

CONOCIMIENTO PRÁCTICO PROFESIONAL SOBRE LA EVOLUCIÓN DE UN CURSO DE FÍSICA UNIVERSITARIO EN EL ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN ESCOLAR, A LA LUZ DE LA HIPÓTESIS DE GRADUALIDAD

(Professional practical knowledge on the evolution of a collage physics course in the school research approach, in the light of the gradualness hypothesis)

John Freddy Ramírez Casallas¹ [jfrcasallas@gmail.com]
Universidad Cooperativa de Colombia – sede Ibagué

Resumen

Desde el año 2001 se viene ejecutando una experiencia de enseñanza de la física, de ciclo universitario y al interior de un programa de ingeniería, bajo el Modelo de Investigación Escolar. La complejidad en el desarrollo del mismo en la región asociada al departamento del Tolima (Colombia) ha exigido dar respuesta a dificultades específicas, como es el reconocimiento y superación de los problemas formativos que traen nuestros estudiantes a las aulas. En reportes anteriores se ha fundamentado y propuesto el desarrollo de una física con sentido regional en la que es fundamental el acercamiento gradual a tal modelo (hipótesis de gradualidad), partiendo de la premisa que la mayoría de los estudiantes han tenido acceso en la secundaria a una enseñanza tradicional del área. En este artículo, se pretende a partir de un proceso de sistematización de la práctica, presentar, conceptualizar, sustentar y plantear cuestiones de interés alrededor de la evolución satisfactoria que ha tenido el curso, desde una opción cercana a la tradicional hacia una orientada por tareas de investigación escolar.

Palabras-clave: experiencia; sistematización; enseñanza; física; conocimiento práctico; investigación; gradualidad.

Abstract

Since 2001 an experience in physics teaching regarding the research school model has been carried out inside the engineering program of an university. The complexity in its development in the Colombian region of Tolima has demanded to respond specific difficulties; such as the recognition and overcoming of the training problems that bring our students to the classroom. In previous reports has been based and proposed the development of a physical with a regional sense in which it is essential the gradual approach to this model (gradualness hypothesis) based on the premise that the majority of students have had access to a traditional teaching of the subject during secondary education. This report is intended, based on a process of practice systematization to introduce, conceptualize, support and raise interesting concerns around the successful development the course has had, since an option close to the traditional to one oriented by school research tasks.

Keywords: experience; systematization; education; physical; practical knowledge; research; gradualness.

Introducción

El desarrollo de un curso de física de una carrera de ingeniería a la luz del Modelo de Investigación Escolar (MIE), ha requerido reinterpretarlo a la luz de las exigencias propias de una carrera tecnológica y las dificultades (contextuales) que portan los estudiantes que ingresan a ella, incluida la revisión de algunos avances que se han logrado desde la práctica profesional. Tales valoraciones (Ramírez, 2006a,b), aún iniciales, se pretenden complejizar en este documento. Para

¹ Integrante del grupo de investigación Didáctica de las Ciencias con Sentido Regional.

hacerlo se ha usado el concepto de conocimiento práctico profesional, entendido como mediador entre teoría y acción (Porlán y Rivero, 1997), que sirva de soporte al desarrollo de una práctica fundamentada.

Para concederle fluidez al documento, se dividirá en tres partes: una primera, orientada a la presentación del curso; la siguiente a la síntesis del concepto de conocimiento práctico profesional y su relación con otros conceptos importantes; la tercera al estudio sobre la evolución del curso, a la luz de la hipótesis de gradualidad, concepto que sirve a su vez para explicar teórica (como resultado de la sistematización y reflexión sobre la acción) y prácticamente (como conocimiento sobre la intervención de la realidad) el paso desde un proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional a otro basado en investigación escolar.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación se ubica en el enfoque de investigación-acción (Kemmis y Mc Taggart, 1982; García-Carmona, 2009) y, como enfoque cualitativo (Moreira, 2002), tiene como objetivo principal comprender una experiencia de enseñanza como fenómeno social desde la perspectiva de uno de sus actores: el profesor. Los ciclos de planificación, acción, observación y reflexión aplicados cada seis meses (duración del curso) durante más de diez años han permitido producir conocimiento teórico sobre las mejoras y el conocimiento sobre su evolución. Especialmente, se ha concretado una teorización de la forma en que ha sido posible encontrar un camino específico para llevar los procesos de enseñanza-aprendizaje con un grupo de estudiantes concreto desde una perspectiva cercana a la tradicional hasta otra basada en la investigación escolar. Dicha conceptualización se representa a través del concepto *Hipótesis de Gradualidad*, el cual se expone al final del texto y, aunque tan sólo es aplicable por ahora a este caso, se estructura presentando evidencias concretas sobre su desarrollo con el propósito de que sirva como hipótesis de interpretación y posible rutas de acción (heurístico) de otros casos de enseñanza desde perspectivas cualitativas, pero también para que sea factible revisar su consistencia desde perspectivas analíticas y generales (con orientación preferentemente cuantitativa). En consecuencia, el estilo teórico de la presentación de los resultados de la investigación en este artículo apunta a permitir una valoración del poder comprensivo (indicador de la calidad de la propuesta teórica) del conocimiento práctico profesional que se ha desarrollado, tipo de organización que no se corresponde necesariamente con la complejidad de las interacciones que el investigador ha tenido que solucionar al abordar los diversos ciclos de la investigación durante un poco más de una década. En otras palabras, puede asumirse esta versión como una que ha logrado hacerse *estable* como marco conceptual para el autor, razón por la que se precisa que sea conocida y debatida por la comunidad de investigadores y profesores de enseñanza de las ciencias.

Propuesta del curso de física en el marco de un programa de ingeniería universitario

Desde sus inicios, el curso de física se ha impartido en la Universidad Cooperativa de Colombia – sede Ibagué. Anteriormente orientaba el curso Física 1, después dividido en dos cursos: Fundamentos de física y Física Mecánica, como parte de la transformación del sistema de evaluación hacia el trabajo en créditos académicos que se ha dado en el país. En la actualidad oriento el curso de Fundamentos de física, centrado en los fundamentos de cinemática y dinámica. Los hallazgos (hipótesis de gradualidad y todos sus componentes) sobre la propuesta de física incluyen todas estas versiones del curso pertenecientes al nuevo y al anterior plan de estudios, aunque los ejemplos concretos pertenecen a este curso de Fundamentos.

La síntesis del MIE y las cuestiones que actualmente se presentan en su desarrollo (ver tabla 1) han exigido respuestas ajustadas a la naturaleza de la carrera y a las dificultades que portan los estudiantes que ingresan para realizarla.

Componentes del modelo didáctico	Modelo de Investigación en la Escuela (Principios)	Dilemas frente al curso de física en ingeniería
Para qué enseñar (Finalidades educativas)	<ul style="list-style-type: none"> - Enriquecimiento progresivo del conocimiento del alumno hacia modelos más complejos de entender el mundo y de actuar en él. - Importancia de la opción educativa que se tome. 	¿Basta con complejizar el conocimiento de estudiantes que además de ser ciudadanos van a ser profesionales de la Ingeniería?
Qué enseñar (Los contenidos)	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento <i>escolar</i>, que integra diversos referentes (disciplinares, cotidianos, problemática social y ambiental, conocimiento metadisciplinar). - La aproximación al conocimiento escolar deseable se realiza a través de una <i>hipótesis de progresión en la construcción del conocimiento</i>. 	¿Es el conocimiento tecnológico aplicación del científico? ¿El primero puede convertirse en un referente tan fundamental como el segundo?
Ideas e intereses de los alumnos	<ul style="list-style-type: none"> - Se tienen en cuenta los intereses e ideas de los alumnos, tanto en relación con el conocimiento propuesto como en relación con la construcción de ese conocimiento. 	
Cómo enseñar	<ul style="list-style-type: none"> - Metodología basada en la idea de <i>investigación (escolar) del alumno</i>. - Trabajo en torno a problemas, con secuencia de actividades relativas al tratamiento de esos problemas. - Papel activo del alumno como constructor (y reconstructor) de su conocimiento. - Papel activo del profesor como coordinador de los procesos y como <i>investigador en el aula</i>. 	¿Es posible desconocer las reticencias que los estudiantes presentan hacia un aprendizaje centrado en la investigación escolar?
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> - Centrada, a la vez, en el seguimiento de la evolución del conocimiento de los alumnos, de la actuación del profesor y del desarrollo del proyecto. - Atiende de manera sistemática a los procesos. Reformulación a partir de las conclusiones que se van obteniendo. - Realizada mediante diversidad de instrumentos de seguimiento (producciones de los alumnos, diario del profesor, observaciones diversas...). 	Nuestros estudiantes cuentan con dificultades diversas, ¿cómo complejizarlos y a la vez cumplir con los requerimientos formativos de la profesión?

Tabla 1. Síntesis del Modelo de Investigación en la Escuela (MIE) e interrogantes frente al curso de física para ingeniería. Modificado a partir de García (2000).

Con anterioridad se ha sostenido que es necesario desarrollar una didáctica de la física con sentido regional (Ramírez, 2006a,b). Tal propuesta parte de reconocer que la enseñanza-aprendizaje de la física debe permitir a los estudiantes complejizar la visión que tienen de su mundo, en especial el regional. Epistemológicamente no conlleva desconocer la universalidad de las teorías físicas sino integrarlas al medio que nos rodea, para que desde esta integración necesaria, como parte de la complejización del mundo, podamos transformarlo. Transformación que se puede dar en diversas orientaciones (economicista, industrial, humanista, culturalista, ambientalista, compleja; ver Ramírez, 2006c), todas con la intención de lograr un desarrollo sostenible, considerando la opción compleja la más acertada.

Reconocida la identidad en las finalidades, la necesidad de pensar la formación de los ingenieros ha llevado a considerar dimensiones tan diversas como (tomando como base a Duque y otros, 1999; Tapias, 1999): a) la comunicativa, importante porque el profesional de la ingeniería en la actualidad requiere de saber usar diversas formas de representación y comunicar adecuadamente sus resultados; b) la modelación, connatural al conocimiento tecnológico, pero que aquí es también necesaria para adelantar de forma coherente un aprendizaje basado en la integración con el medio (p.e. región) que habita; c) contenidos, aspecto clásico que aquí es visto a la luz de la integración de conceptos en redes (tramas) conceptuales y la distinción de las situaciones cuando son cotidianas o hipotéticas; d) la investigación, propia al MIE e identificada como una falencia en la formación de los ingenieros en Colombia; e) actitudes y valores, centrado en el desarrollo de la confianza en las capacidades individuales y/o colectivas, también expresadas en el trabajo como equipos; f) la tecnológica, como reconocimiento de la necesaria integración de herramientas tecnológicas para el desarrollo de los problemas de investigación. Con base en estas dimensiones se ha desarrollado una

tabla de componentes e indicadores que recogen diferentes criterios para valorar los avances de los estudiantes (tabla 2).

Se ha considerado que el conocimiento tecnológico no es la simple aplicación del científico. Es posible considerar tres criterios para el análisis de esta problemática (Acevedo, 2002): las características propias del conocimiento tecnológico, las actitudes ante las publicaciones, las finalidades de los laboratorios de investigación académica e industrial. En esta propuesta ha sido claro enfocar la selección de los contenidos orientada hacia su función tecnológica, sin perder de vista los contenidos disciplinares, apoyando el proceso formativo en el seno de una carrera de ingeniería.

El cómo enseñar, en términos de la práctica profesional, ha tenido vaivenes que han sido evaluados y han permitido la mejora del curso. Inicialmente, la intención clara fue trabajar directamente con una metodología basada en la investigación del alumno. La fuerte deserción que se experimentó llevó a evaluar las posibles causas que la explicaban. Una importante es que los estudiantes prefieren un(a) profesor(a) que “sabe” y lo demuestra cuando da “una respuesta clara y única”, en cambio el (la) profesor(a) que expone varias posibilidades – evidentemente como poseedor de un alto manejo de la asignatura – es bajamente valorado porque “enreda” y al ser poco claro no permite “comprender”. Esta característica se considera uno de los tantos rezagos de una formación anterior basada en el modelo didáctico tradicional, propios de una cultura que enfoca la realidad desde los opuestos (Ballenilla, 2003) donde lo importante es “entender” de manera fragmentaria la información, normalmente para dar respuesta exitosa en los exámenes.

Un segundo aspecto fue el reconocimiento de los diversos problemas que presentan los estudiantes cuando ingresan a la carrera (lectoescritura, matemáticas). El deber acogido consistió en intentar avanzar gradualmente hacia la propuesta investigativa (tabla 2); así se inició con la dimensión de modelación, para luego ir tomando las demás de manera gradual.

Esta partida tan particular presenta como ventaja que – en relación con cinemática y dinámica – pueden integrarse y discutirse diversas concepciones de fuerza sostenidas por los estudiantes para transformarlas en el curso del proceso de enseñanza-aprendizaje. Paulatinamente se ha consolidado, al mantener una doble relación de afectación entre teoría y práctica, la hipótesis de gradualidad formulada como una progresión que no solamente cubre el conocimiento escolar (hipótesis de progresión en la construcción del conocimiento escolar) sino que también, y de forma intencional por parte del profesor (y parte de algunos estudiantes), involucra el cambio de modelo didáctico desde uno cercano al tradicional hasta otro que tiene como referencia el investigativo.

La evaluación se realiza con base en la evolución que han tenido los estudiantes en los diversos componentes (tabla 2). Inicialmente se consideró que al interior de cada componente existen unos indicadores más complejos que otros, concibiéndose que algunos de ellos indicarían la formación de un ingeniero brillante (eficaz y eficiente en el proceso de aprendizaje, todos marcados con la calificación 4 de 5: A2, A3, B3, C1, C2, C4, E1, E2), mientras que se valoraban con mayor calificación aquellos que se corresponderían con un ingeniero creativo (sumarían el punto que falta para llegar a 5, filtrando en el límite del 4/5 aquellos estudiantes que no dan muestra de este desarrollo: A1, A4, B1, B2, B4, C3, D1, E3, F1). Posteriormente, a partir de procesos de investigación sobre la práctica se ha hecho evidente que tales indicadores no progresan como antes se pensaba, encontrando formas más complejas de evolución al interior de la clase (ver figura 3).

Actualmente, se ha superado una visión analítica de la evaluación en función de las componentes y sus indicadores (con cierto sesgo tecnológico) para ingresar en una más compleja, caracterizada por un proceso de complejización sobre la evolución del curso. Esta visión de mayor complejidad y de mayor sistematicidad se desarrolla más adelante.

COMPONENTE	INDICADORES	VALORACIÓN	0-4.0	4.0-5.0	TOTAL COMPONENTE Prom.x4+Prom.x1	NOTA FINAL COMPONENTE
COMUNICATIVO (10%)	Búsqueda de información (uso de fuentes y procesamiento de la misma) [A1]	El componente comunicativo se refiere a la capacidad de usar diversos tipos de representación (tablas de datos, gráficas en plano cartesiano, documentos escritos, modelos matemáticos, diagramas) que son comunes en el desempeño del ingeniero, además de interpretar y traducir de unos a otros. Se complejiza cuando además se integran tareas de procesamiento y búsqueda de información en diversas fuentes; se suma la capacidad para expresar sus ideas y argumentarlas frente a un público.				TOTAL COMPONENTE X 10%=
	Uso de diversos tipos de representación [A2]					
	Traducción e interpretación [A3]					
	Difusión del conocimiento elaborado [A4]					
	SUBTOTALES		Prom.x4=	Prom.x1=		
MODELACION (10%)	Procesamiento e integración de datos [B1]	<i>La modelación aparece como consecuencia de considerar que uno de los aportes del hacer matemático en la física es el construir mundos posibles de la fisis (Lorenzo, J. De, 1991). En la física construimos modelos acotados de nuestra realidad, establecemos condiciones de trabajo; por tanto no hablamos de la caída de los cuerpos en presencia del aire sino en ausencia del mismo, así obtenemos que dos cuerpos de diferente masa caen con igual aceleración al soltarlos desde una misma altura. De forma similar en ingeniería también se construyen modelos tecnológicos (centrados en alcanzar funcionalidad) diferentes de los científicos.</i>				TOTAL COMPONENTE X 10%=
	Establecimiento de condiciones [B2]					
	Desarrollo coherente del modelo [B3]					
	Valoración crítica del modelo en relación con la realidad modelada [B4]					
	SUBTOTALES		Prom.x4=	Prom.x1=		
CONTENIDOS (25%)	Comprensión de los conceptos [C1]	<i>En lo referente a los contenidos se busca que se organicen comprensivamente a través de redes conceptuales y se reconozcan las situaciones cuando son cotidianas o hipotéticas. Ataca la descontextualización que con normalidad opera en los estudiantes, para entrar a que sean conscientes del tipo de trabajo que están haciendo. En un plano más complejo, como el correspondiente al problema de investigación que sirve como examen final del curso, se promueve el desarrollo de nuevas situaciones en donde usar tales conocimientos, como los relacionados con su profesión.</i>				TOTAL COMPONENTE X 25%=
	Interpretar situaciones cotidianas e hipotéticas [C2]					
	Proponer nuevas situaciones en donde usar ese conocimiento [C3]					
	Establecer redes de conceptos involucrados en la realidad modelada [C4]					
	SUBTOTALES		Prom.x4=	Prom.x1=		
INVESTIGACION (25%)	Establecer problemas físicos con sentido en relación con su entorno socioambiental y profesión, desarrollando pertinentes y creativos [D1] procesos de investigación, produciendo conocimientos importantes para su desarrollo profesional	<i>La investigación, como proceso fundante de la propuesta, va tomando fuerza gradualmente. Inicialmente se tratan problemas estanques llenos de agua y cables, pero posteriormente se espera desarrollar problemas de mayor complejidad y en continuidad con los anteriores: se sigue modelando, pero ahora pueden empezar a incluirse pequeños modelos tecnológicos experimentales que se relacionan con la formulación teórica que de ellos se tiene. En este punto es evidente que no se renuncia a la complejización del conocimiento cotidiano de los estudiantes sino que, por el contrario, se exige en la medida de lo que se espera como ciudadanos y profesionales de la ingeniería.</i>				TOTAL COMPONENTE X 25%=
	SUBTOTALES	Prom.x4=	Prom.x1=			
ACTITUDINAL / VALORATIVO (20%)	Afrontar positivamente las dificultades que se le presentan en el desarrollo del trabajo [E1]	<i>Otro proceso es el actitudinal / valorativo, busca romper con la poca credibilidad que normalmente se tiene en las capacidades individuales o de equipo (cuestionando esa mentalización del subdesarrollo que tanto predomina en nuestro medio), promoviendo las actitudes constructivas y sinceras, muchas veces difíciles, en la ejecución del trabajo. Por tal razón, se invita a afrontar positivamente las dificultades demostrando que se pueden saltar obstáculos, a rescatar la posibilidad de aportar y recibir frente al trabajo colectivo, y la capacidad de establecer críticas argumentadas y respetuosas en relación con lo que aportan sus compañeros. Usualmente ha conllevado a que los equipos de trabajo se reorganicen valorizando la responsabilidad de cada uno de los integrantes, más allá de la amistad previa, valioso criterio que será fundamental en la integración social a equipos de trabajo, en calidad de profesionales de la ingeniería.</i>				TOTAL COMPONENTE X 20%=
	Aportar como individuo al trabajo colectivo y viceversa [E2]					
	Establecer críticas constructivas y respetuosas alrededor de los aportes de sus compañeros [E3]					
	SUBTOTALES		Prom.x4=	Prom.x1=		
TECNOLÓGICO (10%)	Uso de herramientas tecnológicas (calculadoras, computadoras y demás) en apoyo al desarrollo de los problemas de investigación [F1]	<i>Por último, se tiene en cuenta el uso de herramientas tecnológicas. Se promueve la posibilidad de presentar actividades mediante el correo electrónico, la elaboración de trabajos con apoyo de paquetes de matemática o física, el uso de calculadoras. No se espera que estas herramientas solucionen los problemas sino que sirvan como medios que ayuden aumentando la dinámica de su desarrollo.</i>				TOTAL COMPONENTE X 10%=
	SUBTOTALES	Prom.x4=	Prom.x1=			

Tabla 2. Componentes e Indicadores que sintetizan la propuesta del curso de Física.

El conocimiento profesional del profesorado

Se considera que el conocimiento profesional del profesorado está compuesto por cuatro componentes (Porlán y Rivero, 1997, 1998; Ballenilla, 2003): a) *los saberes académicos*, referidos a las concepciones disciplinares y metadisciplinares que los profesores poseemos sobre los saberes relacionados con el contenido (física en este caso), los propios a las ciencias de la educación, los que tienen por “objeto de estudio los problemas relativos a los diversos tipos de conocimientos y a sus relaciones con la realidad (*saberes epistemológicos*)” (Porlán y Rivero, 1997).; b) *las creencias y principios de actuación*, saberes basados en la experiencia, referidos a las ideas conscientes que desarrollamos en el ejercicio de la profesión y que tienen por objeto la enseñanza-aprendizaje; c) *Las rutinas y guiones de acción*, que se refieren al conjunto de *esquemas tácitos* que predicen el curso inmediato de los acontecimientos en el aula y la manera estándar de abordarlos, son de carácter implícito y responden a una forma de esquematizar respuestas a preguntas del tipo ¿qué hacer en esta situación?, ¿cómo hacerlo? ; d) *Las teorías implícitas*, “se refieren más bien a un *no-saber* que a un saber, en el sentido de que son teorías que pueden explicar los porqués de las creencias y de las acciones de los profesores atendiendo a categorías externas, mientras que, con frecuencia, los propios profesores no suelen saber de la existencia de estas posibles relaciones entre sus ideas e intervenciones y determinadas formalizaciones conceptuales” (Porlán y Rivero, 1997). Las diferentes formas de integrar estas cuatro componentes permiten obtener diferentes niveles de complejidad en la formulación del conocimiento profesional. El conocimiento profesional hegemónico, derivado del modelo didáctico tradicional, y el conocimiento profesional deseable se distinguen por los diferentes grados de integración que se dan entre tales elementos. En el primer caso, un conocimiento yuxtapuesto en el que las componentes se encuentran desintegradas; en el segundo, la integración entre éstas es mayor, haciéndose posible la formulación de *teorías prácticas profesionales*, entendidas como verdaderas teorías para la acción y la transformación, mediadoras entre la práctica y la acción profesional.

Se considera que el conocimiento profesional puede evolucionar desde posiciones desintegradas hasta otras de mayor integración. Así, es posible formular una *hipótesis de progresión profesional* entre estas posiciones más fragmentarias hacia otras deseables, de mayor integración.

La transición desde este punto de partida fragmentario hasta una posición deseable permite identificar varios obstáculos a superar (Porlán y Rivero, 1997): a) *Tendencia a la fragmentación y disociación entre la teoría y la acción y entre lo explícito y lo tácito*; b) *tendencia a la simplificación y al reduccionismo*; c) *tendencia a la conservación adaptativa y rechazo a la evolución-constructiva*; d) *tendencia a la uniformidad y rechazo a la diversidad*. Por otro lado, se reconocen varias características de ese nuevo conocimiento profesional: a) *Es un conocimiento práctico*, que resulta de la integración entre teorías formalizadas y acción profesional; b) *es un conocimiento integrador y profesionalizado*, organizado alrededor de problemas relevantes de la práctica profesional; c) *es un conocimiento complejo*, reconociendo la complejidad y singularidad de los sistemas de enseñanza-aprendizaje institucionalizados; d) *es un conocimiento tentativo, evolutivo y procesual*.

Tal conocimiento se construye, consistente con la concepción del profesor como investigador, mediante la investigación de problemas profesionales, la experimentación de alternativas curriculares y la construcción y reestructuración de significados. *La hipótesis de progresión profesional* (Porlán y Rivero, 1998) sirve como modelo teórico para seguir este camino, siendo el modelo didáctico investigativo (ver tabla 1) el que sirve como referencia (direccionador) de la evolución profesional.

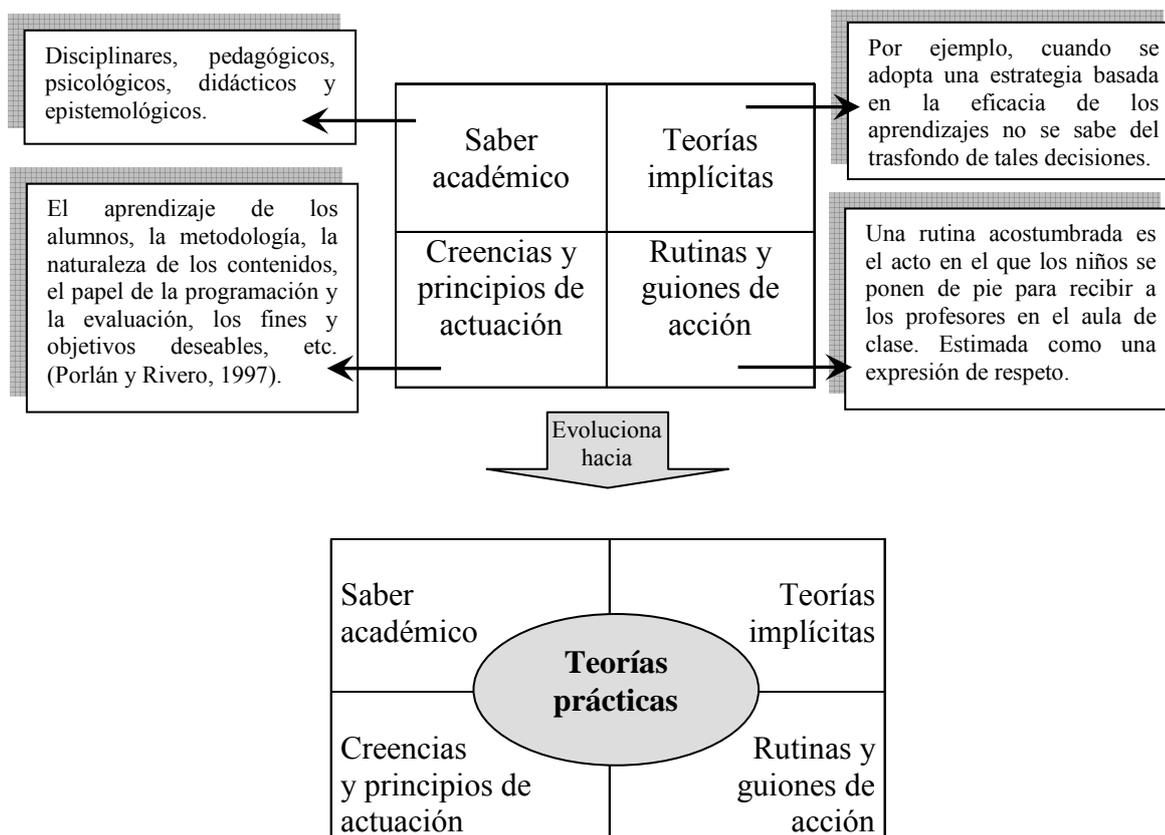


Figura 1. Evolución del conocimiento profesional del profesorado. Las teorías prácticas como resultados de la integración entre los cuatro saberes básicos que lo componen.

En esta hipótesis, el modelo didáctico es una representación teórica síntesis del conocimiento profesional, donde con diferentes formas de encuadramiento las cuatro componentes se integran en cuatro posiciones: tradicional, tecnológico, espontaneísta, investigativo. El Modelo Didáctico Personal (MDP) se corresponde con el posicionamiento que al interior del conocimiento profesional (incluida la hipótesis de progresión) presenta en determinado momento un profesor/a particular a través de su práctica profesional, siendo que su trasfondo teórico ni siquiera es explícito para el propio profesor (Ballenilla, 2003:137).

La evolución práctica del curso de física a la luz de la hipótesis de gradualidad

El curso que actualmente atiendo, Fundamentos de física, está ubicado en el primer semestre del programa de ingeniería (civil, sistemas) de la Universidad Cooperativa – sede Ibagué. Cubre 16 semanas de trabajo académico, con tres horas semanales de intensidad horaria. Los contenidos disciplinares básicos se corresponden con lo que en los textos de física universitaria se denominan cinemática y dinámica.

La hipótesis de gradualidad, entendida como la factibilidad del paso intencionado desde una opción cercana a la tradicional para orientarse hacia una centrada en la investigación escolar, es una respuesta necesaria orientada a acoger estudiantes que portan los problemas propios de la formación tradicional (poca autonomía; aprendizaje basado en la asimilación; la memorización como estrategia para aprender; simplificación de los contenidos y aprendizaje de ejercicios rutinarios, lo que significa una pérdida en complejidad, pero que reporta altas probabilidades de éxito académico; la calificación prácticamente como el fin último del trabajo en el curso; poca disposición para el trabajo en equipo) para, mediante el proceso formativo, involucrarlos en

procesos de investigación escolar, donde se empieza a complejizar el conocimiento cotidiano de los estudiantes y se promuevan visión y acciones críticas y complejas sobre el mundo.

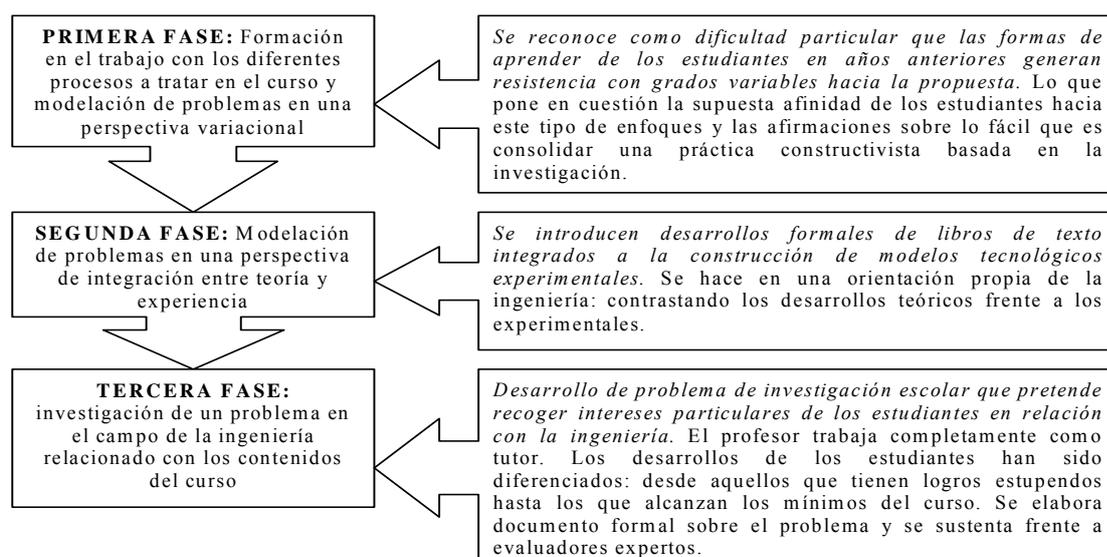


Figura 2. Descripción de las fases metodológicas y síntesis de principales características.

La hipótesis de gradualidad es diferente a la hipótesis de progresión de los contenidos escolares (García, 1998; García, 2000a) en la medida que no solamente se habla del posible camino a seguir en el aprendizaje de un contenido escolar (p.e. Ballenilla, 2001) sino que involucra un cambio intencionado en la forma de enseñar, simultáneo a la progresión en los contenidos escolares, el método de enseñanza y la evaluación. En otras palabras, no consiste en llevar el modelo de investigación escolar al aula sino intervenir la evolución del sistema aula (García., 2000b) para hacer realizable la investigación escolar de los estudiantes con el transcurrir del tiempo.

La propuesta anterior reconoce la potencialidad investigadora, cognitiva y biológica (García, 1998; Cañal, 1999; García, 2000a) de los estudiantes, pero también que las rutinas que se apropian en un sistema educativo tradicional pueden entorpecer el desarrollo de la misma. Lo que significa aceptar una tesis conexas, los estudiantes no deben elegirse por poseer una actitud proclive hacia la investigación sino que tienen la posibilidad de acceder a un aprendizaje por investigación escolar en cualquier etapa de su vida.

Aquí radica la importancia de esta comunicación, en la necesidad de mostrar la manera en que se ha venido conceptualizando y dando esta evolución, mostrando que la hipótesis de gradualidad, la asunción de ésta como principio didáctico, ha hecho posible obtener un curso altamente funcional a la luz del MIE. En este apartado se revisarán los entresijos de lo que alcanzo a concebir como profesor, una especie de grafía compleja de la acción profesional (más que una narración de los hechos) que sirve como mediadora fundamentada entre la práctica y la acción profesional, donde es posible caracterizar las fases de tal evolución, los componentes e indicadores básicos en la misma (tabla 2), como la trayectoria que sigue (figura 3).

En la evolución del curso es posible reconocer tres fases de trabajo diferenciadas entre sí (figura 2). Desde el inicio se ha aprovechado la excesiva preferencia que los estudiantes han desarrollado por las buenas calificaciones (la nota), por tanto como profesor poseo un poder que me concede cierta importancia al interior de la clase; con el paso del tiempo, como meta básica se busca que el interés por la calificación vaya menguando a medida que nos acercamos a tareas de investigación escolar, así se pretende que se legitimen otras finalidades educativas (enriquecimiento del conocimiento cotidiano, p.e.) y sean asumidas por los estudiantes.

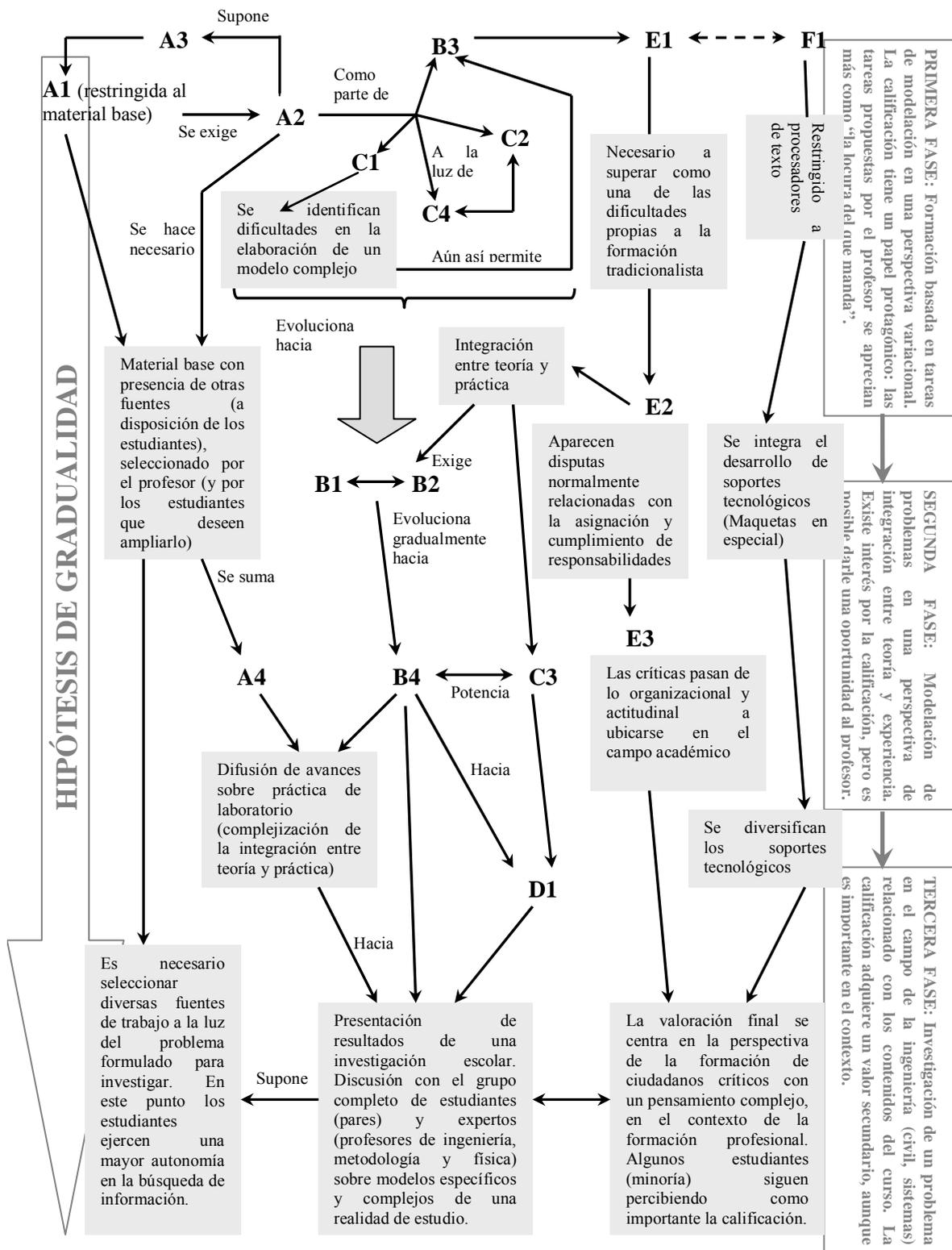


Figura 3. Complejización del trabajo de aula hacia una dinámica ajustada al modelo de investigación escolar a la luz de la hipótesis de gradualidad. Se conservan los códigos de la tabla 2.

La partida: la modelación de situaciones próximas

La primera fase da inicio con un problema típico de ingeniería en el que, en el plano de los contenidos, se modela dinámica y cinemáticamente. Se apela a identificar el comportamiento del cuerpo como consecuencia de la acción de fuerzas externas, premisa básica de la mecánica clásica

que se aprovecha para discutir la organización de la información (en redes conceptuales) sobre las leyes de Newton, concepciones de fuerza y tipos de fuerza. De esta manera la discusión en la construcción del modelo permite crear espacios para promover cambios conceptuales significativos.

Además del debate que se abre sobre las tareas de modelación, se involucran discusiones acerca del significado del concepto fuerza, el tipo de carro que viaja sobre el riel, el tipo de fuerza actuante, el papel de las fuerzas internas y la elaboración del diagrama como cuerpo libre a la luz del principio de independencia de Galileo, problemas que coinciden con considerados por Covián y Celemín (2008) como centrales en el aprendizaje de la Mecánica Newtoniana. Alrededor del concepto de fuerza se verifica la existencia de dificultades en la aplicación de la primera, segunda y tercera ley de Newton: a) los relativos a la elaboración del diagrama de cuerpo libre; b) los asociados a la existencia de preconceptos.

MODELO 1: Tan sólo se considera la actuación de una fuerza, la de fricción. Se considera que las demás no están actuando en este caso.

A continuación se presenta un carro que se desliza verticalmente y experimenta solamente el efecto de la fuerza de fricción debida al contacto de los rieles con las ruedas del carro. NOTA: La fuerza de fricción considérese como $F_r = \mu N$, donde F_r es la fuerza de rozamiento, la μ representa el coeficiente de fricción y N es la fuerza normal que ejercen los rieles sobre las ruedas. En el caso considerado en clase se supuso que la fuerza normal ejercida era el cuerpo del peso.

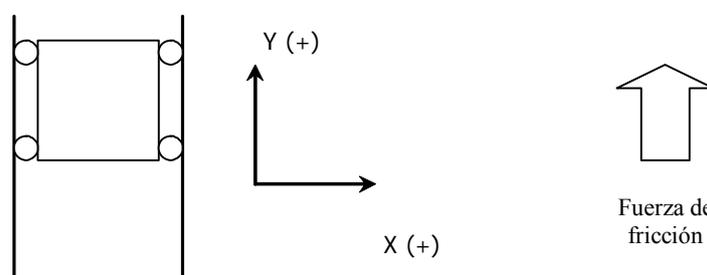


Figura. Dibujo de una masa (m) que se desliza verticalmente sobre rieles. Considérese que sobre el carro solamente actúa la fuerza de fricción.

$$\Sigma F_x = m_c \cdot a_x$$

Aludiendo a la segunda ley de Newton expresamos que la suma de fuerzas en X (izquierda) nos dará como resultado que la masa del carrito tendrá una aceleración (a_x); así la fuerza neta que experimenta el carrito es el producto de la masa con la aceleración del carro (derecha).

$$0 = m_c \cdot a_x$$

Como no existen fuerzas actuando en X, entonces el valor de la sumatoria da igual a cero.

$$0 / m_c = a_x$$

Despejamos el valor para la aceleración en X y obtenemos que valga 0. Lo que significa que el cuerpo puede estar en reposo o se mueve con velocidad constante (posibilidades en las que la velocidad no ha variado).

$$\Sigma F_y = m_c \cdot a_y$$

De igual forma procedemos para el eje Y.

$$F_r = m_c \cdot a_y$$

En la sumatoria (izquierda) tan sólo colocamos la fuerza de fricción, ya que es la única fuerza actuando.

$$F_r / m_c = a_y$$

Al despejar la aceleración en Y obtenemos que es equivalente a dividir el valor de la fuerza de fricción entre la masa del carrito.

$$\mu N / m_c = a_y$$

Reemplazando el valor de la fuerza de fricción obtenemos este valor de la aceleración en Y. Nótese que este resultado es más general que el obtenido en clase, pues ayer asumimos la normal igual al peso del cuerpo, cosa que no siempre ocurre.

$$a_x^2 + a_y^2 = a_s^2$$

Después de aplicar el teorema de Pitágoras para hallar el valor de la aceleración del sistema (carrito en este caso), obtenemos que vale $\mu N / m_c$.

$$a_s = \mu N / m_c$$

Hasta este momento tenemos un carrito sobre el cual se aplica una fuerza de fricción hacia arriba. Tal acción provoca que el carrito adquiera una aceleración que se calcula tomando el valor de la fuerza de fricción y se divide sobre el valor de la masa del carrito ($\mu N / m_c$).

$$\begin{aligned} V_f &= V_o + (\mu N / m) \cdot t \\ V_f^2 &= V_o^2 + 2 \cdot (\mu N / m) \cdot d \\ d &= V_o \cdot t + \frac{1}{2} (\mu N / m) \cdot t^2 \end{aligned}$$

Obtener la aceleración del cuerpo que se mueve (móvil) nos permite formular las ecuaciones de movimiento. La forma de las mismas es igual, simplemente se recurre a reemplazar el valor de la aceleración para este caso particular.

Desarrollo de variación: A continuación se desarrolla una variación completa para este modelo 1. *Ustedes deben realizar una por equipo de trabajo; la asesoría la realizaremos el próximo jueves, después de desarrollar lo correspondiente al laboratorio.*

$$\begin{aligned} V_f &= V_o + (\mu N / m) \cdot t \\ V_f^2 &= V_o^2 + 2 \cdot (\mu N / m) \cdot d \end{aligned}$$

$$d = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} (\mu N / m) \cdot t^2$$

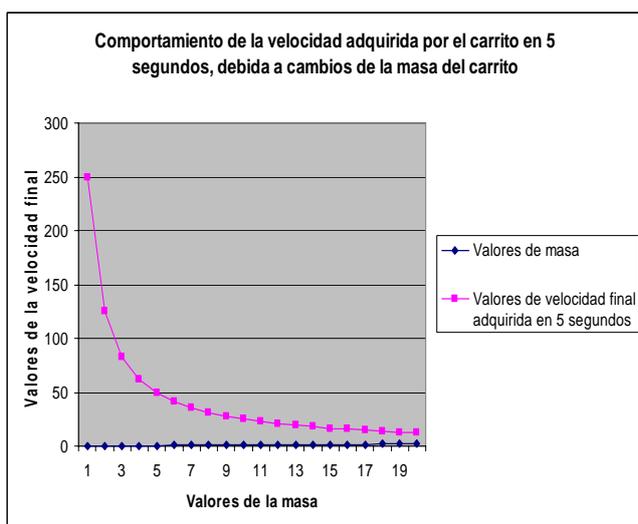
Partiendo de tener las ecuaciones de movimiento, ¿qué sucede con la velocidad final que adquiere el cuerpo cuando el valor de la masa del cuerpo aumenta? NOTA: Para las variaciones se recomienda tomar una variable sobre la cual se posee la inquietud y una variable que vamos a cambiar a nuestro antojo; las demás variables las convertimos en constantes.

Enunciado del problema: ¿Qué valores toma la velocidad final del carrito? Se sabe que inicia con una velocidad de 0 m/s, se le aplica una fuerza normal de 10 N (newton), el coeficiente de fricción para el contacto entre estas dos superficies es de $\mu = 0.5$, el tiempo en que se estudia el movimiento es de 5 segundos.

Intentaremos estudiar que sucede en diferentes situaciones con la velocidad que adquiere el carrito si se sabe que parte del reposo. La variable introducida es que la masa del cuerpo cada vez sea mayor.

Reemplazando los datos que se han considerado constantes, ajustados a la primera ecuación de movimiento, obtenemos la siguiente ecuación en la que solamente son variables el valor de la velocidad final y el valor de la masa del carrito.

$$V_f = V_0 + (\mu N / m) \cdot t$$



Se convierte en (las unidades se han desarrollado implícitamente, se recomienda verificarlas):

$$V_f = 0 + [(0,5) \cdot (10) / m] \cdot (5)$$

$$V_f = 25 / m$$

Interpretación matemática: En este caso encontramos que el aumento de los valores de la masa provoca disminución de los valores que adquiere la velocidad final del carrito

Valor de la masa	Valor de la velocidad final
0,1	250
0,2	125
0,3	83,33333
0,4	62,5
0,5	50
0,6	41,66667
0,7	35,71429
0,8	31,25
0,9	27,77778
1	25

(inversamente proporcionales).

Interpretación física: El aumento de masa (el cuerpo se hace más masivo) conlleva que cambia la aceleración en la medida que disminuye los valores de velocidad final adquiridos pasados cinco segundos de movimiento. En otras palabras, es más difícil acelerar el carrito haciendo uso de la misma fuerza si se aumenta la masa.

Figura 4. Ejemplo de modelación, realizado por el profesor, de un carrito que se mueve verticalmente en un riel (situación próxima). Fuente: Archivos del autor.

La cercanía de esta fase con la opción tradicional radica en: a) se aprovecha para dar por ciertas las ecuaciones de movimiento, como consecuencia de obtener la aceleración del sistema físico a partir de estudiar la intervención de la(s) fuerza(s); b) la variación promueve una representación dinámica de la realidad modelada a través de una rutina de repetidos resultados puntuales (propio de los ejercicios tradicionales), como se ha mostrado en el ejemplo completo de la figura 4; c) parte de los desarrollos, ya conocidos por la mayoría, exigen a los estudiantes, pero sirven para solicitar interpretaciones que – más allá del enfoque matemático – hagan alusión a la relación entre los conceptos físicos involucrados; d) la integración entre diferentes formas de representación (gráfica, tablas de datos, escrita, algebraica) se hace necesaria como parte de la comprensión; e) elaboración de trabajos en equipo y presentación de trabajos escritos (al inicio se incluye el examen tradicional) sobre los problemas tratados.

La novedad de esta fase consiste en la realización de experimentos mentales (enteramente conceptuales) respecto a los cuales los estudiantes deben ser coherentes. En consecuencia, no se valora la verdad física, la coincidencia entre lo expresado en el modelo y lo que ocurre en la realidad sino la coherencia que se sostiene en el desarrollo de los modelos a la luz de ciertas condiciones específicas. Desde esta perspectiva intencionalmente se pretende ligar la construcción de una “imagen mental” de la situación propuesta al concepto de fuerza, relacionar aceleración, masa y fuerza como tres elementos fundamentales en una situación dinámica. La situación inicial

(el problema del carrito de la figura 4) da paso a la modelación de un carro que se mueve sobre dos rieles verticales (uno a cada lado) gracias a llantas que se deslizan sobre los mismos; tiene como propósito que las concepciones más cotidianas de los estudiantes se vayan integrando dialógicamente hacia un modelo dinámico donde sea posible representar vectorialmente las fuerzas que se pueden aplicar mecánicamente (fuerzas de fricción, de gravedad, normal), lo que se puede hacer revisando diversas concepciones sobre la forma en que “funciona” dicho montaje, lo cual se discute de forma colectiva, siendo uno de los tareas de la clase integrar entre sí concepciones formales de fuerza (resultado de los mapas conceptuales elaboradas y las consultas de diversos textos) y concepciones personales sobre la misma. Es conveniente anotar que en ningún momento se evita que nuevas preguntas sean parte de los productos obtenidos.

La llegada a este problema nos lleva desde una situación (ambas concebidas bidimensionalmente) donde las fuerzas actúan vertical y horizontalmente, a otra donde poseen cualquier orientación en el plano, lo que se apoya con un trabajo de refuerzo en adición de vectores. En esta nueva etapa se trabaja alrededor de la modelación de una argolla que se encuentra sostenida en el espacio por varias cuerdas, orientadas en diferentes direcciones. De esta forma se marca una nueva exigencia en el trabajo matemático y físico (desarrollo de una idea más matemática del concepto de vector que ya no solamente se referencia desde la experiencia cotidiana hacia una versión apoyada en su estructura algebraica; una noción de fuerza basada en la experiencia hacia otra que puede enmarcarse como un caso especial de dicha álgebra).

Epistemológicamente no preocupa encontrar las relaciones entre fuerza de fricción y fuerza normal, tan sólo se busca aceptar - como parte de las condiciones del modelo - la acción de la fuerza de fricción como la única actuante. *El propósito consiste en ligar una conceptualización física a mundos posibles que se derivan como opción de la actuación didáctica desde el principio de independencia de Galileo: el comportamiento dinámico del cuerpo es equivalente a la suma vectorial de los efectos independientes que provocan las fuerzas externas que actúan sobre el cuerpo considerado.* En consecuencia, se pone el acento en la coherencia conceptual entre las proposiciones que manejan los estudiantes sin abordar por ahora los referentes empíricos que soportan tal modelo en la realidad física. De esta forma los procesos de modelación y contenidos se integran a través de indicadores específicos (B2, B3, C1, C2) y de forma concreta en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Un segundo aspecto novedoso que aparece inicialmente desligado del trabajo conceptual (integración que se hace en la segunda fase) es la primera práctica experimental acerca de la teoría del error, en la que se han considerado como referencias documentales en la Web como la Teoría de Errores - Incertezas de medición de Gil y Rodríguez y el capítulo atinente del curso Física con Ordenador del profesor Ángel Franco García.

Posteriormente es posible el desarrollo modelos donde actúan dos o tres fuerzas (fuerza de fricción, fuerza normal, fuerza gravedad, tensión) a partir del modelo del carro (o de la argolla), pero en los que se empieza a pedir a los estudiantes – además del desarrollo de la variación - la construcción autónoma del diagrama de cuerpo libre, el establecimiento de las ecuaciones dinámicas del sistema, el cálculo de la aceleración y la formulación de las ecuaciones de movimiento para este caso tan particular.

De esta manera, desde las perspectivas ontológica y epistemológica del mundo se empiezan a configurar ciertos logros en las prácticas de enseñanza: a) la construcción de modelos de la realidad es una tarea profundamente humana, lo que exige de sus constructores una alta responsabilidad y compromiso; b) al interior del proceso de enseñanza (como trayectoria posible de la acción) se crea un espacio para superar la visión empirista de modelo científico donde se supone que estos son una simple copia de la realidad; c) a la par, el acercamiento al mundo empírico a través de la medición

abre las puertas para aceptar la incertidumbre propia de los procesos de interacción práctica con lo real; d) se considera que hasta el momento se ha complejizado un caso especial, pero en ningún momento se piensa que este caso es suficiente para elaborar concepciones complejas y generalizadas de este tipo de situaciones; aún así, con los estudiantes se identifica que el típico buen *estudiante inductivista (o racionalista)* tiene la tendencia a generalizar sin más estos desarrollos, desconociendo las características de cada situación y, por otro, los *estudiantes realistas* intentan quedarse en este tipo de situaciones intentando incluir nuevos elementos en la situación; los primeros presentan la tendencia a consultar libros de texto y dar la información que allí se precisa como “la verdad”, mientras que los segundos tienden a singularizar la situación y presentan mayores dificultades para transferir este sistema de ideas a situaciones similares.

Esta primera fase se cierra con un examen tradicional sobre el desarrollo de tareas de modelación sobre un carrito, pero con fuerzas diferentes a las que se han venido elaborando en el curso. Las dos condiciones especiales del examen es que sea individual y su porcentaje en el valor de la esta primera nota está en una relación 20/100. Generalmente este examen genera bastantes conflictos a los estudiantes y es aprovechado luego para establecer una sesión de reflexión colectiva en la que se autoevalúa nuestra “vieja forma de aprender” y la nueva forma que se propone, con sus ventajas y desventajas.

La integración entre la teoría y la práctica

Antes de iniciar la segunda fase se han evidenciado avances y dificultades en la elaboración y desarrollo de modelos complejos. Entre la quinta y octava semana algunos estudiantes cancelan o cambian de curso; también ocurre normalmente que se organicen para dialogar sobre las dificultades y avances, siendo éste el momento propicio para invitar a una reflexión colectiva (antes se han hecho consideraciones individuales sobre las dificultades como parte integrante de la evaluación) que contribuye a legitimar la nueva etapa del curso.

La segunda fase, sobre las mismas temáticas, ahora se integran a un componente necesario en la caracterización epistemológica de las ciencias experimentales: la relación entre teoría y práctica, y el necesario estudio de la teoría del error (Adúriz y Morales, 2002). Ésta, ya tratada de forma aislada en la fase anterior, se da en el contexto de modelaciones de mayor complejidad (normalmente se realizan mediante variaciones de los ejemplos que los autores de los libros de texto en física hacen sobre las temáticas) que - al estar revestidos de una mayor complejidad conceptual, procedimental (no basta el algoritmo, es necesario reflexionar sobre los desarrollos que se hacen al interior del texto) y actitudinal (la poca eficiencia del trabajo bajo los esquemas tradicionales fortalece el cuestionamiento de vínculos poco participativos al interior de cada uno de los equipos de trabajo, conllevando en muchas ocasiones su reorganización) – contribuyen a demarcar también una zona de desarrollo potencial para los estudiantes.

Las actividades concretas de esta fase son:

- a) La realización de un informe escrito donde se desarrollan cinco variaciones teóricas de problemas que los autores de textos de física universitarios desarrollan de manera completa, trabajo similar al anterior (figura 4) y en el que se han identificado dos niveles de complejidad que se informan a los estudiantes: una variación de los datos sin cambiar las condiciones dinámicas iniciales (las fuerzas y masas involucradas se toman de manera idéntica); la segunda, la variación que parte de cambiar las condiciones dinámicas (configuración de masas y fuerzas), lo que implica seguir de forma coherente las consecuencias que traen tales cambios. Los estudiantes saben que la valoración de los dos niveles es igual; la información sobre los niveles de complejidad tiene la intención de incitar a los estudiantes a probar su propio aprendizaje y aumentar los procesos de organización y

autoconfianza en sí mismos. Además, en esta actividad se deja a un lado el trabajo aislado con dos situaciones específicas y únicas para ampliarse a situaciones diversas que se encuentran en los textos (ascensores, automóviles, poleas, sistemas de poleas) y aquellos que los estudiantes quieran proponer.

- b) La realización de práctica experimental a partir de uno de los problemas considerados en el informe teórico. Para este se debe realizar el montaje experimental, formulando una pregunta (igual a la teórica) que debe solucionarse desde la práctica. Al finalizar se debe obtener una gráfica que relacione las variables relevantes que se encuentran comprometidas en la pregunta formulada.

En el informe final de la práctica de laboratorio se debe socializar ante todo el curso sustentando los siguientes aspectos: en lo teórico) diagrama de cuerpo libre y ecuaciones, pregunta, organización de los datos, conclusiones y defensa, materiales de apoyo para realizar la presentación (cartelera, acetatos, presentaciones virtuales); en lo práctico) diagrama de cuerpo libre y ecuaciones de movimiento en el montaje experimental, pregunta y viabilidad de su desarrollo experimental, datos experimentales y análisis, conclusiones y defensa, material de apoyo (maqueta, registros de vídeo, entre otros). El propósito es que los estudiantes sean conscientes de las decisiones que toman en el proceso de modelación teórico y experimental, lo que será fundamental en el análisis del comportamiento de los datos. La tarea más compleja se da cuando se deben confrontar las gráficas teórica y experimental y revisar si su comportamiento es o no analógico; en este punto la teoría del error permite valorar su correspondencia, lo que supone de parte de los estudiantes elaborar argumentaciones en las que deben dar el lugar que corresponda a los componentes teóricos y prácticos, tarea que normalmente es la más compleja para los estudiantes.

El desarrollo de un problema de investigación escolar y el reporte de los resultados a través de un artículo de investigación

La mayor complejidad de la fase anterior los prepara para formular una pregunta de investigación escolar que, cayendo en el ámbito de los contenidos del curso, responda a los intereses de los estudiantes (en equipos de tres a cuatro personas máximo) y su afinidad con la orientación profesional del programa (ingeniería de sistemas y/o civil). En este punto los requerimientos a los estudiantes son de una alta complejidad; aunque el profesor ejerce como coordinador de los procesos, los estudiantes desarrollan una investigación escolar en la que deben definir los fines, el método, los aspectos teóricos a considerar, los interrogantes básicos del proyecto, el desarrollo de informes y, por último, la socialización pública de los resultados (ante los compañeros del curso y profesores expertos en la ingeniería de interés). Entre los diversos ejemplos que se tienen en archivo podemos citar los siguientes:



Figura 5. Fotografías de flujos reales en horas pico tomadas por los estudiantes. Fuente: Archivos del autor.

- a) Un estudio orientado a valorar la calidad del tránsito en uno de los cruces de la ciudad de Ibagué, el cual desarrolla un enfoque cinemático del movimiento de los automóviles como partículas, que hizo posible definir trayectos posibles (figura 6) a partir de registros fotográficos (figura 5) y que, a partir de las ecuaciones de movimiento, permitió comparar la combinación de los flujos para concluir teóricamente que la posibilidad de colisión es baja; lo que no coincide con lo que ocurre en la realidad, sosteniendo los autores que se debe a la excesiva simplificación que hicieron del modelo teórico.

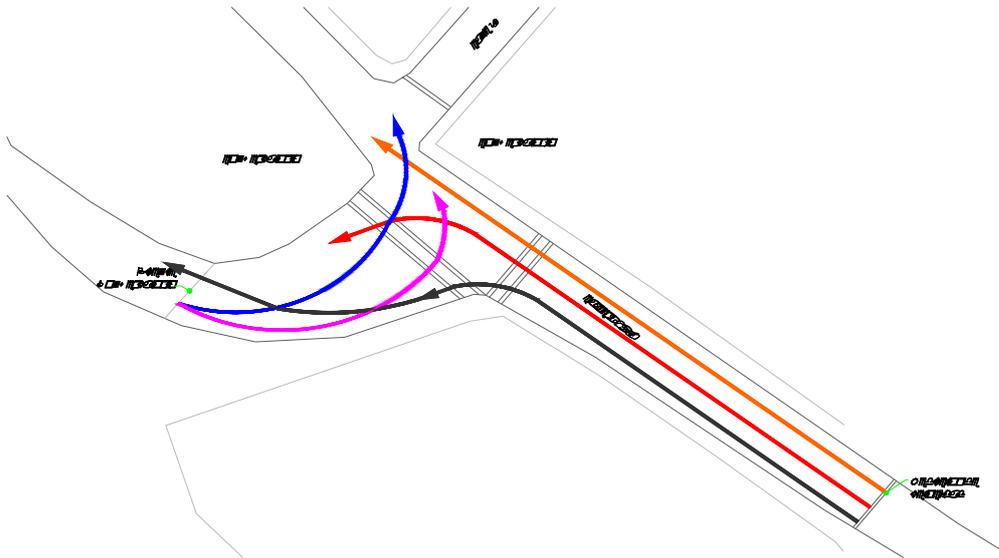


Figura 6. Diagrama de posibles trayectos elaborado por los estudiantes. Fuente. Archivos del autor.

- b) Un estudio desarrollado por estudiantes de Ingeniería de Sistemas, orientado a apoyar los procesos de cálculo en la medición de las incertezas y que sirve en la actualidad como apoyo en la realización de la segunda práctica de laboratorio a través de nuevas versiones informáticas desarrolladas por estudiantes de ingeniería de sistemas. A continuación puede apreciarse el pantallazo inicial del programa (figura 8):



Figura 7. Pantallazo en el que el programa le solicita al usuario que digite la primera medida. Fuente: Archivos del autor.

- c) Un estudio de la fluidez peatonal que desde la perspectiva sistémica busca identificar los elementos que la obstaculizan en una calle de la ciudad con bastante tránsito y vendedores ambulantes. Los resultados llevan a concluir que el peatón está gastando aproximadamente el doble del tiempo que requiere cuando la calle se encuentra libre (tabla 3), debido en gran parte a la ocupación que los vendedores hacen del espacio público.

TIEMPO TOMADO	CALLE DESPEJADA	HORA PICO
1.	1.30 min	2.15 min
2.	1.20 min	2.20 min
3.	1.25 min	2.18 min
4.	1.27 min	2.14 min
5.	1.14 min	2.17 min
PROMEDIO	1.23 min	2.16 min
TIEMPO PERDIDO POR EL PEATON ES LA DIFERENCIA DE LOS DOS PROMEDIOS OBTENIDOS= 1.33 min		

Tabla 3. Tiempo requerido por los peatones para atravesar la calle despejada cuando se encuentra libre y en horas de gran congestión. Fuente: Archivos del autor.

Las temáticas han incluido estudios diversos, con las naturales limitaciones propias a un primer semestre universitario, como: cálculo de distancia mínima de colisión en vías indebidamente señalizadas, determinación de tiempos de colisión en cruces de la ciudad, estudio del comportamiento de los peatones, estudio de sistemas mecánicos (ascensores, martillos hidráulicos para romper concreto), estudio de fenómenos geológicos y eco-sistémicos (volcamiento de taludes de tierra, tectónica de placas, propagación de sismos y requerimientos regionales para la construcción, p.e.), mejora del programa de teoría del error, causas de las demoras en los tiempos de recorrido de rutas de buses municipales, análisis sistémico del tránsito del centro de la ciudad y determinación de subsistemas con dificultades, la semaforización de la ciudad y mejora de los flujos de tránsito, entre otros.

Habida cuenta de todo lo anterior, la mayoría de los estudiantes que han permanecido en el curso ingresan en una experiencia de mayor complejidad (expresada en actitudes comprometidas hacia el curso, procedimientos mayor complejidad y elaboraciones conceptuales con mayores niveles de elaboración) [80%-90%]. En este momento evolutivo, los estudiantes que se preocupan por la "calificación" son una minoría [10%-20%], el resto se encuentra más preocupado por el desarrollo de la problemática de investigación; aun en estas condiciones ha sido factible encontrar con cierta frecuencia estudiantes que se excusan por no haber realizado su mayor esfuerzo. Es notoria la tendencia a que los estudiantes recién salidos de las instituciones de educación media (alrededor de 16 a 18 años de edad) se les dificulte más este tipo de procesos que a otras personas ya mayores por diversos factores posibles (claridad en la elección del programa de estudio, desarrollo adolescente y búsqueda de pareja en la Universidad, actitudes negativas hacia las situaciones que exigen esfuerzo).

Respecto a la parte final del curso, los estudiantes deben presentar un artículo de investigación escrito y la socialización pública, como las dos únicas actividades del examen final, logrando superar el examen tradicional escrito que ya no es necesario para esta fase. El artículo se debe realizar alrededor de una problemática que tenga relación con la ingeniería que realizan los estudiantes (civil o sistemas) y debe integrar varios de los conceptos centrales que se han visto en el curso (cinemática y dinámica). Sobre la complejidad de los resultados, se han alcanzado diversos niveles: los que siguen un método prototípico de trabajo hasta los que se atreven a formular sus propios desarrollos. Este documento es valorado por el autor y los estudiantes en sesiones de varios minutos (se distribuyen citas con todos los grupos de trabajo) durante cuatro a seis semanas, logrando y evaluando avances periódicos que contendrá el documento y luego la formalización final de dicho escrito. Todos los desarrollos anteriores que se han realizado (mapas conceptuales y demás) pueden ser incluidos en este trabajo final. El artículo escrito se asesora usando los componentes e indicadores (tabla 2) y entendiendo que este tipo de documento permite integrar

todos estos elementos, ya conocidos prácticamente por todo el curso; su valoración final se hace por parte del profesor. En la socialización del trabajo se aplica la evaluación por pares externos (dos profesores del programa que tienen cursos en semestres superiores) quienes valoran la presentación de acuerdo con los componentes e indicadores (tabla 2). A cada grupo de estudiantes, vía correo electrónico, con la calificación se les hace llegar una valoración completa del artículo (conceptos cualitativos y cuantitativos) y la socialización pública (indicadores y valores cuantitativos), como una forma de retroalimentar la mejora de los mismos.

Consideraciones finales

La caracterización y sistematización de la evolución de esta experiencia, basado en la alta funcionalidad que se predica a la luz de las diferentes fases del curso, muestra que la hipótesis de gradualidad (de naturaleza teórico-práctica) - relacionada con generar una continuidad entre las formas que han aprendido los estudiantes respecto al MIE como referencia - tiene sentido como principio de intervención fundamentada de la práctica. *Esta evolución remite a estructuras de la legitimación, donde la inclusión de los estudiantes como actores principales - siendo el profesor un motivador intencional y consciente de la transformación del sistema- aula (García, 2000) - es necesaria para concretar de manera gradual un trabajo colectivo caracterizado por el trabajo de investigación escolar. En consecuencia, la concreción de una opción investigativa tiene mayor posibilidad con la reflexión y el compromiso consciente de los actores del sistema-aula que lo hacen posible como práctica social.*

La hipótesis de gradualidad recoge de manera concreta tres fases que se corresponden con tres niveles de complejización en el conocimiento del curso. Didácticamente, al interior de cada uno de estos niveles es posible destacar actuaciones en el marco de los procesos de enseñanza-aprendizaje específicas que han sido referenciadas por otros autores:

- Desde vertientes de tipo constructivista se ha considerado que el examen escrito tradicional, además de ser poco significativo en el aprendizaje, genera altos niveles de tensión en los estudiantes. En la primera fase de la hipótesis de gradualidad se obtienen dos vivencias divergentes en el mismo curso: entre el aprendizaje memorístico al que tienden al principio, y un aprendizaje más significativo que se propone desde la enseñanza. La experiencia del examen con una orientación fuerte hacia la modelación ha permitido comprobar que pedir a los estudiantes que respondan exámenes individuales (con posibilidad de acceso a los apuntes y demás reflexiones personales, incluida la conexión a Internet si se dispone de los recursos para hacerlo en clase) permite una interacción dialógica mediante la cual ellos hacen explícitas su experiencia afectiva y cognitiva (revisión de sus principios de aprendizaje, toma de apuntes, selección de la información valiosa, sentimiento de incapacidad a pesar de contar con todos los recursos), espacio en el que la propuesta de enseñanza puede entrar a legitimarse con los estudiantes. Esta acción específica ha sido bastante potente, pero desde la perspectiva de la investigación hace evidente algo que ahora parece lógico: hace muchos años sabemos en investigación que el examen escrito tradicional no aporta mucho en la calidad del aprendizaje de los estudiantes, como acto seguido transformamos las clases y creemos que esto será suficiente para que los estudiantes nos comprendan. Como alternativa, en este trabajo se pone de manifiesto que hacer que el estudiante reviva esta experiencia, la haga explícita y empiece a encontrar ventajas (desventajas) frente a la propuesta de enseñanza que llevamos a clase ha sido uno de los movilizadores potentes que explica que sea posible construir socialmente una segunda fase de trabajo de mayor complejidad.
- En la segunda fase la inclusión de la tecnología (representación en maquetas, modelos tecnológicos experimentales) han sido claves para superar visiones ingenuas en el desarrollo

de la física (Fernández y otros, 2003), configurándose una situación de integración entre teoría y práctica en el marco de la teoría del error. Este curso de la acción, a la par de los procesos de socialización hace posible que se logren consensos sobre aspectos neurálgicos en ciencias: la medida y los instrumentos, la diferencia entre modelos tecnológicos y conceptuales, la transferencia a otro tipo de situaciones similares, la posibilidad de incluir las nuevas tecnologías de la información y la comunicación como soportes para modelar problemas diversos.

- La tercera fase ha ganado un alto grado de legitimidad, pues la propuesta de modelar situaciones sobre el mundo que rodea a los estudiantes parece compleja, pero generalmente es bien recibida. En este punto la construcción de un artículo de investigación escolar (ajustado al nivel de desarrollo de los estudiantes) ha mostrado ser un tipo de texto bastante potente, pues permite la selección de casos particulares en los que necesariamente se debe modelar físicamente, reconocer una realidad particular que debe ser acotada desde esta perspectiva, integrar conocimientos provenientes de otras disciplinas y fuentes de información, mejora de los procesos de argumentación, donde de hecho se integran de manera “natural” y concreta todos los indicadores de la tabla 2. Opción didáctica que se identifica en este nivel, poco posible en los anteriores, con una forma alternativa de configurar en la práctica de enseñanza-aprendizaje la hipótesis de integración del conocimiento escolar (García, 1998), superando la propuesta de transposición didáctica desde un saber sabio. Una variante fundamental en la formación de ciudadanos - de ingenieros en este caso - con un pensamiento complejo que estén en capacidad de contribuir a la solución de los problemas socio-ambientales planetarios, cada vez más acuciantes.

Referencias

- Acevedo, J. (2002). *Tres criterios para diferenciar entre Ciencia y tecnología*. Disponible en: <http://www.oei.es/salactsi/acevedo12.htm>
- Adúriz-Bravo, A.; Morales, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la física – consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. *Caderno Brasileiro do Ensino de Física*, 19(1), pp. 79-91.
- Ballenilla, F. (2001). *Grafos de itinerarios didácticos: una forma alternativa de presentación de materiales curriculares para los profesores/as innovadores/as*. Revista Kikiriki, 61, 67-72
- Ballenilla, F. (2003). *El practicum en la Formación Inicial del Profesorado de Ciencias de Enseñanza Secundaria. Estudio de caso*. Tesis Doctoral. Sevilla: Departamento en Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universidad de Sevilla. Publicada por el Proyecto IRES (España), año 2003. Disponible en: http://www.redires.net/Tercera_web_IRES/tesis.htm
- Candela, A. (2001). *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. Paidós: México. 1ª edición en el año 1999.
- Cañal de León, P. (1999). *Investigación Escolar y estrategias de enseñanza por investigación*. Revista Investigación en la Escuela, 38, 15-36.
- Clará, M.; Mauri, T. (2010). *El conocimiento práctico. Cuatro conceptualizaciones constructivistas de las relaciones entre conocimiento teórico y práctica educativa*. Revista Infancia y Aprendizaje, 33(2), 131-141.
- Covián, E.; Celemin, M. (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*. Revista Enseñanza de las Ciencias, 26(1), 23-42.
- Duque, M.; Gauthier, A.; Gómez, R.; Loguerrero, J.; Pinilla, A.; Aubad, R.; López, H. (1999). *Formación de ingenieros para la innovación y el desarrollo tecnológico en Colombia*. Revista DYNA, 128.

- Fernández, I.; Gil, D.; Vilches, A.; Valdés, P.; Cachapuz, A.; Praia, J.; Salinas, J. (2003). *El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Volumen 2, número especial.
- García, F.F. (2000a). *Los modelos didácticos como instrumento de análisis y de intervención en la realidad educativa*. Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, 207. Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/b3w-207.htm>
- García, J.E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. DÍADA: Sevilla (España).
- García, J.E. (2000b). *Fundamentos para la construcción de un modelo sistémico del aula*. En *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*. Porlán, Rafael; García, José Eduardo; Cañal, Pedro (Compiladores). Díada: Sevilla.
- García-Carmona, A. (2009). *La Investigación-Acción para la enseñanza de la física: un escenario idóneo para la formación y el desarrollo profesional del profesorado*. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 3, No. 2. Disponible en <http://www.journal.lapen.org.mx>
- Kemmis, S.; McTaggart, R. (1982). *The Action Research Planner*. Victoria: Deakin University Press.
- Moreira, M.A. (2002). *Investigación en Educación en Ciencias: Métodos Cualitativos*. Texto de apoyo n° 14 del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos (España).
- Porlán, R.; Rivero, A. (1997). *Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos*. Revista Enseñanza de las ciencias, 15(2), 155-173.
- Porlán, R.; Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores. Una propuesta formativa en el área de ciencias*. Sevilla: Díada.
- Ramírez, J.F. (2006a). *Física 1 para Ingeniería Civil: Propuesta y Experiencia Didáctica*. Revista Memorias de Investigación, No. 8. ISSN: 0124-4369.
- Ramírez, J.F. (2006b). *Didáctica de la física con sentido regional*. Comunicación presentada en el Tercer Congreso Nacional en Enseñanza de la Física, Ibagué, noviembre.
- Ramírez, J.F. (2006c). *Hipótesis de progresión para el desarrollo sostenible: Fundamentos y algunas consecuencias*. Tercer encuentro Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Población organizado por el grupo de investigación EUMED.NET de la Universidad de Málaga (España). ISBN 84-689-7262-2.
- Tapias, H. (1999). *Un ingeniero para el futuro de Colombia*. Revista Ciencia y Tecnología, Colciencias, 17(2). Disponible en: http://ingenieria.udea.edu.co/producciones/Heberto_t/el_futuro_ingeniero.html

Webgrafía

- Franco García, A. *Física con ordenador*. Curso Interactivo de Física. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es>
- Gil, S.; Rodríguez, E. *Física re-Creativa*. Disponible en www.fisicarecreativa.com Documento *La Teoría de Errores - Incertezas de medición* se puede descargar de la dirección http://cms.iafe.uba.ar/carmen/docencia/labo_2.pdf

Recebido em: 04.10.10

Aceito em: 14.08.12