesto en las tentativas de transposición didáctica realizadas por los estudiantes a partir del diseño de modelos para ser implementados como materiales de enseñanza.	III
Modos de implementar las actividades de modelación computacional con dAVM	Modo exploratorio dirigido	I, II, III
	Modo exploratorio abierto	II, III
	Modo expresivo abierto	II, III
Versión del diagrama AVM implementada	Versión original	I, II
	Versión actualizada	III

Al respecto, es importante resaltar algunas de esas diferencias más visibles que no pueden pasar desapercibidas en la descripción de esta investigación; pero que además es importante considerar para futuras propuestas de investigación con intereses similares a los nuestros.

Una de esas diferencias es relativa a la elección del grupo o grupos con los cuales implementar una propuesta didáctica de estas características. En el caso de nuestro sistema educativo, los estudiantes que se están formando como licenciados en Ciencias (Biología, Física, Química), difícilmente logran adquirir un buen nivel de formación en cada una de las disciplinas en las que se enfoca su programa. En este sentido, el grupo de estudiantes con quienes se realizó el estudio I, quienes además estaban cursando apenas su primera asignatura en Física, mostraron grandes dificultades conceptuales en relación con esta disciplina; lo que determinó en gran parte el modo de implementar las actividades de modelación computacional con diagrama AVM en este estudio; que en este caso se restringieron al modo exploratorio dirigido. No obstante, es importante destacar que los alumnos participantes en este estudio tienen gran consciencia de su formación como futuros docentes de Física, lo que les permite interesarse más en aspectos relacionados con la enseñanza de esta disciplina; es decir, con aspectos didácticos, viendo en las actividades de modelación computacional una estrategia valiosa para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física.

De otro lado, los estudios II y III fueron realizados con estudiantes del programa de Física, quienes se encontraban cursando entre el sexto y noveno nivel de la carrera; por lo que se asumía tenían un buen dominio de los conceptos físicos de interés para esta investigación; aunque sus intereses en aspectos epistemológicos y didácticos fuesen mínimos. Enfrentar a estos estudiantes a la participación en una propuesta didáctica en la que se ponen de manifiesto sus concepciones sobre ciencia y la evolución de éstas, es sin duda alguna un gran reto que trae consigo valiosos hallazgos tales como una visión más crítica y reflexiva de estos estudiantes en relación con el conocimiento científico, su construcción y su evolución. De la misma manera, pretender que estudiantes con estas características reflexionen sobre asuntos relacionados con la enseñanza de las ciencias, proporcionó una oportunidad invaluable para conocer sus visiones y perspectivas en relación con la enseñanza de la Física.

El nivel de formación disciplinar de estos estudiantes, particularmente en aspectos relacionados con la mecánica Newtoniana, nos llevó a implementar con ellos actividades de modelación computacional con diagrama AVM, no solo del modo exploratorio dirigido, sino además, exploratorio abierto y expresivo abierto. Sin pretender hacer inferencias estadísticas a partir del *test FCI* aplicado al inicio de estos estudios como herramienta de diagnóstico, nos damos cuenta que el desempeño de los estudiantes en las actividades de modelación computacional de modo expresivo tiene una estrecha relación con su desempeño en el *test FCI*; es decir, con los conocimientos previos acerca de la dinámica Newtoniana.

El modo expresivo le exigía al estudiante construir su propio modelo computacional, en donde jugaba un papel relevante el conocimiento que éste tenía acerca de los conceptos de la dinámica Newtoniana; y dado que la construcción de un modelo Newtoniano requiere el uso coordinado de muchos de los conceptos Newtonianos (Hestenes, 2006), lo más importante era que ambos modos -exploratorio abierto y expresivo abierto- exigía que fueran los estudiantes quienes formularan las preguntas foco que orientarían el análisis y construcción del modelo computacional, favoreciendo en ellos una actitud de cuestionamiento. De un modo global puede afirmarse que los estudiantes participantes en los estudios II y III de esta investigación, lograron un progreso significativo en su capacidad para formular preguntas de interés sobre situaciones físicas enmarcadas en el campo conceptual de la dinámica Newtoniana; actividad a la que estos estudiantes nunca se habían enfrentado; tal y como lo afirma uno de los estudiantes que participó en el estudio II:

“...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”.

Expresión absolutamente compatible con la visión de Chevallard (1991), quien afirma que: “la enseñanza tiende a proveer al alumno de respuestas a preguntas que él no se formula (ibid., p. 102)”.

Aunque el análisis de nuestros resultados no se centró en la formulación de los diferentes componentes del diagrama AVM por parte de los estudiantes -con excepción del estudio I-, es importante poner de relieve algunas sutiles diferencias halladas en la implementación de las dos versiones del diagrama AVM-versión original y versión actualizada- para las actividades de modelación computacional.

En este sentido pudo observarse que el hecho de haber integrado los componentes de la parte central de la V -objetivo general, situación foco y preguntas foco- y enmarcarlos dentro del propósito del modelo computacional, generó una mayor comprensión de estos componentes por parte de los estudiantes, quienes en la versión original, los consideraban como componentes completamente aislados.

Además, el hecho de suprimir el campo de la filosofía en la versión actualizada del diagrama AVM evitó confusiones en los estudiantes, que se habían generado en la versión original; a tal punto que independiente del modo en que fueron implementadas las actividades de modelación computacional exploratorias y expresivas -dirigido o abierto-, se optó por formular este componente en el diagrama, antes de ser entregado a los estudiantes.

La discriminación del componente de las variables, parámetros, constantes y sus representaciones, permitió a los estudiantes obtener una mayor claridad y ser más reflexivos a la hora de definir cada uno de estos elementos. Diferente a lo sucedido con la versión original del diagrama AVM, donde dicho componente solo hacía referencia a las variables y parámetros y los estudiantes obviaban la descripción de sus respectivas representaciones.

Del mismo modo, el cambio del componente de las representaciones en el dominio metodológico de la versión original por el componente denominado forma de presentación de los registros en la versión actualizada, favoreció enormemente en los estudiantes la comprensión de este componente; pues en los estudios I y II se encontraron casos en los que algunos estudiantes describieron en este campo del diagrama, las representaciones de las variables y parámetros.

De cualquier modo, sin pretender hacer generalizaciones y con el propósito más bien de presentar conclusiones válidas para los casos aquí analizados -siendo coherentes con la metodología de investigación implementada-, es posible afirmar que los resultados obtenidos a lo largo de los tres estudios que conforman esta tesis son altamente satisfactorios.

Lo anterior sugiere que las actividades de modelación computacional son considerablemente valiosas para promover aprendizajes significativos en el aula de clase, permitiéndole a los estudiantes no solo una mayor apropiación de los conceptos físicos estudiados a partir de ellas y el establecimiento de relaciones importantes entre dichos conceptos, sino además, promoviendo actitudes positivas y una mayor predisposición de los estudiantes para el aprendizaje de conceptos físicos.

Asimismo, 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, posibilitaron la implementación de todos los principios de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico en el aula de clase, 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. La posibilidad de implementar los principios de la TASC en la enseñanza de la Física, fue previamente documentada por Paulo (2006).

La implementación de la Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico en esta propuesta didáctica permitió además, que la exploración y/o construcción de modelos computacionales se convirtiera en una actividad crítica y reflexiva por parte de los estudiantes (Medeiros y Medeiros, 2002); 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. Hecho 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 y Pietrocola, 2005).

Además, el hecho de que los estudiantes adquieran concepciones adecuadas en relación con la modelación científica y con la naturaleza y propósitos de los modelos en ciencia, sin duda alguna permitirá obtener un mayor provecho de la implementación de actividades de modelación en el aula de clase (Justi y Gilbert, 2002a; Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2002).

De las múltiples posibilidades que brinda este promitente campo de la modelación computacional con diagrama AVM para futuras investigaciones en el ámbito de la enseñanza de la Física, consideramos las siguientes como algunas perspectivas a tener en cuenta en estudios futuros.

Las actividades de modelación computacional haciendo uso del diagrama AVM y considerando los referentes teóricos aquí abordados, pueden ser particularmente útiles para ser implementadas en estudios futuros que tengan como propósito abordar el proceso de enseñanza-aprendizaje de diferentes campos conceptuales de la Física, llevando a cabo una valoración cualitativa del aprendizaje de los alumnos. De modo particular, consideramos que hacer uso de los referentes teóricos aquí propuestos; y específicamente de la Teoría del Aprendizaje significativo Crítico de Moreira para abordar la enseñanza de la Física moderna contemporánea como campo de conocimiento, sería una experiencia no sólo factible sino además considerablemente valiosa, en la medida en que se tendría un contexto mucho más real de aplicación de los principios de la TASC.

No obstante, además de los referentes teóricos en los que se fundamenta la presente investigación, otros referentes ampliamente compatibles con la modelación podrían ser implementados para abordar las actividades de modelación computacional en el aula de clase. De este modo, partiendo del hecho de que “la modelación es un proceso cognitivo de producción y modificación de modelos mentales” (Maia Ferreira y Justi, 2007, p. 66), es posible establecer una relación entre los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983) y los modelos computacionales, viendo estos últimos como una externalización de los primeros y pretendiendo que sean cercanos a los modelos conceptuales científicamente aceptados.

Es importante también destacar la contribución de las actividades grupales en el fortalecimiento de los procesos de negociación de significados y de conceptualización que lograron los estudiantes en relación con el campo de conocimiento abordado en este

estudio. Sin embargo, en vista de implementar en un futuro la propuesta didáctica que orientó esta investigación, es necesario apuntar una evidente dificultad que se generó a partir de estas actividades grupales y que hace referencia al hecho de que algunos estudiantes delegan gran parte de las actividades a sus compañeros de equipo, eludiendo responsabilidades en la realización de éstas.

Dificultad que se traduce en un obstáculo intrascendente ante la amplia gama de posibilidades reales que ofrece la implementación en el aula de clase de enfoques didácticos que tengan como propósito favorecer en los estudiantes actitudes crítico-reflexivas que promuevan no solo un aprendizaje conceptual; sino además el enriquecimiento de sus visiones sobre la naturaleza del conocimiento científico, la modelación científica y la enseñanza de ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, J A., Vázquez, A., Manassero, M A. y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4, 2, 202-225.

Adúriz-Bravo, A. y Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la física – consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19, 1, 76-88.

Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación, *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 465-476.

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

Aldana, G. (2008). Enseñanza de la investigación y epistemología de los docentes, *Educación y Educadores*, 11, 2, 61–68.

Andaloro, G. y Bellomonte, L. (1998). Student knowledge and learning skill modeling in the learning environment ‘forces’, *Computers & Education*, 30, 3-4, 209-217.

Araujo, I. S., Veit, E. A. y Moreira, M. A. (2004). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4, 3, 5-18.

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. y 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, 319-324.

Araujo, I. S., Veit, E. A. y 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*, 503-514.

Araujo, I. S., Veit, E. A. y Moreira, M. A. (2011) Modelos computacionais no ensino-aprendizagem de Física: um referencial de trabalho. Sometido à *Revista Investigações em Ensino de Ciências*.

Arnal, J., Del Rincón, D. y Latorre, A. (1992). Investigación educativa. Fundamentos y metodologías. Barcelona: Ed. labor.

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

Bachelard, G. (1982). La formación del espíritu científico. Siglo XXI Editores. México.

Benegas, J., Villegas, M., Macías, A., Nappa, N., Pandiella, S., Seballos, S., Ahumada, W., Espejo, R., Hidalgo, M.A., Otero, J., P., Landazábal, M.C., Ruiz, H., Slisko, J., Alarcón, H. y Zavala, G. (2006). Identifying Relevant Prior Knowledge and Skills in Introductory Collage Physics Course. *GIREP Conference, Amsterdam*.

Bertelle, A., Iturralde, C. y Rocha, A. (2006). Análisis de la práctica de un docente de Ciencias Naturales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 37, 4.

Bliss, J. y Ogborn, J. (1989). Tools for exploratory learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 5, 1, 37-50.

Brandão, R. V. (2011). Modelagem científica no ensino de Física: conceitualização, progressividade e domínio por parte de professores em formação continuada, 2011, (199 pags). Exame de qualificação ao doutorado, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Brandão, R. V., Araujo, I. S. y Veit, E. A. (2008). A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. *Física na Escola*, 9, 1, 10-14.

Brandão, R. V., Araujo, I. S. y 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, 669-695.

Brandão, R. V., Araujo, I. S., Veit, E. A. e Silveira, F. L. da (2011). Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelado científico en el contexto de la Física. Aceptado para publicación en la *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*.

Brickhouse, N.W. (1990). Teachers' Beliefs about the Nature of Science and their Relationship to Classroom Practice. *Journal of Teacher Education*, 41, 3, 44-52.

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

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

Bunge, M. (1978). Filosofía de la física. Editorial Ariel S.A. Barcelona.

Bunge, M. (1979). La ciencia, su método y su filosofía. Buenos Aires: Siglo XX.

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

Cachapuz, A., Praia, J. y Jorge, M. (2004). Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. *Ciência & Educação*, 10, 3, 363-381.

Camiletti, G. y Ferracioli, L. (2002). A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema mola-massa, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24, 2, 110-123.

Carrascosa, J., Fernández, L., Gil-Pérez, D. y Orozco, A. (1993). "Análisis de algunas visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencia y las características del trabajo científico", *Enseñanza de las Ciencias*, nº. extra (IV Congreso), 43-44.

Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.

Chinelli, M. V., Ferreira, M. V. S. y Aguiar, L. E. V. (2010). Epistemologia em sala de aula: a natureza da ciência e da atividade científica na prática profissional de professores de ciências. *Ciência & Educação*, 16, 1, 17-35.

Coletta, V. P. y Phillips, J. A. (2005). Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability. *American Journal of Physics*, 73, 12, 1172-1182.

Colombo de Cudmani, L. (2003). ¿Qué puede aportar la Epistemología a los diseños curriculares en Física? *Ciência & Educação*, 9, 1, 83-91.

Covalada, R.; Moreira, M. A. Y Caballero, C. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4, 1.

Covián, E. y M. Celemín (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, 26, 1, 23-42.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of test. *Psychometrika*, 16, 297-334.

Cupani, A. y Pietrocola, M. (2002). A relevancia da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciencias. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19, nº. especial, 96-120.

Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6, 1, 5–15. <http://www.hyle.org/journal/issues/6/delre.htm>

Doerr, H. M. (1997). Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force. *International Journal of Science Education*, 19, 3, 265-282.

Espinoza, F. (2005). An analysis of the historical development of ideas about motion and its implications for teaching. *Physics Education*, 40, 2, 139-146.

Fernández, I., Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 477-488.

Flores, F., Gallegos, L., Bonilla, X., López, L. y García, B. (2007). Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia de los profesores de Biología de nivel secundario. *Revista Mexicana de investigación Educativa*, 12, 32, 359-380.

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

Giere, R. N. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, 5, 742-752.

Giere, R. N., (2009). Is computer simulation changing the face of experimentation? *Philosophical Studies*, 143, 1, 69-62.

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

Gil-Pérez, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? (Intento de síntesis de las aportaciones de la investigación didáctica). *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 1, 69-77.

Gilbert, S.W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79.

Gilbert, J. K., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998a). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20, 1, 83-97.

Gilbert, J. K., Boulter, C. y Rutherford, M. (1998b). Models in explanations, Part 2: Whose voice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, 20, 2, 187–203.

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

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 9, 799-822.

Halloun, I. (1996). Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 9, 1019-1041.

Halloun, I. (1998). Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World: The Newtonian Concept of Force. *Science Education*, 82, 2, 239–263.

Halloun, I. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht Boston: Kluwer Academic Publishers.

Halloun, I. y Hestenes, D. (1985a). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53, 11, 1043-1055.

Halloun, I. y Hestenes, D. (1985b). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, 11, 1056-1065.

Halloun, I., Hake, R., Mosca, E. y Hestenes, D. (1995). Force Concept Inventory (revised 1995). En: E. Mazur (1996). *Peer Instruction: A User's Manual* (47-58). Addison-Wesley.

Harres, J. B. S. (1999). Uma revisão de pesquisa nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4, 3, 197-211.

Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 9, 1011–1026.

Hashweh, M. (1996). Effects of Science Teachers' Epistemological Beliefs in Teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 1, 47-63.

Henao, B. L. y Stipcich, M. S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7, 1, 47-62.

Henderson, C. (2002). Common concerns about the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 40, 542-547.

Hennessy, S., Twigger, D., Driver, R., O'Malley, C.E., Byard, M., Draper, S., Hartley, R., Mohamed, R., O'Shea, T. y Scanlon, E. (1995). Design of a computer-augmented curriculum for mechanics. *International Journal of Science Education*, 17, 1, 75-92.

Hernández, R., Fernández-Collado, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. McGraw-Hill, México. Cuarta edición.

Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55, 5, 440-454.

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

Hestenes, D. (1995). Modeling Software for learning and doing physics. In C. Bernardini, C. Tarsitani y M. Vincentini (Eds), *Thinking physics for teaching*. New York: Plenum Press. pp. 25-66.

Hestenes, D. (1996). Modeling methodology for physics teachers. *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*, College Park, August 1996.

Hestenes, D. (2006). Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction. In *GIREP Conference, Amsterdam*. Proceedings of the GIREP 2006. Conference: *Modelling in Physics and Physics Education*.

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

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

Hestenes, D. y Halloun, I. (1995b). The search for conceptual coherence in FCI data. En: <http://modeling.asu.edu/R&E/CoherFCI.pdf>. Acceso en 10 de noviembre de 2010.

Hewson, P. W. y Hewson, M. G. (1987). Science teacher's conceptions of teaching: Implications for teacher education. *International Journal of Science Education*, 9, 4, 425-440.

Hewson, P. W. (1990). La enseñanza de "fuerza y movimiento" como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 8, 2, 157-172.

Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum, *Science Education*, 72, 1, 19-40.

Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration of in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 5, 541-562.

Huffman, D. y Heller, P. (1995a). What does the Force Concept Inventory actually measure? *The Physics Teacher*, 33, 138-143.

Huffman, D. y Heller, P. (1995b). Interpreting the Force Concept Inventory: a reply to Hestenes and Halloun. *The Physics Teacher*, 33, 503-511.

Hülsendeger, M. (2004). Uma análise das concepções dos alunos sobre a queda dos corpos. *Caderno Catarinense do Ensino da Física*, 21, 3, 377-391.

Islas, S. M. y Pesa, M. A. (2003). ¿Qué rol asignan los profesores de física de nivel medio a los modelos científicos y a las actividades de modelado? *Enseñanza de las Ciencias*, N. extra, 57-66.

Jimoyiannis, A. y Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36, 183-204.

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, 173–184.

Justi, R. y van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27, 5, 549–573.

Justi, R. y 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, 993-1009.

Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 4, 369–387.

Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning Science. *International Journal of Science Education*, 24, 12, 1273–1292.

Kearney, M. (2002). Classroom Use of multimedia-supported predict-observe-explain tasks to elicit and promote discussion about students' physics conceptions. *Unpublished PhD dissertation, Perth: Curtin University of Technology*.

Kibble, B. (2006). Understanding forces: what's the problem? *Physics Education*, 41, 3, 228-231.

Kleer, A. A., Thielo, M. R. y Santos, A. de C. K. dos. (1997). A física utilizada na investigação de acidentes de trânsito. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14, 2, 160-169.

Kouladis, V. y Ogborn, J. (1995). Science teachers' philosophical assumptions: how well do we understand them? *International Journal of Science Education*, 17, 3, 273-283.

Krapas, S., Queiróz, G., Colinvaux, D. y Franco, C. (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2, 1, 185-205.

Lawrence, I. (2006). Challenges and Opportunities in computational modeling. *GIREP Conference, Amsterdam*.

Lederman, N.G. (1992). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 4, 331-359.

Li, Y., Borne, I.; y O'shea, T. (1996). A scenario design tool for helping students learn mechanics. *Computers & Education*, 26, 1, 91-99.

López, A., Flores, F. y Gallegos, L. (2000). La formación de docentes en física para el bachillerato. Reporte y reflexión sobre un caso. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 5, 9, 113–135.

López Ríos, S. (2005). Aprendizaje del concepto físico fuerza de fricción a partir de una actividad experimental soportada por el uso del computador. Trabajo de Maestría en Educación con énfasis en Docencia de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

López Ríos, S. y Covalada, R. (2005). Ideas de los estudiantes sobre los conceptos de fuerza y fuerza de fricción. *Revista Educación y Pedagogía*, 17, 43, 197-206.

López Ríos, S., Veit, E. A. y Araujo, I. S. (2011). 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*, 10, 1, 202-226.

Maia Ferreira, P. y Justi R. (2007). Papel de profesor en planeamiento y realización de actividades de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación en Ciencias*, 8, 2, 66-70.

Medeiros, A. y Medeiros, C. F. de. (2002). Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24, 2, 77-86.

Mora, C. y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin American Journal of Physics Education*, 3, 1, 72-86.

Moreira, M. A. y Silveira, F. L. (1993). *Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem: a entrevista clínica e a validação de testes de papel e lápis*. Porto Alegre: EDIPUCRS.

Moreira, M. A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Visor S. A.

Moreira, M. A. (2002). Investigación en Educación en Ciencias: Métodos Cualitativos. *Texto de apoyo n. 14, para el Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*, Universidad de Burgos-España, Universidad Federal Rio Grande do Sul-Brasil.

Moreira, M. A. (2004). Investigación básica en educación en ciencias: una visión personal. *Revista Chilena de Educación Científica*, 3, 1, 10-17.

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

Moreira, M. A., Greca, I. M. y Rodríguez Palmero, M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2, 3, 84-96.

Moreira, M. A., Massoni, N. T. y Ostermann, F. (2007). “História e epistemologia da física” na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29, 1, 127-134.

Moreira, M. A. y Sperling, C. S. (2009). Mapas conceptuales y aprendizaje significativo: ¿una correlación necesaria? *Experiências em Ensino de Ciências*, 4, 3, 91-100.

Paruelo, J. (2003). Enseñanza de las Ciencias y Filosofía. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 2, 329-335.

Paulo, I. J. C. de. (2006). A aprendizagem significativa crítica de conceitos da Mecânica Quântica segundo a Interpretação de Copenhagen e o problema da diversidade de propostas de inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Espanha: Universidade de Burgos (Tese de doutorado).

Peme-Aranega, C., Mellado, V., De Longhi, A., Argañaraz, M. y Ruiz, C. (2008). El proceso de reflexión orientado como una estrategia de investigación y formación: estudio longitudinal de caso. *Tecné, Episteme y Didaxis: TEΔ*. 24, 75-98.

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, 213-227.

Pope, M. y Gilbert, J. (1983). Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science. *Science Education*, 67, 2, 193-203. (Trad. cast. 1988, La experiencia personal y la construcción del conocimiento en ciencias, en: Porlán, R., García, J.E. y Cañal, P. *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada).

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

Porlán, R., Rivero, A. y Martín, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores-II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 2, 271-288.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 2, 211-227.

Postman, N. y Weingartner, C. (1969). *Teaching as a subversive activity*. New York: Dell Publishing Co. 219p.

Poon, C.H. (2006). Teaching Newton's Third Law of Motion in the presence of student preconception. *Physics Education*, 41, 3, 223-227.

Praia, J., Cachapuz, A. y Gil-Pérez, D. (2002). Problema, teoría e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. *Ciência & Educação*, 8, 1, 127-145.

Praia, J., Gil-Pérez, D. y Vilches, A. (2007). O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, 13, 2, 141-156.

Ravanal, E. y Quintanilla, M. (2010). Caracterización de las concepciones epistemológicas del profesorado de Biología en ejercicio sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9, 1, 111-124.

Rezende, F. y de Souza Barros, S. (2008). Students' navigation patterns in the interaction with a mechanics hypermedia program. *Computers & Education*, 50, 1370-1382.

Rodríguez, D. y López, A. (2006). Cómo se articulan las concepciones epistemológicas y de aprendizaje con la práctica docente en el aula? Tres estudios de caso de profesores de secundaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11, 31, 1307-1335.

Rogers, L. (2006). Motivating teachers and pupils to engage with modeling. *GIREP Conference, Amsterdam*.

Ruiz, C., Da Silva, C., Porlán, R. y Mellado, V. (2005). Construcción de mapas cognitivos a partir del cuestionario INPECIP. Aplicación al estudio de la evolución de las concepciones de una profesora de secundaria entre 1993 y 2002, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4, 1.

Salinas de Sandoval, J. y Colombo de Cudmani, L. (1993). Epistemología e historia de la física en la formación de los profesores de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 15, 1 a 4, 100-109.

Salinas de Sandoval, J., Colombo de Cudmani, L. y Jaén de Madozzo, M. (1995). Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fácticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 17, 1, 55-61.

Sánchez, M. A. (2007). Animaciones *Modellus* y videos de experiencias de laboratorio para dar un nuevo impulso a la enseñanza de la mecánica Newtoniana. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 3, 729-745.

Sánchez, I.; Moreira, M. A. y Caballero, C. (2005). Aprendizaje Significativo de la Cinemática a través de Resolución de Problemas y uso de Cálculo Diferencial en Estudiantes Universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra, VII congreso.

Santos, A. C. K. y Ogborn, J. (1992). A model for teaching and researching into a computational modeling. *Journal of Computer Assisted Learning*, 8, 67-78.

Santos, G., Otero, M. R. y Fanaro, M. de los A. (2000). ¿Cómo usar software de simulación en clases de física? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17, 1, 50-66.

Savinainen, A. y Viiri, J. (2008). The Force Concept Inventory as a measure of students' conceptual coherence. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 4, 719-740.

Sebastia, J. M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 3, 161-169.

Serrano, G. P. (1998). Investigación cualitativa. Retos e interrogantes. I. Métodos. Madrid: La Muralla S. A.

Siegel, S. (1972). Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta. México: Trillas.

Slisko, J. y Medina, R. (2007). Un curso de mecánica clásica sin conferencias magisteriales: objetivos, elementos del diseño y efectos en los estudiantes. *Latin American Journal of Physics Education*, 1, 1, 51-61.

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

Strike, K. A., y Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: R. A. Duschl & R. J. Hamilton (ed.). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. New York: State University of New York Press.

Talim, S. L. (1999). Dificuldades de aprendizagem na terceira lei de Newton. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16, 2, 141-153.

Tao, P. K. y Gunstone, R. F. (1999). The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 7, 859-882.

Tasar, M. F. (2006). From diagnosis to treatment: diagnosing understandings about force and motion and providing analogies for stimulating meaningful learning and conceptual change. *GIREP Conference, Amsterdam*.

Teodoro, V. D. (1998). 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. En:

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

Teodoro, V. D. (2004). Playing Newtonian games with Modellus. *Physics Education*, 39, 5, 421-428.

Teodoro, V. D. (2010). Modellus 2.5. En: <http://modellus.fct.unl.pt/>. Acceso en: 20 de mayo de 2010.

Terry, C., Jones, G. y Hurford, W. (1985). Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, 20, 162-165.

Thornton, R. K. y Sokoloff, D. (1997). Using Interactive Lecture Demonstration to create an Active Learning Environment. *The Physics Teacher*, 35, 340-347.

Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., y Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 4, 357-368.

Uniserve Science (2004). *Alternativa Strategies for Science Teaching and Assessment*. Disponible en: <<http://science.uniserve.edu.au/school/support/strategy.html>>.

Valente, M. y Neto, A. J. (1992). El ordenador y su contribución a la superación de las dificultades de aprendizaje en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 1, 80-85.

Veit, E. A. y Teodoro, V. D. (2002). Modelagem no Ensino/Aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24, 2, 87-96.

Veit, E. A., Mors, P. M. y Teodoro, V. D. (2002). Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24, 2, 176-184.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.

Wainmaier, C; Speltini, C. y Salinas, J. (2011). Conceptos y relaciones entre conceptos de la mecánica Newtoniana en estudiantes que ingresan a la universidad. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10, 1, 133-152.

Watts, D. M y Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16, 360-365.

Wells, M., Hestenes, D. y Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63, 7, 606-619.

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.

Yamamoto, I. y Barbeta, V. B. (2001). Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23, 2, 215-225.

Zacharia, Z. C. y Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics, *American Journal of Physics*, 71, 6, 618-629.

Zacharia, Z. C. (2005). The impact of interactive computer simulations on the nature and quality of postgraduate science teachers' explanations in physics. *International Journal of Science Education*, 27, 14, 1741-1767.

ANEXOS

Anexo A

Trabajos revisados por Brandão (2011), sobre modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física

En este anexo son relacionados los 97 trabajos encontrados por Brandão (2011), sobre modelos y modelación científica, simulaciones y modelación computacional en la enseñanza de la Física. Las referencias son presentadas en seis cuadros correspondientes a las categorías de análisis definidas por este autor.

Cuadro 1. Relación de las referencias clasificadas por Brandão (2011) en la categoría Concepciones y actitudes de profesores sobre modelos y modelación científica.

Categoría 1	Referencias
Concepciones y actitudes de profesores sobre modelos y modelación científica	Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 28, 1, 73-79.
	Smit, J. J. A. y Finegold, M. (1995). Models in physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at south african universities. <i>International Journal of Science Education</i> , 17, 5, 621-634.
	Van Driel, J. H. y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. <i>International Journal of Science Education</i> , 21, 11, 1141-1153.
	Van Driel, J. H. y Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. <i>International Journal of Science Education</i> , 24, 12, 1255-1272.
	Islas, S. M. y Pesa, M. A. (2001). Futuros docentes y futuros investigadores se expresan sobre el modelado em física. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 23, 3, 319-328.
	Islas, S. M. y Pesa, M. A. (2002). ¿Qué ideas tienen los profesores de física de nivel medio respecto al modelado? <i>Ciência & Educação</i> , 8, 1, 13-26.
	Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. <i>International Journal of Science Education</i> , 24, 4, 369-387.
	Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. <i>International Journal of Science Education</i> , 24, 12, 1273-1292.
	Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. <i>International Journal of Science Education</i> , 25, 11, 1369-1386.
	Henze, I.; Van Driel, J. H. y Verloop, N. (2007a). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. <i>Research in Science Education</i> , 37, 2, 99-122.

Cuadro 2. Relación de las referencias clasificadas por Brandão (2011) en la categoría Reflexiones y propuestas enfatizando el papel de los modelos y de la modelación científica en la enseñanza de la Física.

Categoría 2	Referencias
Reflexiones y propuestas enfatizando el papel de los modelos y de la modelación científica en la enseñanza de la Física	Cudmani, L. C. y Sandoval, J. S. (1991). Modelo físico e realidade. Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem. <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , 8, 3, 193-204.
	Hestenes, D. (1992). Modeling games in the newtonian world. <i>American Journal of Physics</i> , 60, 8, 732-748.
	Wells, M.; Hestenes, D. y Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. <i>American Journal of Physics</i> , 63, 7, 606-619.
	Krapas, S.; Queiroz, G.; Conlinvaux, D. y C. Franco (1997). Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. <i>Investigações em Ensino de Ciências</i> , 2, 3, 185-205.
	Gilbert, J. K.; Boulter, C. y Rutherford, M. (1998a). Models in explanations, part 1: horses for courses? <i>International Journal of Science Education</i> , 20, 1, 83-97.
	Gilbert, J. K.; Boulter, C. y Rutherford, M. (1998b). Models in explanations, part 2: whose voice? Whose ears? <i>International Journal of Science Education</i> , 20, 2, 187-203.
	Greca, I. M. y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , 15, 2, 107-120.
	Gobert, J. D. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. <i>International Journal of Science Education</i> , 22, 9, 891-894.
	Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. <i>International Journal of Science Education</i> , 22, 9, 1011-1026.
	Justi, R. y Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of “the atom”. <i>International Journal of Science Education</i> , 22, 9, 993-1009.
	Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. <i>Enseñanza de las Ciencias</i> , 19, 2, 231-242.
	Adúriz-Bravo, A. y Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la física –consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , 19, 1, 79-92.
	Medina, C.; Velazco, S. y Salinas, J. (2002). Control experimental del modelo de péndulo matemático. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 24, 2, 254-258.
	Greca, I.M. y Santos, F. M. T. (2005). Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: o caso da física e da química, <i>Investigações em Ensino de Ciências</i> , 10, 1, 31-46.
	Coll, R. K.; France, B. y Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. <i>International Journal of Science Education</i> , 27, 2, 183-198.
	Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. <i>Enseñanza de las Ciencias</i> , 24, 2, 173-184.
	Viau, J. E.; Moro, L. E.; Zamorano, R. O. y Gibbs, H. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico. <i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias</i> , 5, 2, 170-184.
	Hart, C. (2008). Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits. <i>Research in Science Education</i> , 38, 5, 529-544.
	Brewer, E. (2008). Modeling theory applied: modeling instruction in introductory physics. <i>American Journal of Physics</i> , 76, 12, 1155-1160.
	Oliva-Martínez, J. M. y Aragón-Méndez, M. M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. <i>Enseñanza de las Ciencias</i> , 27, 2, 195-208.
Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo	

	científico para la enseñanza de las ciencias naturales. <i>Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias</i> , 4, n. esp., 40-49.
--	---

Cuadro 3. Relación de las referencias clasificadas por Brandão (2011) en la categoría Implementación y resultados de estrategias centradas en los modelos y en la modelación científica en la enseñanza de la Física.

Categoría 3	Referencias
Implementación y resultados de estrategias centradas en los modelos y en la modelación científica en la enseñanza de la Física	Halloun, I. A. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 33, 9, 1019-1041.
	Halloun, I. (1998). Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World: The Newtonian Concept of Force. <i>Science Education</i> , 82, 2, 239-263.
	Redfors, A. y Ryder, T. (2001). University physics students' use of models in explanations of phenomena involving interaction between metals and electromagnetic radiation. <i>International Journal of Science Education</i> , 23, 12, 1283-1301.
	Benson, U. y Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics. <i>International Journal of Science Education</i> , 26, 9, 1083-1110.
	Cahyadi, M. V. y Butler, P. H. (2004). Undergraduate students' understanding of falling bodies in idealized and real-world situations. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 41, 6, 569-583.
	Fernández, P. E.; González, E. M. y Matarredona, J. S. (2005). De los corpúsculos de luz al efecto fotoeléctrico. Una propuesta didáctica con base en la discusión de modelos. <i>Revista de Enseñanza de la Física</i> , 18, 1, 69-80.
	Justi, R. y Van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. <i>International Journal of Science Education</i> , 27, 5, 549-573.
	Henze, I.; Van Driel, J. H. y Verloop, N. (2007b). The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform. <i>International Journal of Science Education</i> , 29, 15, 1819-1846.
	Lopes, J. B. y Costa, N. (2007). The evaluation of modelling competences: difficulties and potentials for the learning of the sciences. <i>International Journal of Science Education</i> , 29, 7, 811-851.
	Henze, I.; Van Driel, J. H. y Verloop, N. (2008). Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe. <i>International Journal of Science Education</i> , 30, 10, 1321-1342.
Akerson, V. L.; Townsend, J. S.; Donnelly, L. A; Hanson, D. L.; Tira, P. y White, O. (2009). Scientific modeling for inquiring teachers network (SMIT'N): the influence on elementary teachers' views of nature of science, inquiry, and modeling. <i>Journal of Science Teacher Education</i> , 20, 1, 21-40.	

Cuadro 4. Relación de las referencias clasificadas por Brandão (2011) en la categoría Reflexiones y propuestas enfatizando el papel de las simulaciones y de la modelación computacional en la enseñanza de la Física.

Categoría 4	Referencias
Reflexiones y propuestas enfatizando el papel de las simulaciones y de la modelación computacional en la enseñanza de la Física	Santos, A. C. K. (1990). Modelamento computacional através do sistema de modelamento celular (CMS): alguns aspectos. <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , 7, 1, 31-39.
	Santos, A. C. K. (1991). Alguns aspectos do uso do sistema de modelamento IQON no ensino de física. <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , 8, 2, 106-117.
	Andaloro, G.; Donzelli, V. y Sperandeo-Mineo, R. M. (1991). Modelling in physics teaching: the role of computer simulation. <i>International Journal of Science Education</i> , 13, 3, 243-254.
	Mckinney, W. J. (1997) The educational use of computer based science simulations: some lessons from the philosophy of science. <i>Science & Education</i> , 6, 6, 591-603.
	Santos, A. C. K.; Cho, Y.; Araujo, I. S. y Gonçalves, G. P. (2000). Algumas possibilidades de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de física, através da ferramenta de modelagem quantitativa STELLA. <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , Florianópolis, 17, 1, 81-95.
	Santos, G.; Otero, M. R. y Fanaro, M. A. (2000). ¿Cómo usar software de simulación en clases de física? <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , 17, 1, 50-66.
	Medeiros, A. y Medeiros, C. F. (2002). Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , São Paulo, 24, 2, 77-86.
	Veit, E. A. y Teodoro, V. D. (2002). Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 24, 2, 87-96.
	Veit, E. A., Mors, P. M. y Teodoro, V. D. (2002). Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 24, 2, 176-184.
	Matzen, C. P. (2003). Modelamiento y simulación computacional en la enseñanza y aprendizaje de la física. <i>Revista Chilena de Educación Científica</i> , 1, 2, 8-15.
	Ezrailson, C. M.; Allen, G. D. y Loving, C. C. (2004). Analyzing dynamic pendulum motion in an interactive online environment using flash. <i>Science & Education</i> , 13, 4-5, 437-457.
	Araujo, I. S.; Veit, E. A. y Moreira, M. A. (2004). Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da cinemática. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 26, 2, 179-184.
	Teodoro, V. D. (2004). Paying newtonian games with modellus. <i>Physics Education</i> , Bristol, 39, 5, 421-428.
	Figueira, J. S. (2005). Easy java simulations – modelagem computacional para o ensino de física. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 27, 4, 613-618.
	Benito, J. V. S.; Gras-Marti, A. y Soler-Selva, V. (2005). Recursos para la enseñanza del péndulo simple: imágenes, mediciones, simulaciones y guías didácticas. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , 22, 2, 165-189.
	Christian, W. y Esquembre, F. (2007). Modeling physics with easy java simulations. <i>The Physics Teacher</i> , 45, 8, 475-480.
Schwarz, C. V.; Meyer, J. y Sharma, A. (2007). Technology, pedagogy, and epistemology: opportunities and challenges of using computer modeling and simulation tools in elementary science methods. <i>Journal of Science Teacher Education</i> , 18, 2, 243-269.	
Blake, C. y Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. <i>Journal of Computer Assisted Learning</i> , 23, 6, 491-502.	
Buffler, A.; Pillay, S.; Lubben, F. y Fearick, R. (2008). A model-based view	

	of physics for computational activities in the introductory physics course. <i>American Journal of Physics</i> , 76, 4-5, 431-437.
	Veit, E. A.; Araujo, I. S. y Moreira, M. A. (2008). Modelado computacional en la enseñanza de ciencias. <i>Revista Chilena de Educación Científica</i> , 7, 2, 3-11.

Cuadro 5. Relación de las referencias clasificadas por Brandão (2011) en la categoría Implementación y resultados de estrategias centradas en las simulaciones y en la modelación computacional en la enseñanza de la Física.

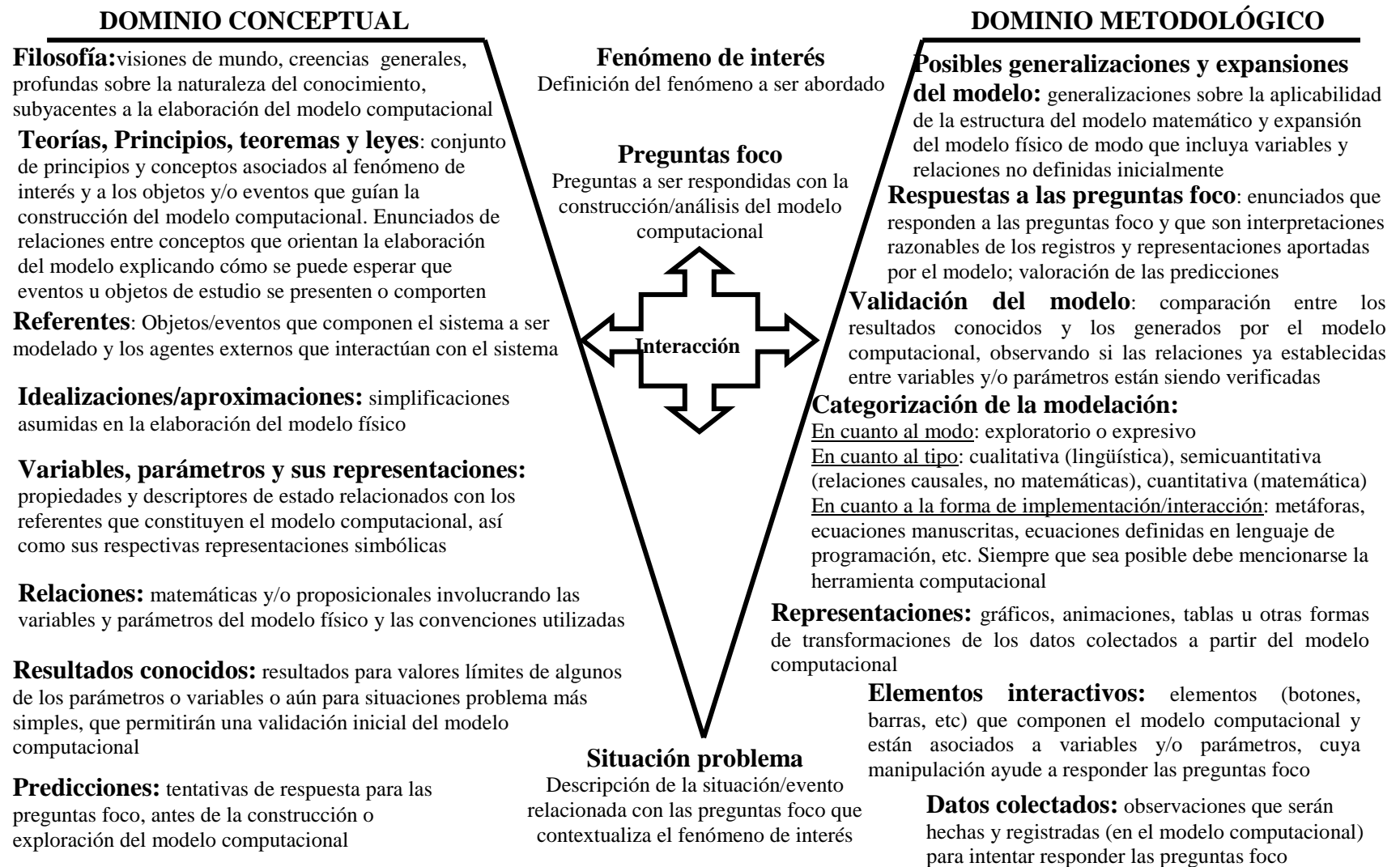
Categoría 5	Referencias
Implementación y resultados de estrategias centradas en las simulaciones y en la modelación computacional en la enseñanza de la Física	Weller, H. G. (1995). Diagnosing and altering three aristotelian alternative conceptions in dynamics: microcomputer simulations of scientific models. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 32, 3, 271-290.
	Camacho, F. F. y Cazares, L. G. (1998). Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation. <i>Science Education</i> , 82, 1, 15-29..
	Barab, S. A.; Hay, K. E.; Barnett, M. y Keating, T. (2000). Virtual solar system project: building understanding through model building. <i>Journal of Research in Science Teaching</i> , 37, 7, 719-756.
	Camiletti, G. y Ferracioli, L. (2001). A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física. <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i> , 18, 2, 214-228.
	Camiletti, G. y Ferracioli, L. (2002). A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema mola-massa, <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 24, 2, 110-123.
	Keating, T.; Barnett, M.; Barab, S. A. y Hay, K. E. (2002). The virtual solar system project: developing conceptual understanding of astronomical concepts through building three-dimensional computational models. <i>Journal of Science Education and Technology</i> , 11, 3, 261-275.
	Stylianidou, F.; Boohan, R. y Ogborn, J. (2004). Science teachers' transformations of the use of computer modeling in the classroom: using research to inform training. <i>Science Education</i> , 89, 1, 56-70.
	Crawford, B.A. y Cullin, M.J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. <i>International Journal of Science Education</i> , 26, 11, 1379-1401.
	Hansen, J. A.; Barnett, M.; Makinster, J. G. y Keating, T. (2004a). The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a quantitative analysis. <i>International Journal of Science Education</i> , 26, 11, 1365-1378.
	Hansen, J. A.; Barnett, M.; Makinster, J. G. y Keating, T. (2004b). The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: a qualitative analysis. <i>International Journal of Science Education</i> , 26, 13, 1555-1575.
	Rampinelli, M.; Ferracioli, L. (2006). Estudo do fenômeno de colisões através da modelagem computacional quantitativa. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , 23, 1, 93-122.
	Dorneles, P. F. T.; Araujo, I. S. y Veit, E. A. (2006). Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte I – circuitos elétricos simples. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 28, 4, 487-496.
	Gomes, T. y Ferracioli, L. (2006). A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 28, 4, 453-461.
	Araujo, I. S.; Veit, E. A. y Moreira, M. A. (2007). Simulações computacionais na aprendizagem da lei de Gauss para a eletricidade e da lei de Ampère em nível de física geral. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i> , 6, 3, 601-629.

	Sánchez, M. A. (2007). Animaciones modells y videos de experiencias de laboratorio para dar un nuevo impulso a la enseñanza de la mecánica newtoniana. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i> , 6, 3, 729-745.
	Dorneles, P. F. T.; Araujo, I. S. y Veit, E. A. (2008). Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte II –circuitos RLC. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 30, 3, 3308-16.
	Araujo, I. S.; Veit, E. A. y Moreira, M. A. (2008). Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. <i>Computers & Education</i> , 50, 4, 1128-1140.
	Barneto, A. G. y Raya, J. P. B. (2008). Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple. <i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i> , 7, 3, 681-703.
	Mckagan, S. B.; Perkins, K. K. y Wieman, C. E. (2008). Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively. <i>Physical Review Special Topics – Physics Education Research</i> , 4, 1, 010103-10.
	Schwarz, C. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. <i>Science Education</i> , 93, 4, 720-744.

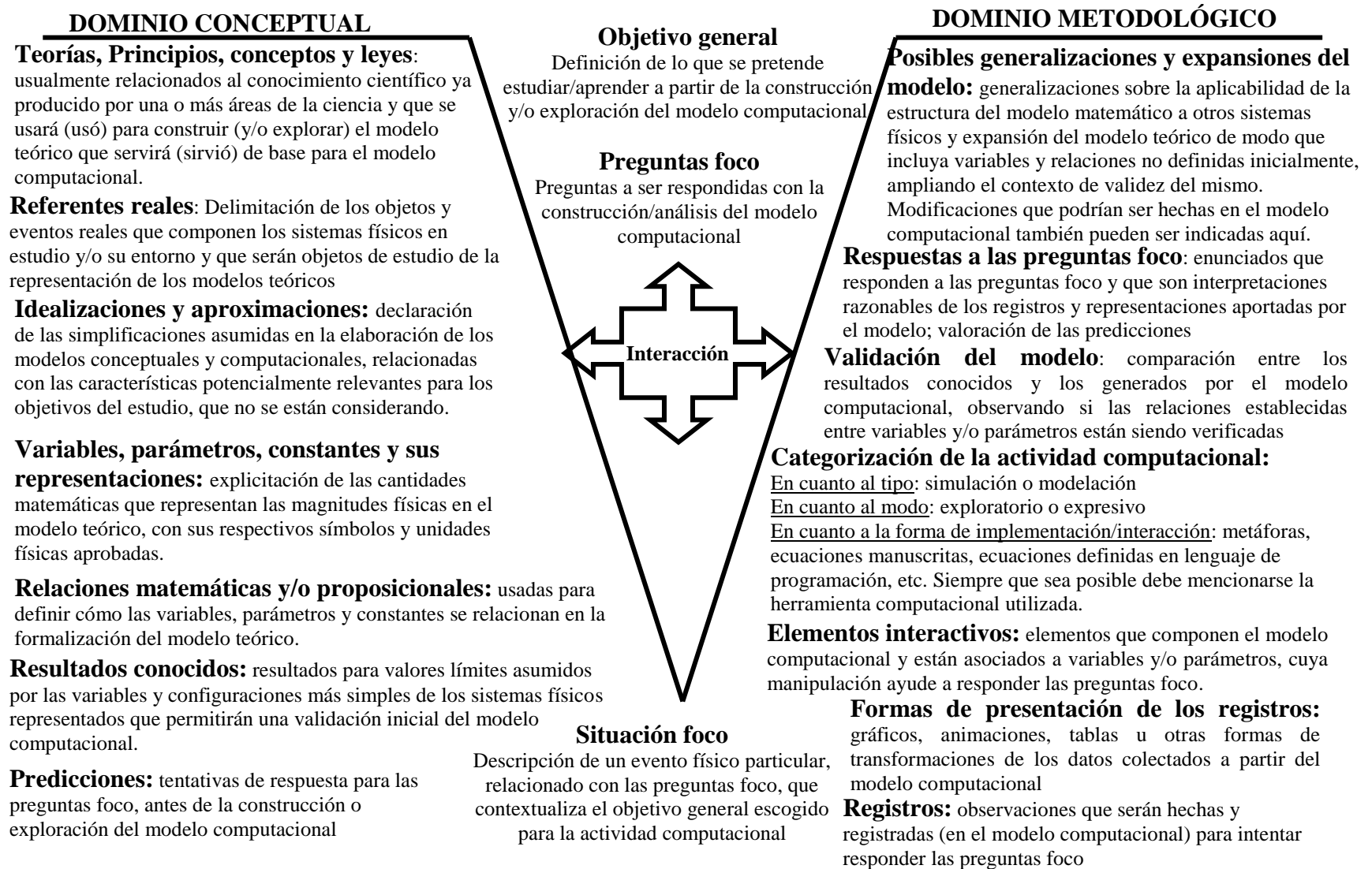
Cuadro 6. Relación de las referencias clasificadas por Brandão (2011) en la categoría Fundamentos epistemológicos sobre modelos y modelación científica.

Categoría 6	Referencias
Fundamentos epistemológicos sobre modelos y modelación científica	Kipnis, N. (1998). Theories as models in teaching physics. <i>Science & Education</i> , 7, 3, 245-260.
	Niaz, M. (1999). The role of idealization in science and its implications for science education. <i>Journal of Science Education and Technology</i> , 8, 2, 145-150.
	Pietrocola, M. (1999). Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. <i>Investigações em Ensino de Ciências</i> , 4, 3, 213-227.
	Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias, <i>Ciência & Educação</i> , 7, 1, 85-94.
	Cupani, A. y Pietrocola, M. (2002). A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , 19, n. esp., 100-125.
	Grandy, R. E. (2003). What are models and why do we need them? <i>Science & Education</i> , 12, 8, 773-777.
	Westphal, M. y Pinheiro, T. C. (2004). A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. <i>Ciência & Educação</i> , 10, 3, 585-596.
	Nola, R. (2004). Pendula, models, constructivism and reality. <i>Science & Education</i> , 13, 4-5, 349-377.
	Matthews, M. R. (2004). Idealisation and Galileo's pendulum discoveries: historical, philosophical and pedagogical considerations. <i>Science & Education</i> , 13, 4-5, 689-715.
	Matthews, M. R. (2007). Models in science and in science education: an introduction. <i>Science & Education</i> , 16, 7-8, 647-652.
	Portides, D.P. (2007). The relation between idealisation and approximation inscientific model construction. <i>Science & Education</i> , 16, 7-8, 699-724.
	Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. <i>Science & Education</i> , 16, 7-8, 725-749.
	Koponen, I. T. (2007). Model and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. <i>Science & Education</i> , 16, 7-8, 751-773.
	Silva, C. C. (2007). The role of models and analogies in the eletromagnetic theory: a historical case study. <i>Science & Education</i> , 16, 7-8, 835-848.
	Lattery, M. J. (2008). The long decay model of one-dimensional projectile motion. <i>Science & Education</i> , 17, 7, 779-798.

Anexo B. Componentes del Diagrama AVM (versión original)



Anexo C. Componentes del Diagrama AVM (versión actualizada)



Anexo D

Test FCI o “Cuestionario sobre el concepto de fuerza”

NOMBRE: _____ CARNET: _____

1. Dos bolas de metal son del mismo tamaño, pero una pesa el doble que la otra. Las bolas se dejan caer simultáneamente desde el techo de un edificio. El tiempo que toman las bolas para llegar al piso será:
 1. aproximadamente la mitad para la bola más pesada que para la más liviana
 2. aproximadamente la mitad para la bola más liviana que para la más pesada
 3. aproximadamente el mismo para ambas bolas
 4. considerablemente menos para la bola más pesada, pero no necesariamente la mitad del tiempo
 5. considerablemente menos para la bola más liviana, pero no necesariamente la mitad del tiempo.

2. Las dos bolas del problema anterior ruedan por una mesa horizontal con la misma velocidad. En esta situación
 1. ambas bolas golpean el piso aproximadamente a la misma distancia horizontal desde la base de la mesa.
 2. La bola más pesada golpea el piso cerca de la mitad de la distancia horizontal desde la base de la mesa, de lo que lo hace la bola más liviana.
 3. La bola más liviana golpea el piso cerca de la mitad de la distancia horizontal desde la base de la mesa, de lo que lo hace la bola más pesada.
 4. La bola más pesada golpea el piso considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más liviana, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.
 5. La bola más liviana golpea el piso considerablemente más cerca de la base de la mesa que la bola más pesada, pero no necesariamente a la mitad de la distancia horizontal.

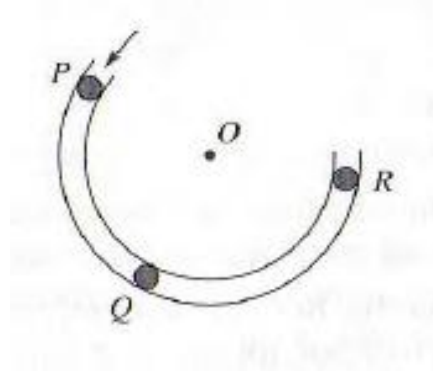
3. Una piedra se deja caer en dirección a la superficie de la tierra desde el techo de un edificio
 1. Alcanza una velocidad máxima muy poco después de soltarse y entonces cae con velocidad constante.
 2. La velocidad con que cae es porque la atracción gravitacional se vuelve más fuerte a medida que la piedra se acerca a la tierra.
 3. La velocidad con que cae se debe principalmente a una fuerza de gravedad constante que actúa sobre la piedra
 4. Caer por causa de la tendencia natural de todos los objetos a reposar sobre la superficie de la tierra.
 5. Caer por causa de los efectos combinados de la fuerza de gravedad que la empujan hacia abajo y la fuerza del aire empujándola hacia abajo.

4. Un camión grande choca con un pequeño carro compacto. Durante la colisión

1. El camión ejerce una mayor cantidad de fuerza sobre el carro que la que el carro ejerce sobre el camión.
2. El carro ejerce una mayor cantidad de fuerza sobre el camión que la que el camión ejerce sobre el carro.
3. ninguno ejerce una fuerza sobre el otro, el carro se rompe simplemente porque está en la ruta del camión.
4. El camión ejerce una fuerza sobre el carro pero el carro no ejerce una fuerza sobre el camión.
5. El camión ejerce la misma cantidad de fuerza sobre el carro que la que el carro ejerce sobre el camión.

Use el enunciado y figura siguientes para responder las próximas dos preguntas (5 y 6)

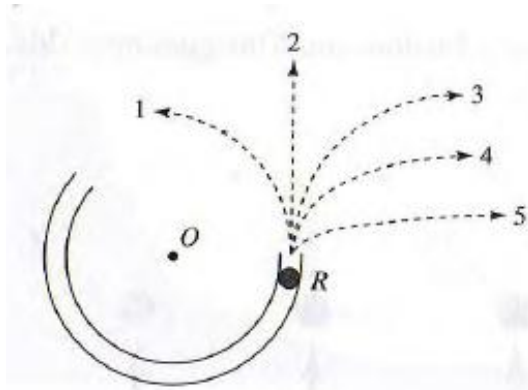
La figura muestra un canal liso en la forma de un segmento de círculo con su centro en O. el canal ha sido fijado a una mesa sin fricción. Usted está mirando por debajo de la mesa. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Una bola es disparada a alta velocidad dentro del canal en P y sale en R.



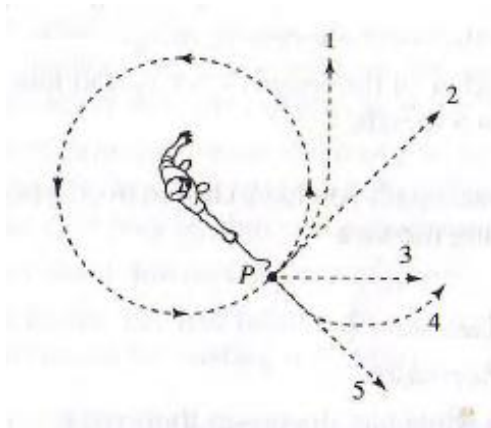
5. Considere las siguientes diferentes fuerzas:
 - A. una fuerza hacia abajo de la gravedad.
 - B. Una fuerza ejercida por el canal apuntando de Q a O.
 - C. Una fuerza en la dirección del movimiento.
 - D. Una fuerza apuntando de O a Q.

¿Cuáles de las anteriores fuerzas están actuando sobre la bola cuando esta está dentro del canal sin fricción en la posición Q?

1. A solamente
 2. A y B
 3. A y C
 4. A, B y C
 5. A, C y D
6. ¿Cuál de las trayectorias 1-5 mostradas abajo podría ser la más parecida a la que sigue la bola después de que esta sale del canal en R y se mueve a través de la superficie sin fricción?

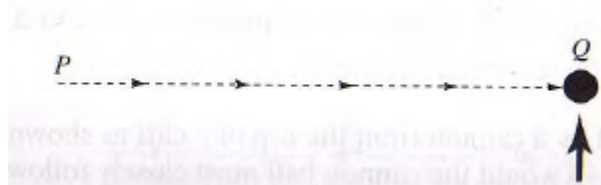


7. Una bola de acero es sujeta a una cuerda y es desplazada en una trayectoria circular en un plano horizontal como se ilustra en la siguiente figura. En el punto P, la cuerda de repente se rompe cerca de la bola.
 ¿Si esos eventos son observados directamente desde arriba, a cuál de las trayectorias 1-5 se aproximaría más el movimiento de la bola después de romperse la cuerda?

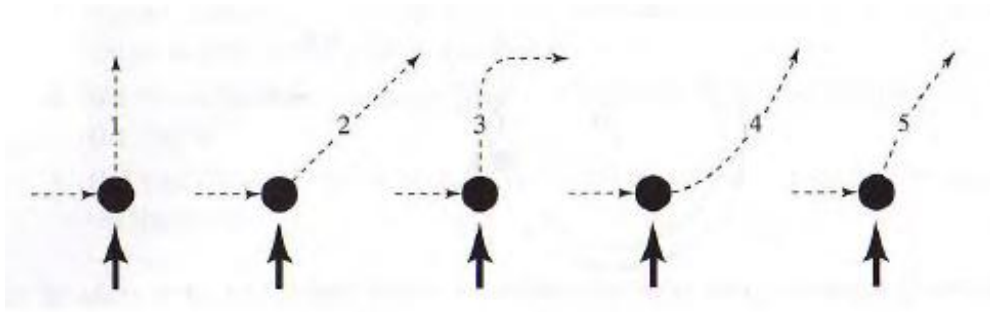


Use el enunciado y la figura siguientes para responder las próximas cuatro preguntas (8-11).

La figura representa un disco de jockey deslizándose con velocidad constante v_0 en una línea recta desde el punto P hasta el punto Q sobre una superficie horizontal sin fricción. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Usted está mirando por debajo del disco. Cuando el disco llega al punto Q, éste recibe una rápida patada horizontal en la dirección de la flecha vertical. Había estado el disco en reposo en P, entonces la patada podría haber hecho que el disco se moviera con velocidad v_k en la dirección de la patada.



8. ¿A cuál de las trayectorias 1-5 se aproximaría más el movimiento del disco después de recibir la patada?



9. La velocidad del disco justo después de recibir la patada es

1. igual a la velocidad v_o que éste tenía antes de recibir la patada.
2. igual a la velocidad v_k resultante de la patada e independiente de la velocidad v_o
3. igual a la suma aritmética de las velocidades v_o y v_k
4. menor que cualquiera de las velocidades v_o o v_k
5. mayor que cualquiera de las velocidades v_o o v_k , pero menor que la suma aritmética de esas dos velocidades

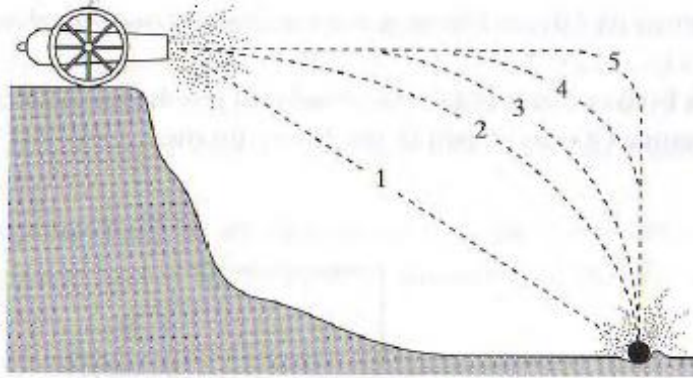
10. De acuerdo con la trayectoria sin fricción que usted ha escogido en la pregunta 8, la velocidad del disco después de recibir la patada

1. es constante
2. aumenta continuamente
3. disminuye continuamente
4. aumenta por un momento y después disminuye
5. es constante por un momento y después disminuye

11. De acuerdo con la trayectoria sin fricción que usted ha escogido en la pregunta 8, la(s) principal(es) fuerza(s) que actúa(n) sobre el disco es (son)

1. Una fuerza de gravedad hacia abajo
2. una fuerza de gravedad hacia abajo y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento
3. una fuerza de gravedad hacia abajo, una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie, y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento
4. una fuerza de gravedad hacia abajo y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie
5. Ninguna (ninguna fuerza actúa sobre el disco)

12. Una bola es disparada por un cañón desde la parte superior de un precipicio como se muestra abajo. ¿A cuál de las trayectorias 1-5 se aproximaría más el movimiento de la bola?

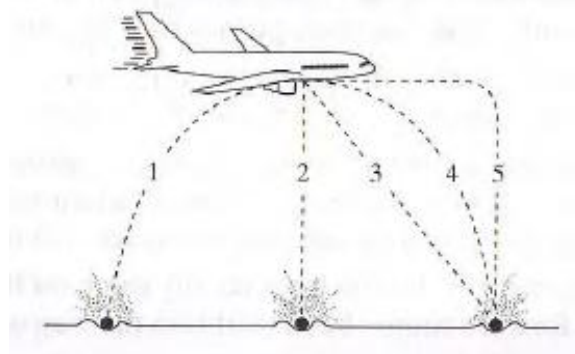


13. Un chico lanza una bola de acero hacia arriba. Considere el movimiento de la bola solamente después de que ésta es soltada de la mano del chico pero antes de que ésta toque el suelo, y asuma que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Para estas condiciones, la(s) fuerza(s) actuando sobre la bola es(son)

1. una fuerza de gravedad hacia abajo con una continua fuerza hacia arriba disminuyendo
2. Una fuerza continua hacia arriba disminuyendo desde el momento en que esta abandona la mano del chico hasta que llega al punto más alto; en el recorrido hacia abajo hay un continuo incremento de la fuerza de gravedad hacia abajo a medida que la bola se acerca a la tierra.
3. una fuerza de gravedad hacia abajo casi constante con una fuerza hacia arriba que disminuye constantemente hasta que la bola llega al punto más alto; en el recorrido hacia abajo hay solamente una fuerza de gravedad hacia abajo casi constante.
4. solamente una fuerza de gravedad hacia abajo casi constante
5. ninguna de las anteriores. La bola regresa al suelo porque debido a su naturaleza su tendencia es reposar sobre la superficie de la tierra.

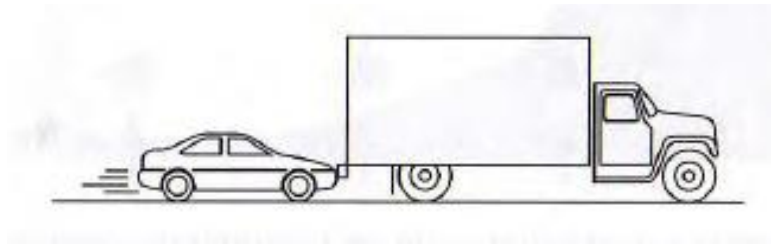
14. Una bola de boliche accidentalmente cae de la bodega de un avión en el momento en que este está volando en dirección horizontal.

El evento es observado por una persona que está parada en el suelo viendo el avión como se ve en la figura, ¿a cuál de las trayectorias 1-5 se aproximaría más el movimiento de la bola de boliche después de salir del avión?



Use el enunciado y figura siguientes para responder las próximas dos preguntas (15 y 16)

Un camión grande reposa sobre la calle sin los frenos activados y recibe un empujón por un pequeño carro compacto como se muestra en la figura



15. Mientras el carro empuja el camión, el camión está acelerando para llegar hasta una cierta velocidad

1. La cantidad de fuerza con la que el carro empuja sobre el camión es igual a la fuerza con la cual el camión empuja sobre el carro
2. La cantidad de fuerza con la que el carro empuja sobre el camión es menor que la fuerza con la que el camión empuja sobre el carro
3. La cantidad de fuerza con la que el carro empuja sobre el camión es mayor que la fuerza con la que el camión empuja sobre el carro
4. El motor del carro está activado y por ello el carro empuja contra el camión, pero el motor del camión está apagado y por ello el camión no puede empujar contra el carro. El camión es empujado hacia delante simplemente porque este está en el camino del carro.
5. Ni el carro ni el camión ejercen una fuerza sobre el otro. El camión es empujado hacia delante simplemente porque este está en el camino del carro.

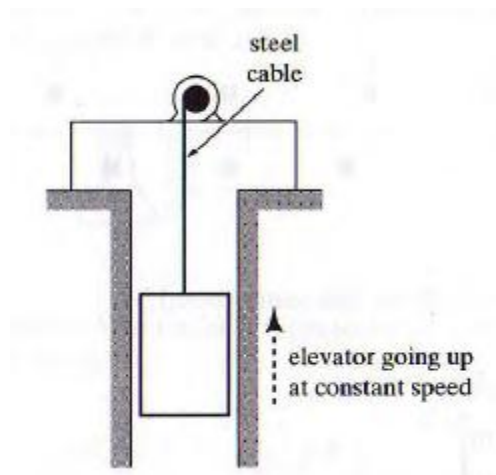
16. Después de que el carro llega a la velocidad constante en la que su conductor desea empujar el camión,

1. La cantidad de fuerza con la que el carro empuja sobre el camión es igual a la fuerza con la que el camión empuja sobre el carro.
2. La cantidad de fuerza con la que el carro empuja sobre el camión es menor que la fuerza con la que el camión empuja sobre el carro
3. La cantidad de fuerza con la que el carro empuja sobre el camión es mayor que la fuerza con la que el camión empuja sobre el carro
4. El motor del carro está encendido y por ello el carro empuja contra el camión, pero el motor del camión no está encendido y por ello el camión no puede empujar contra el carro. El camión es empujado hacia delante simplemente porque este está en el camino del carro.
5. Ni el carro ni el camión ejercen una fuerza sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque este está en el camino del carro

17. Un ascensor está siendo levantado a una velocidad constante por un cable de acero como se muestra en la siguiente figura. Todos los efectos de la fricción son despreciables. En esta situación, las fuerzas sobre el ascensor son tales que

1. La fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la fuerza hacia abajo de la gravedad.

2. La fuerza hacia arriba ejercida por el cable es igual a la fuerza hacia abajo de la gravedad
3. La fuerza hacia arriba ejercida por el cable es menor que la fuerza hacia abajo de la gravedad
4. La fuerza hacia arriba ejercida por el cable es mayor que la suma de la fuerza hacia abajo de la gravedad y una fuerza hacia abajo debida al aire
5. Ninguna de las anteriores. (El ascensor sube porque el cable está siendo enrollado, no porque una fuerza hacia arriba es ejercida sobre el ascensor por el cable)

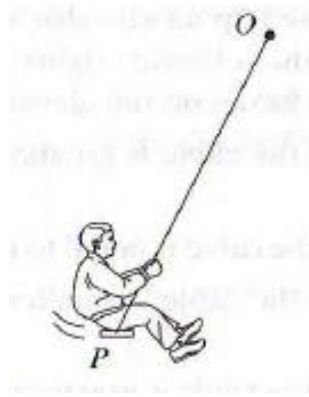


18. La siguiente figura muestra un niño balanceándose, comenzando en un punto más alto que P. Considere las siguientes distintas fuerzas:

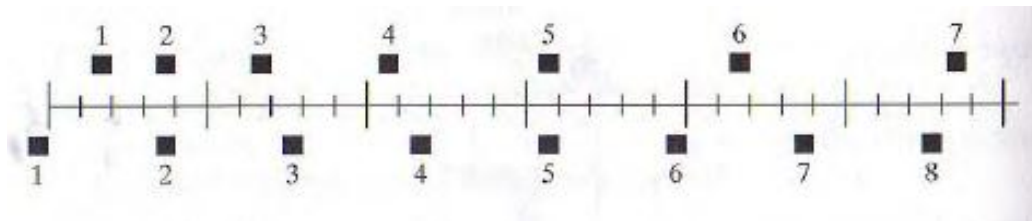
- A. Una fuerza hacia abajo de la gravedad
- B. Una fuerza ejercida por la cuerda apuntando de P a O
- C. Una fuerza en la dirección del movimiento del niño
- D. Una fuerza apuntando de O a P

¿Cuáles de las anteriores fuerzas están actuando sobre el niño cuando él está en la posición P?

1. A solamente
2. A y B
3. A y C
4. A, B y C
5. A, C y D



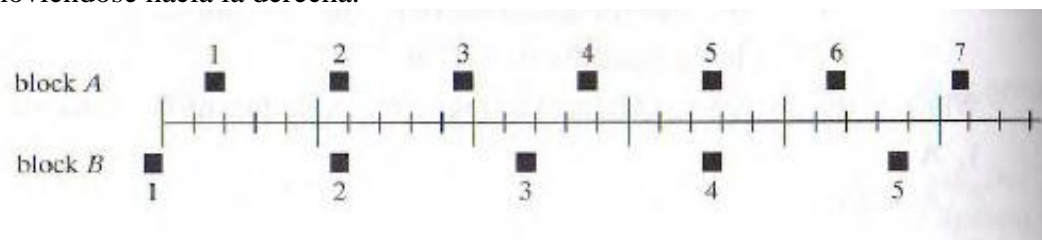
19. Las posiciones de dos bloques en intervalos sucesivos de tiempo de 0.20s son representadas por los cuadros numerados en la siguiente figura. Los bloques están moviéndose hacia la derecha.



¿Los bloques nunca tienen la misma velocidad?

1. No
2. Si, en el instante 2
3. Si, en el instante 5
4. Si, en los instantes 2 y 5
5. Si, en algún tiempo durante el intervalo 3 a 4

20. Las posiciones de dos bloques en intervalos sucesivos de tiempo de 0.20s son representadas por los cuadros numerados en la siguiente figura. Los bloques están moviéndose hacia la derecha.

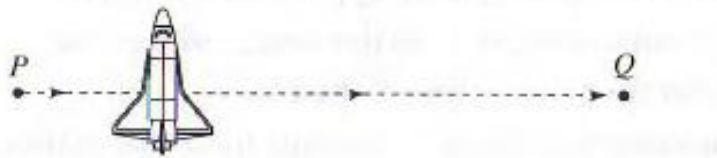


Las aceleraciones de los bloques están asociadas de la siguiente manera:

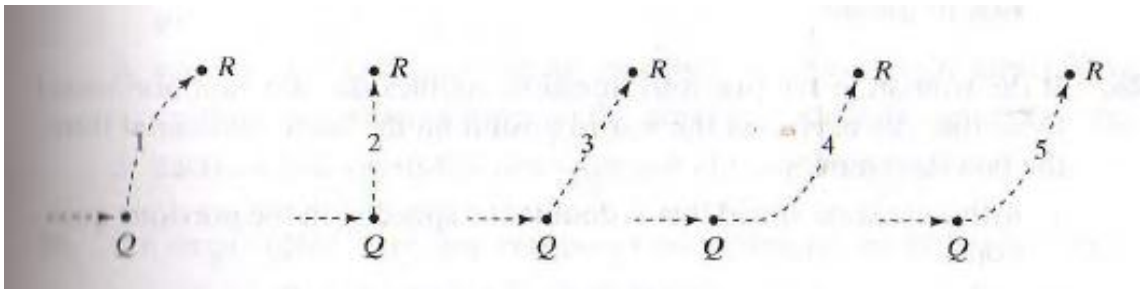
1. La aceleración de A es mayor que la aceleración de B
2. La aceleración de A es igual a la aceleración de B. Ambas aceleraciones son mayores que cero
3. La aceleración de B es mayor que la aceleración de A
4. La aceleración de A es igual a la aceleración de B. Ambas aceleraciones son cero.
5. No es aportada la suficiente información para responder la pregunta

Use el enunciado y figura siguientes para responder las próximas cuatro preguntas (21 a 24)

Una nave espacial se desplaza lateralmente del punto P al punto Q como se muestra abajo. La nave espacial no está sujeta a fuerzas externas. Iniciando en la posición Q, el motor de la nave espacial es encendido y produce un impulso constante (fuerza sobre la nave espacial) en ángulo recto a la línea PQ. El impulso constante es mantenido hasta que la nave llega al punto R en el espacio.



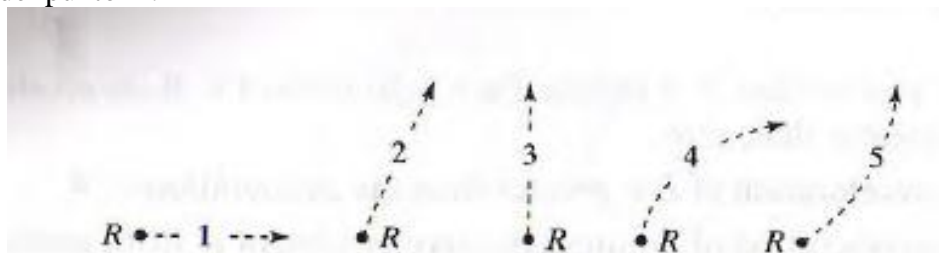
21. ¿Cuál de las trayectorias 1-5 mostradas abajo representa mejor el recorrido de la nave espacial entre los puntos Q y R?



22. Cuando la nave espacial se mueve desde el punto Q hasta el punto R, su velocidad es

1. constante
2. aumenta continuamente
3. disminuye continuamente
4. aumenta por un tiempo y después es constante
5. constante por un tiempo y después disminuye

23. En el punto R, el motor de la nave espacial es apagado y el impulso inmediatamente baja a cero. ¿Cuál de las trayectorias 1-5 seguirá la nave espacial más allá del punto R?



24. Más allá de la posición R, la velocidad de la nave espacial es

1. constante
2. aumenta continuamente
3. disminuye continuamente
4. aumenta por un tiempo y después es constante
5. constante por un tiempo y después disminuye

25. Una mujer ejerce una fuerza horizontal sobre una caja grande. Como resultado, la caja se mueve a través de un piso horizontal a una velocidad constante v_0 .

La fuerza horizontal constante aplicada por la mujer

1. tiene la misma magnitud que el peso de la caja
2. es mayor que el peso de la caja
3. tiene la misma magnitud que la fuerza total que resiste el movimiento de la caja
4. es mayor que la fuerza total que resiste el movimiento de la caja
5. es mayor que el peso de la caja o la fuerza total que resiste su movimiento.

26. Si la mujer de la pregunta anterior duplica la fuerza horizontal constante que ejerce sobre la caja para empujarla sobre el mismo piso horizontal, la caja se mueve entonces

1. con una velocidad constante que es el doble de la velocidad v_0 en la pregunta anterior
2. con una velocidad constante que es mayor que la velocidad v_0 en la pregunta anterior, pero no necesariamente dos veces más grande
3. por un tiempo con una velocidad que es constante y mayor que la velocidad v_0 en la pregunta anterior, y después con una velocidad que aumenta
4. por un tiempo con una velocidad aumentando, después con una velocidad constante
5. con una velocidad aumentando continuamente

27. Si la mujer en la pregunta 25 de repente deja de aplicar una fuerza horizontal sobre la caja, entonces la caja

1. inmediatamente se detiene
2. continúa moviéndose a una velocidad constante por un tiempo y después frena hasta detenerse
3. inmediatamente empieza a frenar hasta detenerse
4. continúa con una velocidad constante
5. aumenta su velocidad por un tiempo y después empieza a frenar hasta detenerse

28. En la siguiente figura, el estudiante A tiene una masa de 75 kg y la estudiante B tiene una masa de 57 kg. Ellos están sentados en sillas de oficina idénticas uno frente al otro.

El estudiante A coloca sus pies descalzos sobre las rodillas de la estudiante B, como se muestra. El estudiante A de repente empuja hacia afuera con sus pies, causando que ambas sillas se muevan



Durante el empujón y mientras los estudiantes aún están en contacto,

1. ningún estudiante ejerce una fuerza sobre el otro
2. el estudiante A ejerce una fuerza sobre el estudiante B, pero B no ejerce una fuerza sobre A
3. cada estudiante ejerce una fuerza sobre el otro, pero B ejerce la fuerza más grande
4. cada estudiante ejerce una fuerza sobre el otro, pero A ejerce la fuerza más grande
5. cada estudiante ejerce la misma cantidad de fuerza sobre el otro

29. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el piso. Considere las siguientes fuerzas:

- A. una fuerza hacia abajo de la gravedad
- B. una fuerza hacia arriba ejercida por el piso
- C. una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire

¿Cuáles de las fuerzas están actuando sobre la silla de oficina?

1. A solamente
2. A y B
3. B y C
4. A, B y C
5. Ninguna de las fuerzas. (Desde que la silla esté en reposo, no hay fuerzas actuando sobre esta)

30. A pesar de un muy fuerte viento, en una cancha de tenis una jugadora consigue golpear una pelota de tenis con su raqueta de manera que la pelota pasa por encima de la red y golpea en la cancha de su oponente.

Considere las siguientes fuerzas:

- A. una fuerza de gravedad hacia abajo
- B. una fuerza por el “golpe”

C. una fuerza ejercida por el aire

¿Cuáles de las anteriores fuerzas están actuando sobre la pelota de tenis después de que esta ha tenido contacto con la raqueta y antes de tocar el suelo?

1. A solamente
2. A y B
3. A y C
4. B y C
5. A, B y C

Anexo E

Cuestionario sobre imagen de ciencia y enseñanza de las ciencias²⁶

NOMBRE: _____ **CARNET:** _____

Para cada una de las afirmaciones que se indican a continuación, exprese su aceptación o rechazo, de acuerdo con la siguiente escala. No existen respuestas correctas, solo opiniones personales.

+ +: TOTALMENTE DE ACUERDO

+: DE ACUERDO

0: INDECISO EN EL JUICIO

-: EN DESACUERDO

- -: TOTALMENTE EN DESACUERDO

Afirmaciones	+	+	0	-	-
	+	+	0	-	-
1. Los alumnos aprenden correctamente los conceptos científicos cuando realizan actividades prácticas.					
2. Las teorías científicas obtenidas al final de un proceso metodológico riguroso son un reflejo cierto de la realidad.					
3. La realización de problemas en clase es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias.					
4. La manera correcta de aprender en ciencias en primaria es aplicando el método científico en el aula.					
5. El método de enseñanza es la manera de dar los contenidos científicos.					
6. La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias.					
7. En la observación de la realidad es imposible evitar un cierto grado de deformación que introduce el observador.					
8. El profesor debe sustituir el temario por una lista de centros de interés que abarque los mismos contenidos.					
9. El observador no debe actuar bajo la influencia de teorías previas sobre el programa investigado.					
10. Toda investigación científica comienza por la observación sistemática del fenómeno que se estudia.					
11. El conocimiento humano es fruto de la interacción entre el pensamiento y la realidad.					
12. El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico.					
13. El pensamiento de los seres humanos está condicionado por aspectos subjetivos y emocionales.					
14. Cada profesor construye su propia metodología para la enseñanza de las ciencias.					
15. Los métodos de enseñanza de las ciencias basados en la investigación					

²⁶ Adaptado de: Porlán et al. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos, *Enseñanza de las Ciencias*, 15, 2, 155-171.

del alumno no provocan el aprendizaje de contenidos concretos.					
16. El investigador siempre está condicionado, en su actividad, por las hipótesis que intuye acerca del problema investigado.					
17. El conocimiento científico se genera gracias a la capacidad que tenemos los seres humanos para plantearnos problemas e imaginar posibles soluciones a los mismos.					
18. La eficacia y la objetividad del trabajo científico estriba en seguir fielmente las fases ordenadas del método científico: observación, hipótesis, experimentación y elaboración de teorías.					
19. La metodología científica garantiza totalmente la objetividad en el estudio de la realidad.					
20. Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos.					
21. A través del experimento, el investigador comprueba si su hipótesis de trabajo es verdadera o falsa.					
22. El aprendizaje de las ciencias basado en el trabajo con el libro de texto no motiva a los alumnos.					
23. La ciencia ha evolucionado históricamente mediante la acumulación sucesiva de las teorías verdaderas.					
24. En la clase de ciencias es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos.					
25. Las hipótesis dirigen el proceso de investigación científica.					
26. La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilita la comprensión y el aprendizaje de los alumnos.					
27. La experimentación se utiliza en ciertos tipos de investigación científica, mientras que en otros no.					
28. La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas favorece que el alumno memorice mecánicamente el contenido.					

Anexo F

Cuestionario sobre ciencia, enseñanza de las ciencias, modelos y modelación científica en el contexto de la Física

NOMBRE: _____ **CARNET:** _____

Este cuestionario tiene como propósito conocer las concepciones sobre ciencia, enseñanza de las ciencias, modelos y modelación científica. Él está dividido en tres secciones: 1. concepciones de ciencia, 2. concepciones sobre modelos y modelación científica en el contexto de la Física y 3. concepciones acerca de la enseñanza de las ciencias.

Cada afirmación expresa una concepción particular bien sea sobre ciencia, enseñanza de las ciencias, modelos y modelación científica. Usted debe expresar, en una escala de cinco puntos, su acuerdo o desacuerdo con cada afirmación. Los cinco puntos de la escala son: **TOTALMENTE DE ACUERDO, DE ACUERDO, INDECISO O SIN OPINIÓN, EN DESACUERDO y TOTALMENTE EN DESACUERDO**. Elija la alternativa que mejor exprese su posición frente a cada una de las afirmaciones. Evite marcar muchas veces la opción **INDECISO**.

1. CONCEPCIONES DE CIENCIA

Las teorías científicas representan la naturaleza tal y como ella es, describiendo y explicando los fenómenos naturales de manera completa.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

1.2 Para que el conocimiento científico pueda emerger de observaciones y/o experimentaciones sobre el mundo natural, el científico debe abstenerse de ideas previas.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

1.3 Una característica importante de las teorías científicas es la posibilidad de que puedan ser consideradas como incorrectas.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

1.4 El punto de partida para la construcción de conocimiento científico siempre debe ser la observación y la experimentación.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.5 Una característica importante del conocimiento científico es su falibilidad.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.6 La efectividad y la objetividad del trabajo científico se deben al fiel cumplimiento de las etapas establecidas por el método científico: observación, hipótesis, experimentos y elaboración de teorías.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.7 Todas las leyes científicas son universales, pues son aplicables a todas las situaciones y condiciones en la naturaleza.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.8 La ciencia no es segura, pero es progresiva por naturaleza. Pues permite la revisión de sus presupuestos y está abierta a nuevos interrogantes.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.9 El conocimiento científico progresa fundamentalmente por la capacidad del ser humano de formular problemas y proponer soluciones.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.10 Las leyes científicas son generalizaciones de muchas observaciones y/o experimentos.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

1.11 Los resultados de observaciones y de experimentos son incuestionables, pues revelan la manera como la naturaleza es o funciona.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

1.12 Las teorías científicas, por más que estén bien apoyadas en la observación y en la experimentación, podrán mostrarse incorrectas en ciertos dominios.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

1.13 Una teoría debe estar en completo y total acuerdo con la observación y/o experimentación.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

2. CONCEPCIONES SOBRE MODELOS Y MODELACIÓN CIENTÍFICA EN EL CONTEXTO DE LA FÍSICA

2.1 Hay modelos científicos que simulan el mecanismo de funcionamiento de sistemas físicos inaccesibles a los sentidos humanos.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

2.2 Teorías que predicen correctamente los resultados de mediciones en un cierto dominio experimental, dispensan explicaciones o modelos de cómo la realidad funciona en ese dominio.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

2.3 Los científicos describen la realidad en sus mínimos detalles, incluyendo el mayor número de informaciones posibles, en el proceso de modelación científica de sistemas físicos.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.4 Los modelos científicos son construcciones humanas: siempre se originan en la mente de quien los construye.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.5 Los modelos científicos aprehenden toda la complejidad de los sistemas físicos de interés.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.6 Los modelos científicos deben ser modificados siempre que no estén de acuerdo con los datos empíricos o con el cuerpo de conocimiento ya establecido.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.7 Es posible predecir nuevos hechos con modelos científicos

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.8 La principal función de un modelo científico es la de servir como herramienta de enseñanza.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.9 Ningún modelo científico representa exactamente aquello a lo que se refiere.

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Indeciso

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

2.10 La semejanza entre el sistema físico y el modelo científico capaz de representarlo debe ser completa y total.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

2.11 Los científicos frecuentemente introducen elementos hipotéticos, ignoran propiedades y hacen uso de entidades no observables en la modelación científica de sistemas físicos.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3. CONCEPCIONES ACERCA DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

3.1 Los alumnos aprenden correctamente los conceptos científicos solamente cuando realizan actividades prácticas.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.2 La realización de problemas en clase es la mejor alternativa al método magistral de enseñanza de las ciencias.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.3 La manera correcta de aprender ciencias en primaria es aplicando el método científico en el aula.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.4 La biblioteca y el archivo de clase son recursos imprescindibles para la enseñanza de las ciencias.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.5 El contacto con la realidad y el trabajo en el laboratorio son imprescindibles para el aprendizaje científico.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.6 Cada profesor construye su propia metodología para la enseñanza de las ciencias.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.7 Para enseñar ciencias es necesario explicar detenidamente los temas para facilitar el aprendizaje de los alumnos.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.8 En la clase de ciencias es conveniente que los alumnos trabajen formando equipos.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.9 La mayoría de los libros de texto sobre ciencias experimentales no facilitan la comprensión y el aprendizaje de los alumnos.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

3.10 La enseñanza de las ciencias basada en la explicación verbal de los temas favorece que el alumno memorice mecánicamente el contenido.

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Indeciso
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

Anexo G

Guía para la entrevista semiestructurada del estudio II

1. ¿Cómo crees que se produce el conocimiento científico?
2. ¿Cómo crees que evoluciona la ciencia?
3. ¿Cuál crees que sería el punto de partida para elaborar leyes y teorías científicas?
4. ¿Crees que existen unos pasos definidos para hacer ciencia?
5. ¿Consideras que hay posibilidad para errores y confusiones cuando se construye conocimiento científico?
6. ¿Qué papel juega la observación y la experimentación en la construcción de conocimiento científico?
7. ¿Qué papel juega la creatividad, la imaginación y la intuición del investigador en la elaboración de leyes y teorías?
8. ¿Consideras que el conocimiento científico es temporal y provisional o verdadero y definitivo?

Anexo H

Guía para la entrevista semiestructurada del estudio III

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?

Anexo I

**Cuestionario de valoración de las actividades de modelación computacional
haciendo uso del diagrama AVM
(Estudio III)**

NOMBRE: _____ CARNET: _____

Responde las siguientes preguntas intentando hacer una valoración lo más honesta posible de las diferentes actividades de modelación computacional desarrolladas a lo largo del curso.

1. ¿Consideras pertinente el uso de actividades de modelación computacional como estrategia de enseñanza de conceptos físicos? ¿por qué?

2. ¿Qué opinión te merece el diagrama AVM como herramienta para orientar las actividades de modelación computacional?

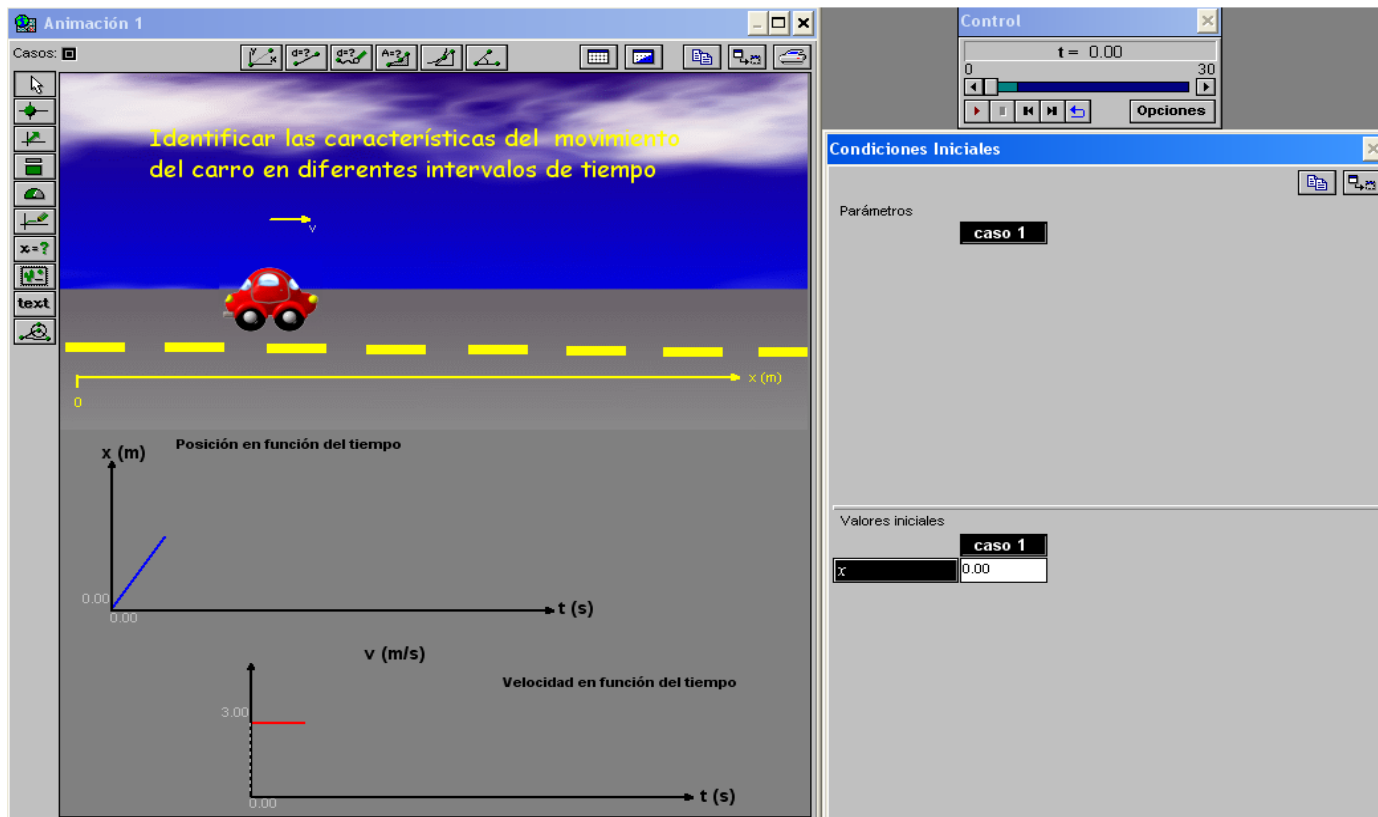
3. ¿Contribuyen las actividades de modelación computacional a enriquecer tu visión sobre la modelación científica? ¿por qué?

4. ¿Qué papel crees que juegan los errores en el proceso de construcción de modelos computacionales?

5. ¿Consideras importante la percepción del modelador en el proceso de construcción de modelos computacionales? ¿por qué?

Anexo J

Pantalla principal de los modelos computacionales relativos a la cinemática y diagramas AVM aportados a los estudiantes para su exploración



Modelo computacional relativo al Movimiento Rectilíneo Uniforme: el modelo diseñado para ilustrar el Movimiento Rectilíneo Uniforme pretende estudiar la cinemática de un cuerpo que se desplaza en una trayectoria rectilínea; para el caso concreto se realiza el análisis del movimiento de un carro que se desplaza por una calle recta y se aportan las gráficas de posición contra tiempo y velocidad contra tiempo. Asimismo, la velocidad del carro es representada por un vector en la parte superior.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Es posible construir representaciones idealizadas de la realidad que nos permitan comprender la física inmersa en los fenómenos de la naturaleza

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

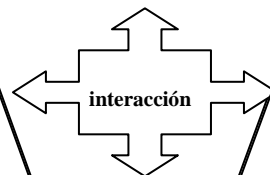
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática de un cuerpo en una trayectoria rectilínea

Preguntas foco

1. ¿Qué características tiene el movimiento del carro?
2. ¿Qué relación existe entre la velocidad y el desplazamiento de éste?
3. Si en un instante de tiempo, el gráfico de velocidad en x contra tiempo presenta un valor negativo, ¿qué puede afirmarse sobre el movimiento del carro?



DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

Validación del modelo:

Categorización del modelo:

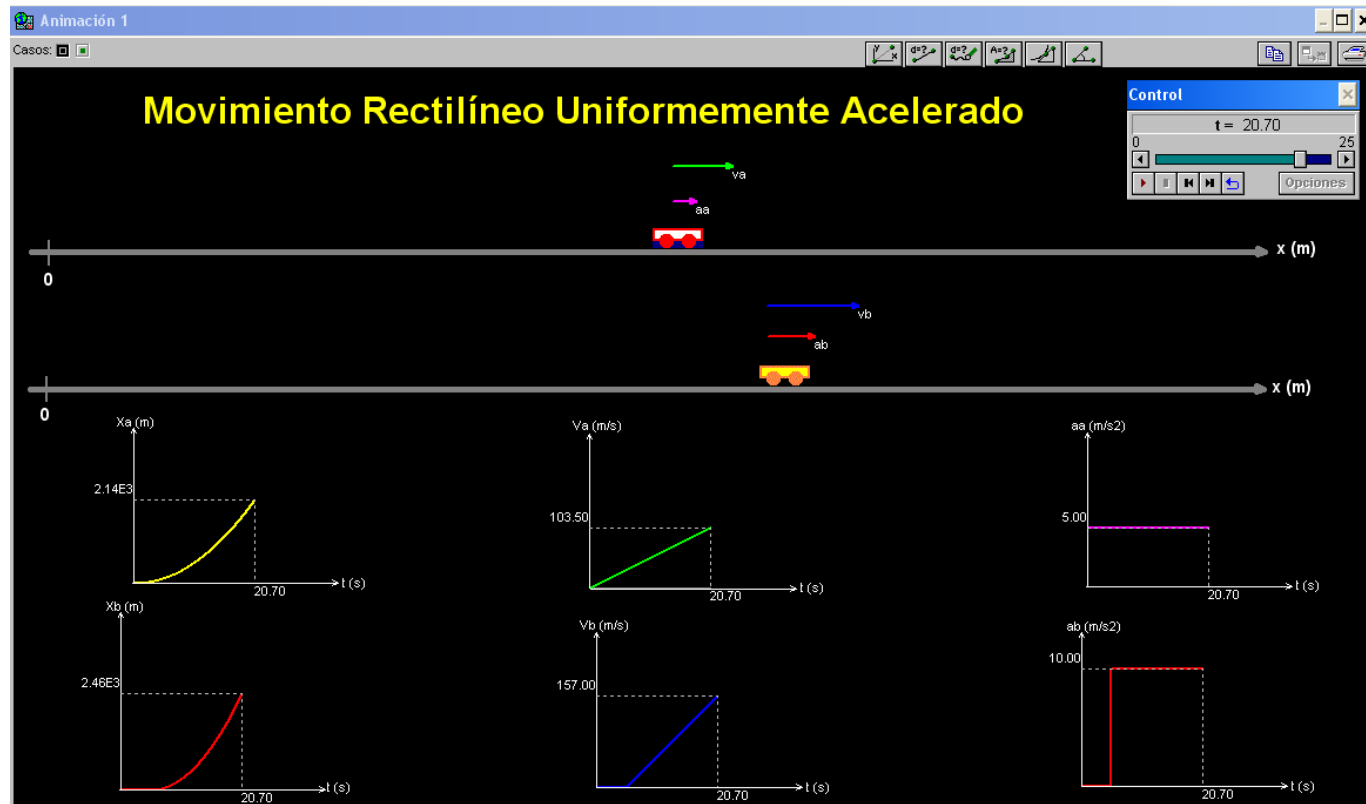
Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:

Situación/problema:

Análisis de la cinemática de un carro que se desplaza por una calle recta



Modelo computacional relativo al Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado: en el modelo diseñado para ilustrar el Movimiento Rectilíneo Uniforme Acelerado, se busca analizar el movimiento de dos carros que se desplazan en línea recta con diferentes aceleraciones. Se brinda la opción de modificar valores como posición inicial y velocidad inicial para cada carro. En cuanto a las representaciones, para cada uno de los carros son aportadas las gráficas de posición contra tiempo, velocidad contra tiempo y aceleración contra tiempo, además de los vectores de velocidad y aceleración.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Podemos construir modelos computacionales como una representación analógica del mundo real que nos posibilite la descripción, predicción y explicación de fenómenos físicos que en éste acontecen.

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

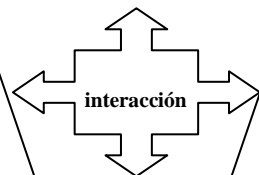
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática de un cuerpo en una trayectoria rectilínea

Preguntas foco

1. ¿Qué sucede con la velocidad de los carros a medida que transcurre el tiempo?
2. ¿Cómo se comporta la aceleración de los carros a medida que pasa el tiempo?
3. ¿Qué relación existe entre la velocidad y la aceleración de los carros a medida que pasa el tiempo?



DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

Validación del modelo:

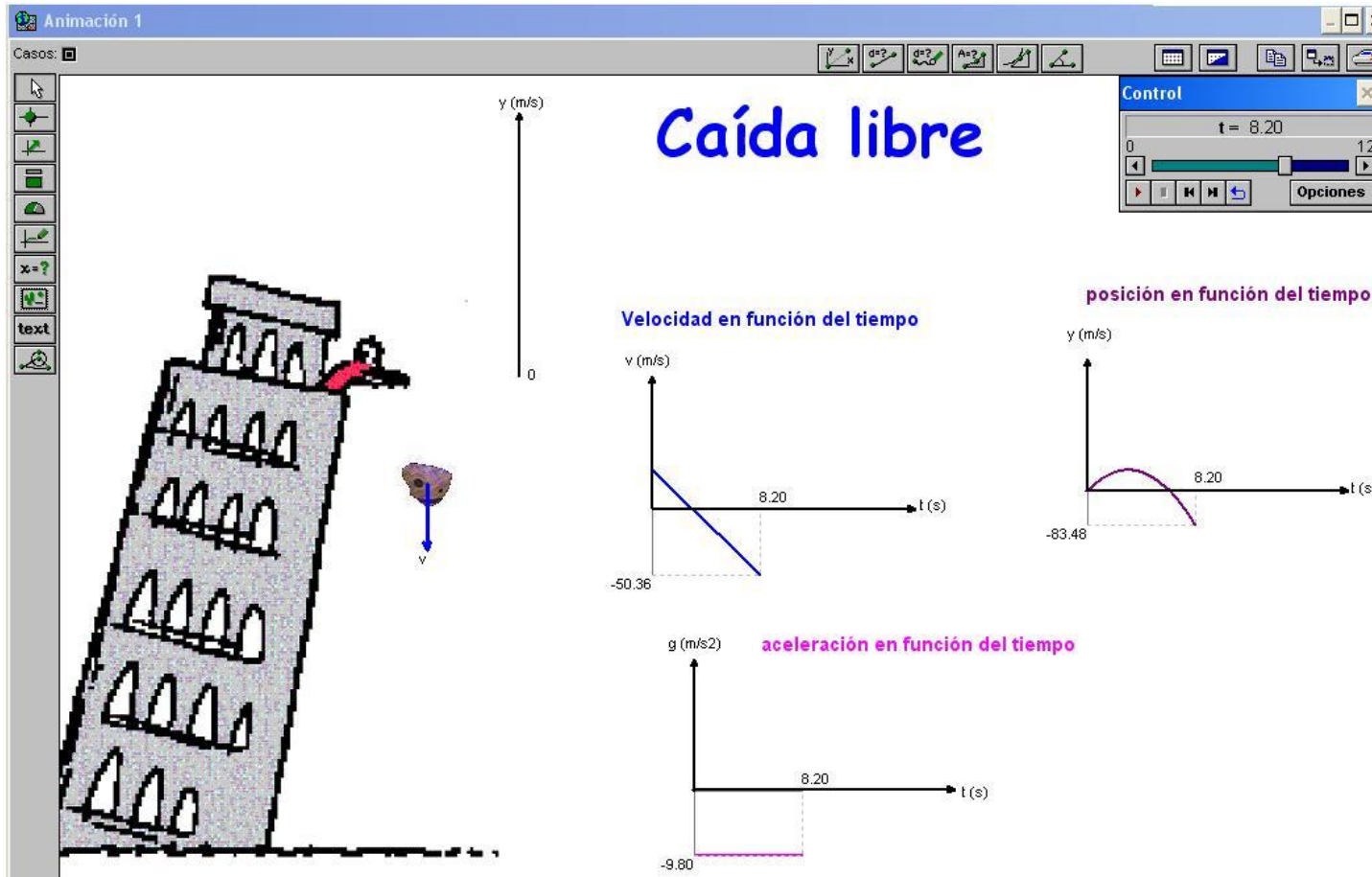
Categorización del modelo:

Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:

Situación/problema:
Análisis de la cinemática de dos carros que se desplazan en línea recta con diferentes aceleraciones



Modelo computacional relativo a la Caída Libre: el modelo de caída libre ilustra un cuerpo que se mueve en una trayectoria rectilínea. En este caso se realiza el análisis del movimiento de una piedra que se lanza desde un edificio con diferentes valores de la velocidad inicial. Para este modelo son aportadas las gráficas de posición contra tiempo, velocidad contra tiempo y aceleración contra tiempo.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Es posible representar de manera idealizada y simplificada, fenómenos del mundo real que permiten predecir y explicar eventos relacionados con los fenómenos físicos.

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

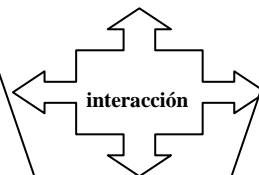
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática de un cuerpo en una trayectoria rectilínea

Preguntas foco

1. ¿Cómo se comporta la velocidad de la piedra durante su movimiento?
2. ¿Qué sucede con la aceleración de la piedra a lo largo del tiempo?
3. ¿Qué relación existe entre la velocidad y la aceleración de la piedra?



Situación/problema:
Análisis de la cinemática de una piedra que se mueve verticalmente en línea recta

DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

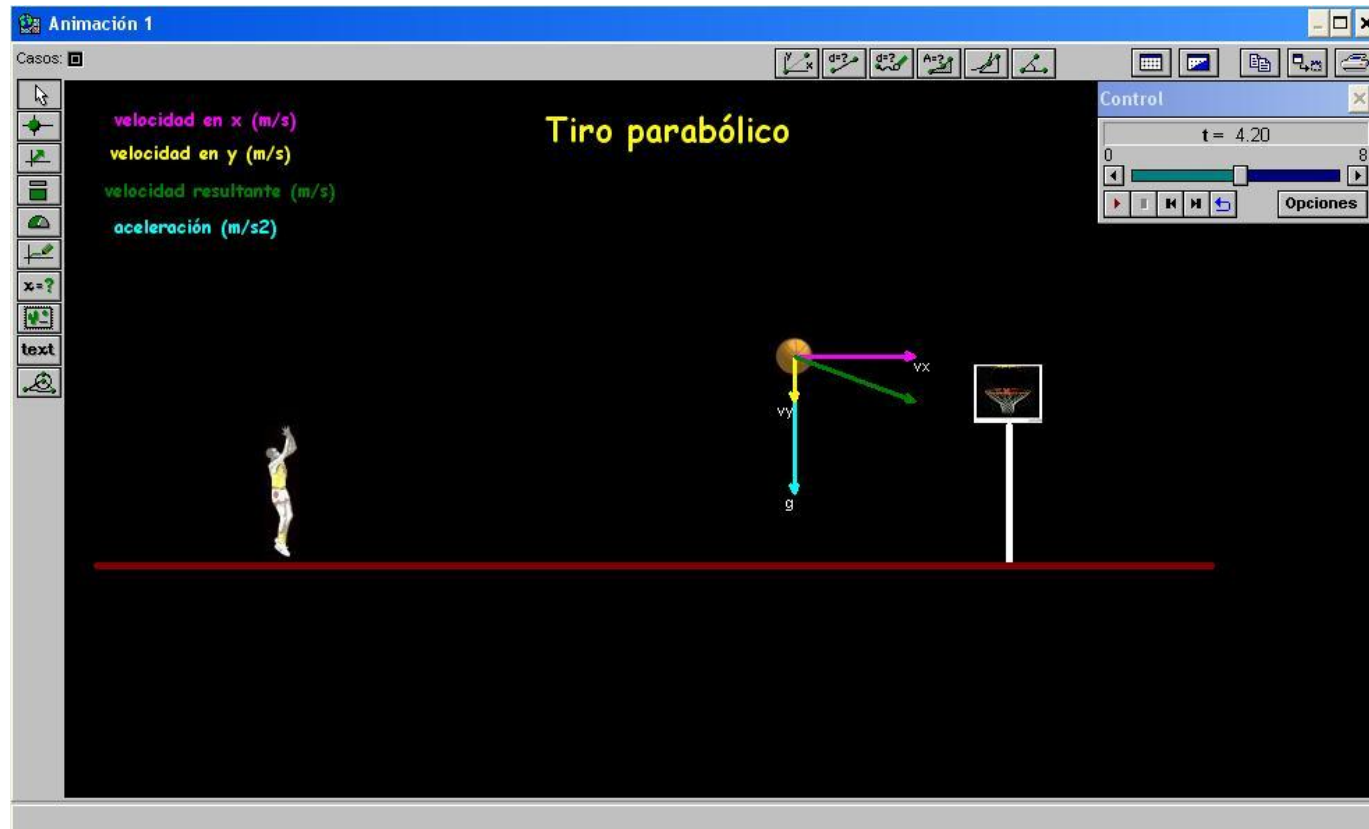
Validación del modelo:

Categorización del modelo:

Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:



Modelo computacional relativo al tiro parabólico: para el modelo de tiro parabólico 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.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Es posible construir representaciones idealizadas de la realidad que nos permitan comprender la física inmersa en los fenómenos de la naturaleza

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

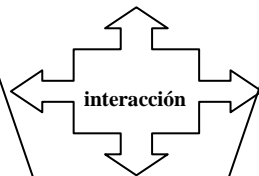
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática de un cuerpo que describe un movimiento bidimensional

Preguntas foco

1. ¿cómo se comportan la velocidad y la aceleración en el punto más alto de la trayectoria?
2. ¿Qué sucede con la velocidad del balón a medida que transcurre el tiempo?
3. ¿Cómo se comporta la aceleración del balón a lo largo de su trayectoria?



Situación/problema:
Análisis de la cinemática de un balón que describe una trayectoria parabólica

DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

Validación del modelo:

Categorización del modelo:

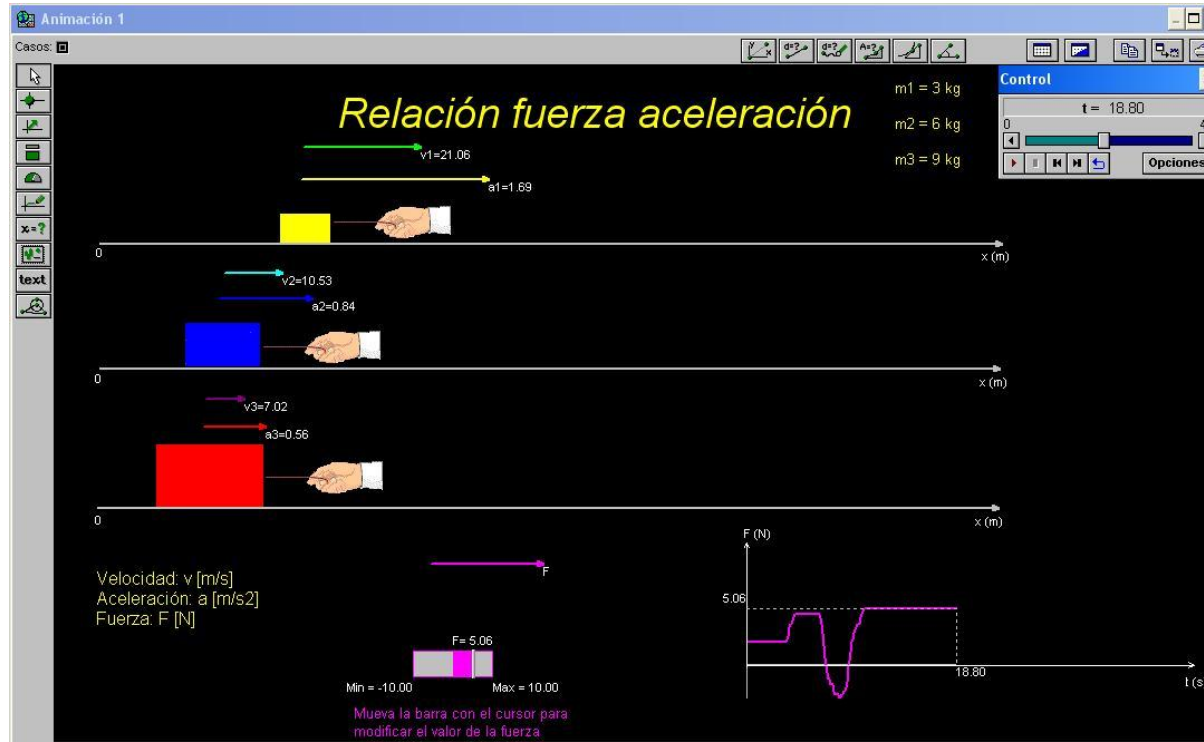
Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:

Anexo K

Pantalla principal de los modelos computacionales relativos a la dinámica Newtoniana y diagramas AVM aportados a los estudiantes para su exploración



Modelo computacional relativo a la Relación fuerza-aceleración: en este modelo se pretende estudiar la relación fuerza aceleración, para lo cual se realiza un análisis de la cinemática y dinámica de tres bloques de diferentes masas halados con una misma fuerza F . Este modelo permite modificar el valor de la fuerza externa aplicada. Para cada objeto se tienen dos vectores que representan la velocidad y la aceleración durante el movimiento. Asimismo se tiene un vector para la fuerza aplicada. El modelo cuenta con representaciones gráficas de la fuerza en función del tiempo, la velocidad en función del tiempo y la aceleración en función del tiempo para cada uno de los objetos.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Es posible construir representaciones idealizadas de la realidad que nos permitan comprender la física inmersa en los

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

Resultados Conocidos:

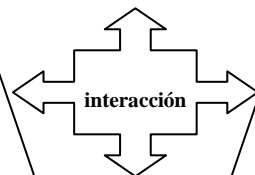
Predicciones:

Fenómeno de interés

Cinemática y dinámica de cuerpos rígidos

Preguntas foco

1. ¿Cuál es la relación existente entre fuerza y aceleración?
2. ¿Cuál es la relación entre masa y aceleración?
3. ¿Cuál es la relación entre masa y fuerza?
4. ¿Cuál es la relación entre fuerza y velocidad?



DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

Validación del modelo:

Categorización del modelo:

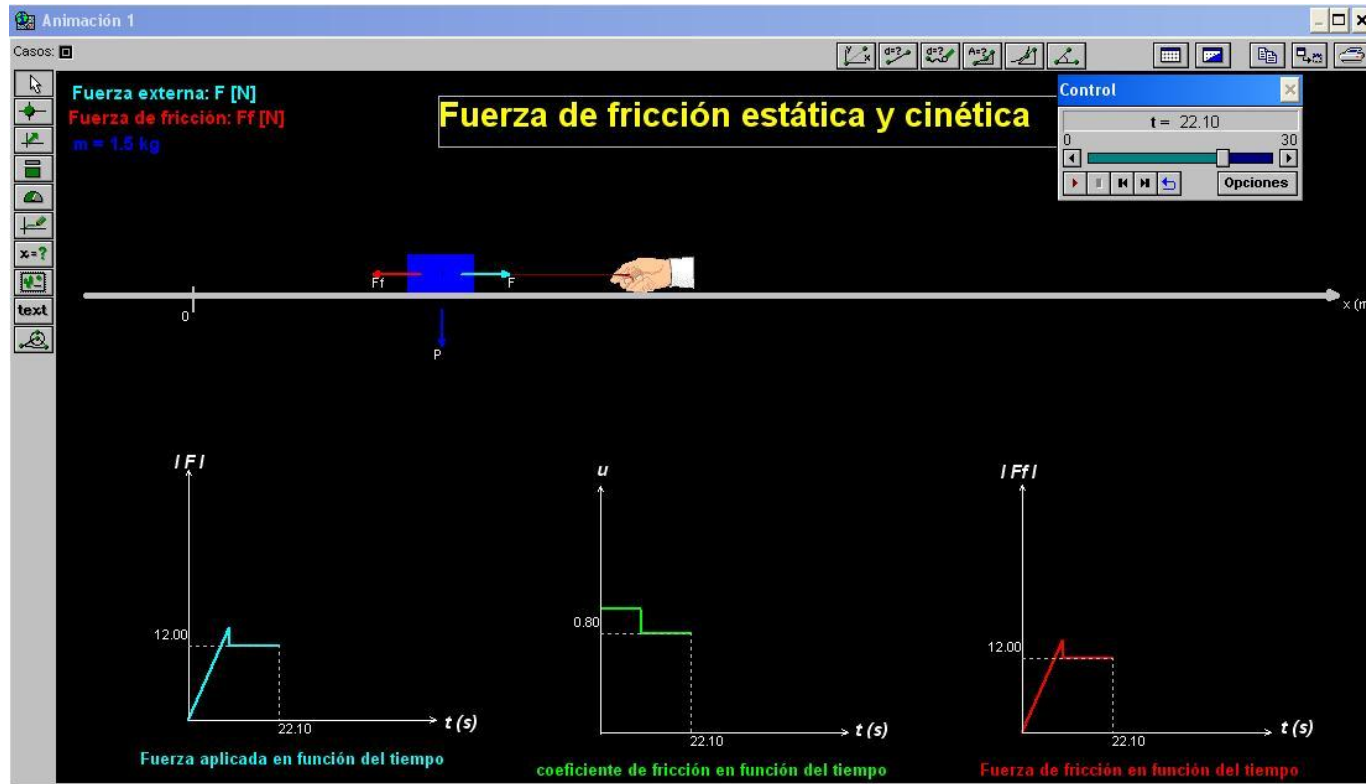
Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:

Situación/problema:

Análisis de la cinemática y dinámica de tres bloques de diferentes masas halados con una misma fuerza F



Modelo computacional relativo a la fricción entre sólidos: este modelo pretende estudiar la cinemática y dinámica del movimiento de objetos sólidos en presencia de fricción; para este efecto, se propone el estudio del movimiento de un bloque que se desliza sobre una superficie con fricción. En la interacción con el modelo pueden ser modificados los valores de los coeficientes de fricción estático y cinético. Para una mejor comprensión del modelo son aportadas las gráficas de la fuerza aplicada en función del tiempo, la fuerza de fricción en función del tiempo y el coeficiente de fricción en función del tiempo.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Es posible construir representaciones idealizadas y simplificadas de la realidad que nos permitan aproximarnos a la comprensión de diversos fenómenos físicos.

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

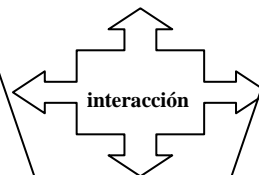
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática y dinámica del movimiento de objetos sólidos en presencia de fricción

Preguntas foco

1. ¿Qué características tiene la fuerza de fricción?
2. ¿Cómo puede describirse el movimiento de traslación de un objeto en presencia de fricción?
3. ¿Cuál es la diferencia existente entre la fuerza de fricción estática y la cinética?



Situación/problema:
Estudio cinemática y dinámico de un bloque que se desliza sobre una superficie con fricción

DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

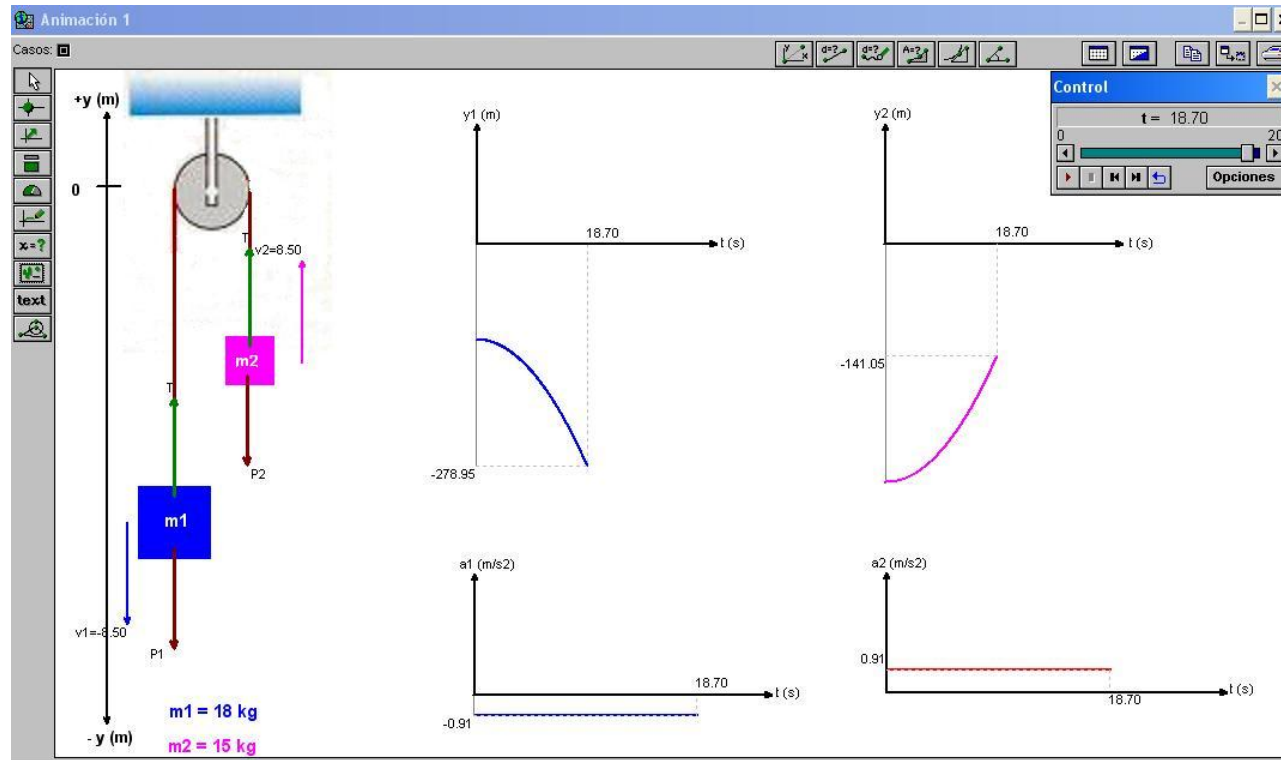
Validación del modelo:

Categorización del modelo:

Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:



Modelo computacional relativo a la máquina de Atwood: en este modelo se pretende ilustrar una de las aplicaciones de la mecánica Newtoniana; para ello se propone realizar un análisis de las leyes de la mecánica newtoniana en una máquina de Atwood, consistente de dos objetos de diferentes masas que cuelgan de una polea. Entre las representaciones utilizadas por este modelo se tienen: vectores para el peso y la velocidad de cada objeto, un vector que ilustra la tensión en la cuerda; además, se muestran las gráficas de la posición en función del tiempo y la aceleración en función del tiempo para cada uno de los objetos.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Podemos diseñar modelos computacionales como representaciones idealizadas y simplificadas de la realidad que nos permitan predecir, explicar e interpretar diversos fenómenos físicos.

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

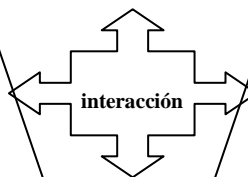
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática y dinámica de la máquina de Atwood

Preguntas foco

1. ¿Qué características tienen las aceleraciones de los objetos sujetos a la polea?
2. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre cada uno de los objetos y cómo se comportan estas fuerzas durante el movimiento?
3. ¿Qué sucede con la velocidad de cada uno de los objetos a medida que transcurre el tiempo?
4. ¿Cómo puede el lograrse el equilibrio estático en este sistema?



Situación/problema:
Análisis de las leyes de la mecánica newtoniana de dos objetos de diferentes masas que cuelgan de una polea

DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

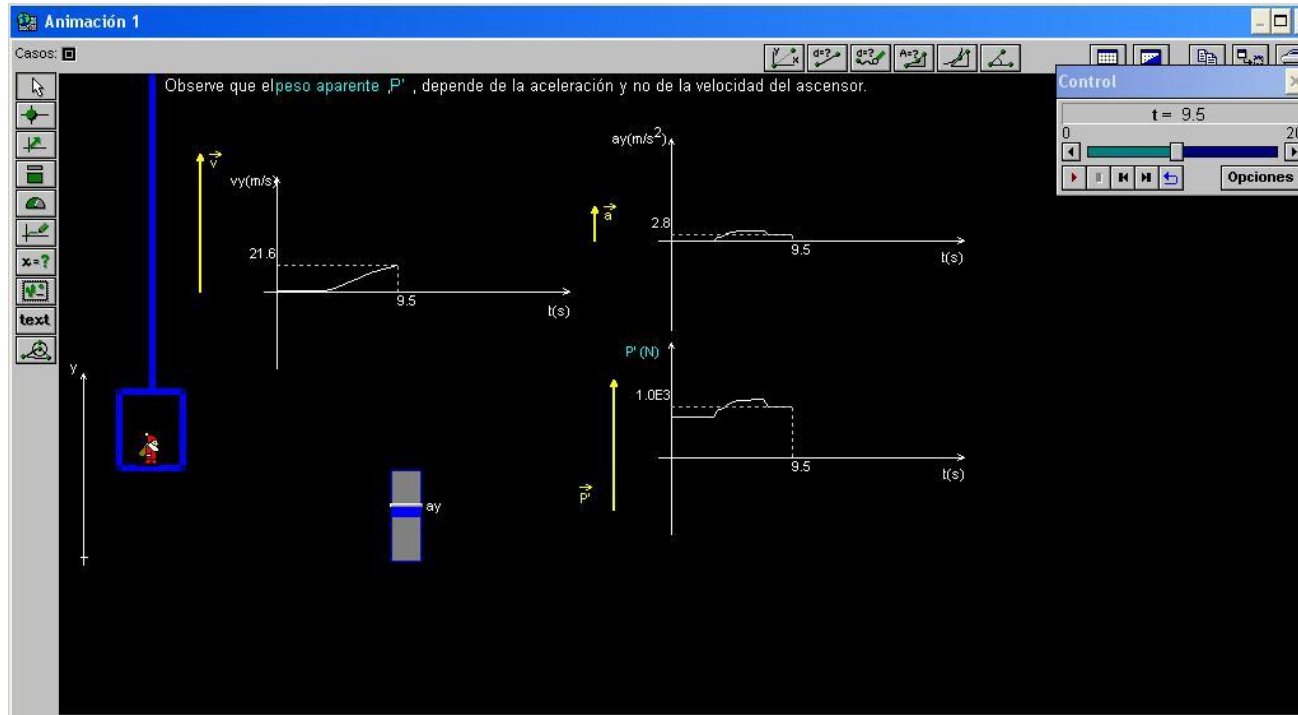
Validación del modelo:

Categorización del modelo:

Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:



Modelo computacional relativo a la física en el ascensor: en este modelo se ilustra otra aplicación de la mecánica Newtoniana; en este caso se propone realizar un estudio de la cinemática y dinámica de un cuerpo que se encuentra al interior de un sistema acelerado, a partir del análisis del peso aparente de un sujeto al interior de un ascensor en movimiento. Este modelo permite modificar el valor de la aceleración en y ; y para una mejor comprensión del mismo son aportadas las gráficas de la velocidad en y en función del tiempo, la aceleración en y en función del tiempo y el peso aparente en función del tiempo.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Pueden construirse representaciones idealizadas y simplificadas de la realidad que nos proporcionen aproximarnos a la comprensión de diversos fenómenos físicos.

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

Resultados Conocidos:

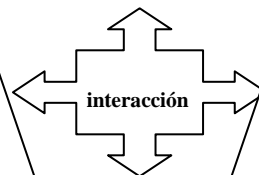
Predicciones:

Fenómeno de interés
Cinemática y dinámica de un cuerpo en un sistema acelerado

Preguntas foco

1. ¿Cuál es la relación existente entre la aceleración vertical del elevador y el peso aparente (P') del sujeto que se encuentra al interior de este?

2. ¿Cuál es la relación existente entre la velocidad vertical y el peso aparente (P')?



Situación/problema:
Análisis del peso aparente de un sujeto al interior de un ascensor en movimiento

DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

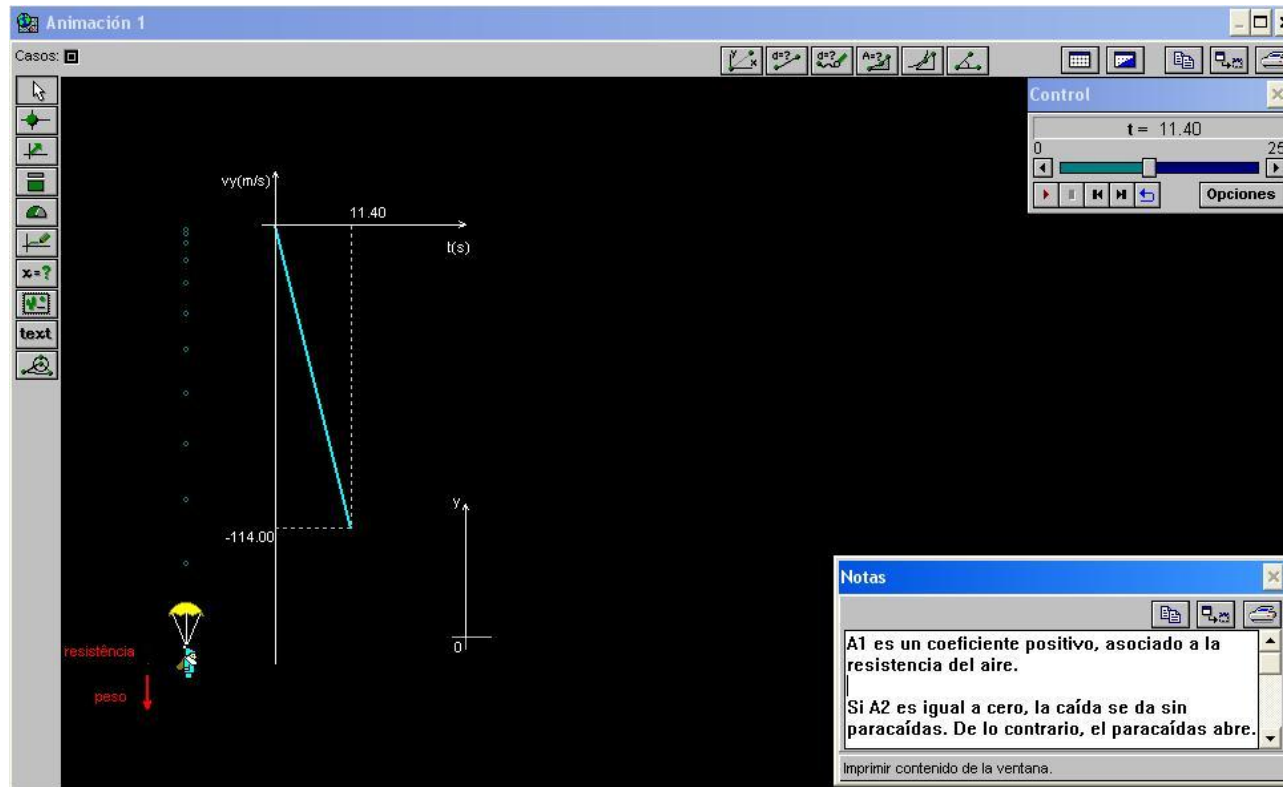
Validación del modelo:

Categorización del modelo:

Representaciones:

Elementos Interactivos:

Datos colectados:



Modelo computacional relativo al fenómeno del paracaídas: como otra aplicación de la mecánica Newtoniana, se diseña un modelo en el que se representa el movimiento de un cuerpo en un medio viscoso; para este efecto se ilustra la caída vertical de un sujeto en paracaídas. Este modelo brinda la opción de modificar el valor de la resistencia del aire y de utilizar o no el paracaídas. También pueden modificarse valores como la masa y la velocidad en y . Como representaciones se tiene un vector para el peso y otro para la resistencia del aire.

DOMINIO CONCEPTUAL

Filosofía/visión de mundo:

Es posible construir representaciones idealizadas y simplificadas de la realidad que nos permitan aproximarnos a la comprensión de diversos fenómenos físicos.

Teorías, principios, teoremas y leyes:

Referentes:

Idealizaciones:

Variables y parámetros:

Relaciones:

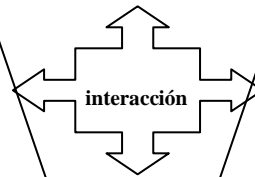
Resultados Conocidos:

Predicciones:

Fenómeno de interés
Movimiento de cuerpos en medios viscosos

Preguntas foco

1. ¿Cómo influye la resistencia del aire en la velocidad y aceleración de un cuerpo que cae, cuando está próximo a la superficie de la tierra?
2. Cuando existe resistencia del aire puede la velocidad crecer indefinidamente hasta que termina la caída del paracaidista o del objeto, ¿sí o no y por qué?
3. ¿Qué efectos tiene la apertura del paracaídas sobre la aceleración y la resistencia del aire?



Situación/problema:

Análisis de la caída vertical de un sujeto con la opción de considerar la viscosidad del aire y de utilizar paracaídas

DOMINIO METODOLÓGICO

Posibles Generalizaciones y Expansiones:

Respuesta a las preguntas foco

Validación del modelo:

Categorización del modelo:

Representaciones:

Elementos Interactivos:

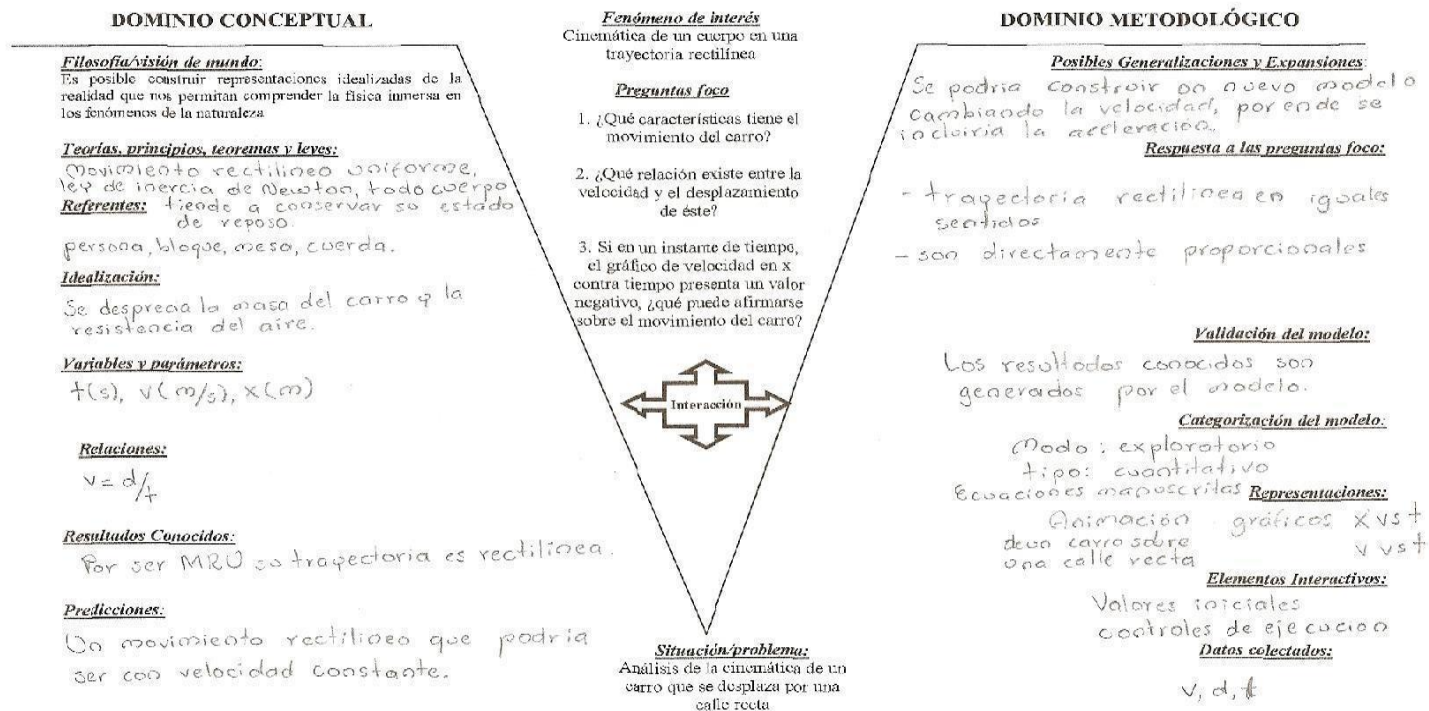
Datos colectados:

Anexo L

Diagrama AVM realizado por un grupo de estudiantes a partir de la interacción con uno de los modelos computacionales relativos a la cinemática (Estudio I)

Ana
Julían

Física I

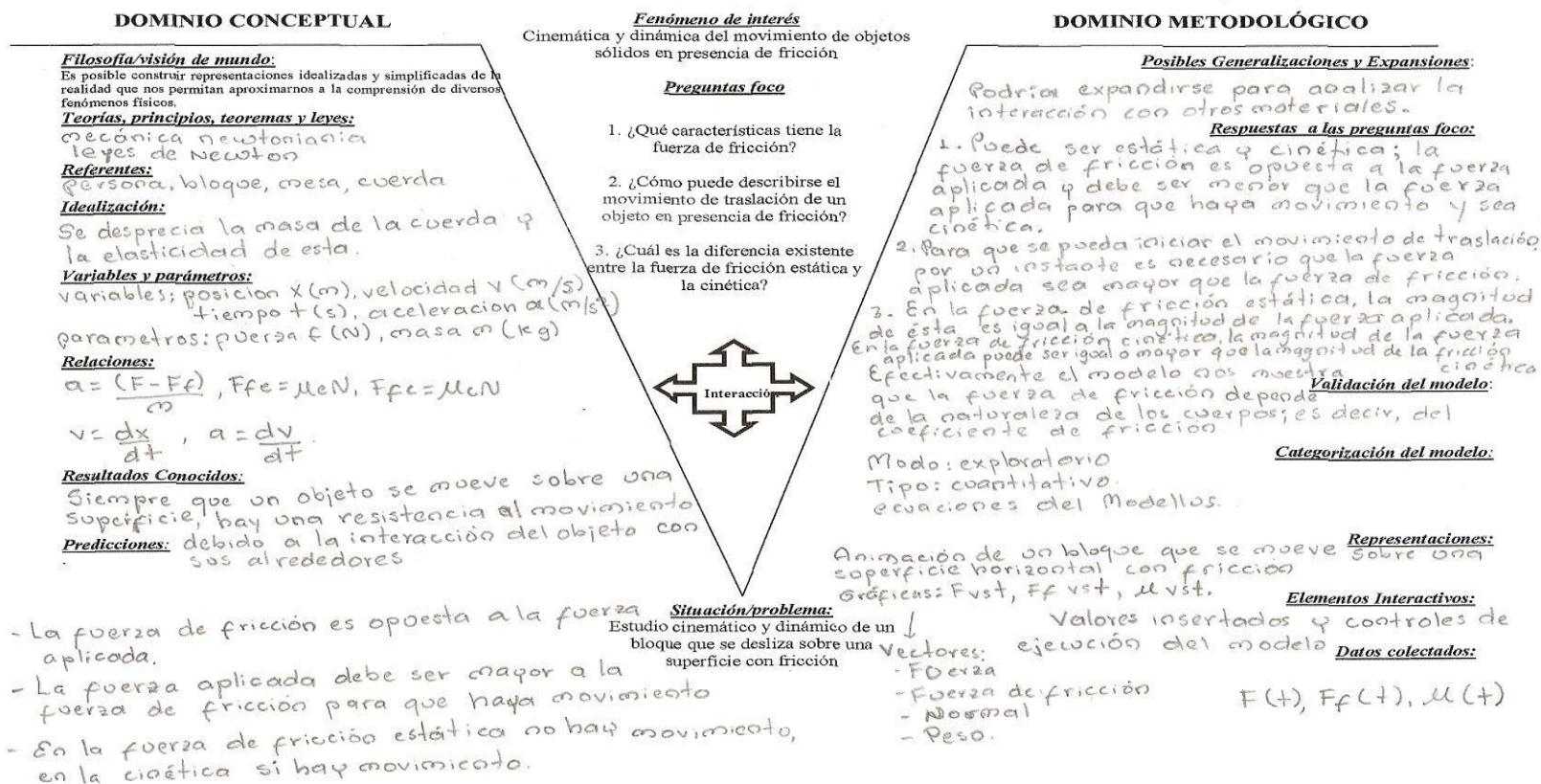


Anexo M

Diagrama AVM realizado por un grupo de estudiantes a partir de la interacción con uno de los modelos computacionales relativos a la dinámica Newtoniana (Estudio I)

Ana
Julían

Física I



Anexo N
Algunas fotografías de las actividades computacionales realizadas en el aula de clase



