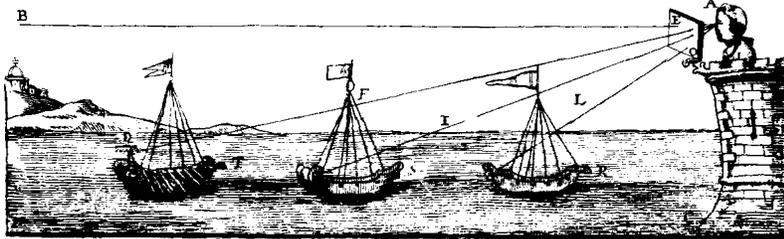


# INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



---

## HACIA UN MODELO INTEGRADOR PARA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

**DE CUDMANI, LEONOR C., PESA, MARTA A. y SALINAS, JULIA**  
Departamento de Física. FCEyT. Universidad Nacional de Tucumán.  
Av. Independencia, 1800. 4000 Tucumán, Argentina.

---

### SUMMARY

The changes in the conceptual field have earned an outstanding attention in educational research. The methodological and axiological fields have been retrieved in successive stages where the process has become more complex, even creating highly hierarchical models favouring one or another of these areas. In this work we outline, besides the ones already mentioned, the importance of the ontological, epistemological and social aspects. The results herein presented constitute empirical evidence favouring a learning model integrating both conceptual and non-conceptual aspects of sciences. They also provide background allowing to delve deeper and be more precise in such a model.

---

### INTRODUCCIÓN

Un modelo muy usado y difundido en la última década dentro de las concepciones constructivistas del aprendi-

zaje de las ciencias ha sido el de «cambio conceptual» (Posner et al., 1982). Este modelo tiene como supuesto

implícito la idea que, en los aprendizajes significativos, los cambios conceptuales van acompañados de cambios simultáneos en los campos axiológicos, metodológicos y ontológicos. Esta concepción está basada en las epistemologías de Kuhn y Lakatos.

Durante la década de los ochenta, la investigación educativa destinó atención preferencial a la detección e identificación de las ideas propias de los estudiantes sobre contenidos específicos. Algunos trabajos mostraron que esas ideas persistían, aún *a posteriori* de una instrucción basada en modelos de cambio conceptual (Engel y Driver, 1986; Shuell, 1987; White y Gunstone, 1989). Estos resultados fortalecían una hipótesis alternativa según la cual los aspectos no conceptuales tales como estrategias cognoscitivas, actitudes y valoraciones (Bloom et al., 1975), concepciones epistemológicas tienen influencia significativa sobre el aprendizaje de las ciencias.

Algunos autores (Duschl y Gitomer, 1991; Villani, 1992) propusieron la epistemología de Laudan como alternativa a las de Kuhn y Lakatos.

Las teorías epistemológicas, como las citadas de Kuhn, Lakatos y Laudan, procuran explicar e interpretar los procesos mediante los cuales la comunidad científica convalida sus teorías y modelos. En las últimas décadas, en la investigación educativa en ciencias, se ha considerado fructífero establecer analogías entre estos procesos de cambio científico y los modelos que interpretan los cambios que se dan en el aprendizaje de la ciencia. Modelos de aprendizaje que se basan en este tipo de analogías son coherentes con la aspiración de aproximar el aprendizaje de la ciencia al quehacer de los científicos.

Laudan (1986, p. 62) propone un modelo reticular, no jerárquico: sostiene que un cambio en uno de los campos no necesariamente resulta en un cambio holístico que abarque todas las áreas de la estructura cognoscitiva. «Donde el modelo reticular difiere fundamentalmente del jerárquico es en la insistencia de que hay un proceso complejo de ajuste mutuo y justificación mutua que ocurre entre todos los niveles de los compromisos científicos. Las justificaciones fluyen tanto hacia abajo como hacia arriba en la jerarquía, estableciendo lazos entre propósitos, métodos y afirmaciones factuales. No deberíamos seguir considerando ninguno de estos niveles como privilegiado, o primario, o más importante que los otros. Demandas axiológicas, metodológicas y factuales están inevitablemente interconectadas en relaciones de mutua dependencia. El orden implícito en la aproximación jerárquica debe dar lugar a una clase de principio nivelador que enfatiza los patrones de dependencia mutua entre estos varios niveles.»

Para Laudan, los objetivos y valores que definen el campo actitudinal justifican las metodologías. Estas metodologías justifican la teoría y muestran la factibilidad de los objetivos científicos. Por su parte, la teoría debe armonizar con los objetivos y restringir las metodologías eficientes. Esta dependencia mutua posibilita que

los cambios puedan iniciarse en cualquiera de los niveles y extenderse a los otros. En particular, es posible que los científicos puedan alterar compromisos teóricos sin modificar compromisos metodológicos y axiológicos desarrollados desde una estructura previa.

En la investigación educativa en ciencias, estas aportaciones de Laudan convergen con otras que vienen insistiendo sobre la necesidad de integrar contenidos, métodos, objetivos y valoraciones a fin de favorecer aprendizajes más significativos (Gil y Carrascosa, 1985 y 1990; Duschl y Gitomer, 1991; Salinas, 1991 y 1994a; Gil, 1993; Cudmani, Salinas, Pesa, 1994; Salinas, Gil y Cudmani, 1995).

Al reflexionar sobre las relaciones entre los contenidos y los aspectos psicológicos del aprendizaje, Pozo (1987, p. 110) señala que los estudios «se han centrado muchas veces en una sola idea o concepto aislado, identificando ideas precientíficas o alternativas, dejando de lado estudios psicológicos que se ocuparon más de la estructura y organización de los conocimientos y de los modos de razonamiento de expertos y principiantes. Por su parte, este énfasis en las investigaciones psicológicas se hizo en desmedro de los contenidos: como máximo se asume una posición débil con respecto a la influencia del contenido según la cual éste influiría en la facilidad o disponibilidad de aplicación de un proceso o de un conocimiento en un dominio dado [...] La investigación psicológica está carente de un modelo integrador que le permita abordar los problemas de contenido.»

En publicaciones recientes (Strike y Posner, 1991; Moreira, 1994), los propios generadores del modelo de cambio conceptual han señalado sus limitaciones, al admitir que el cambio conceptual no implica necesariamente cambios simultáneos, o por añadidura, de los otros campos. Reflexionando sobre la necesidad de modificar el modelo, destacan lo siguiente: «Nuestra visión del cambio conceptual debe ser más dinámica y desarrollista, enfatizando los patrones de cambio, de influencia mutua entre los varios componentes de una ecología conceptual en evolución.» (p. 156) En el mismo artículo analizan la interacción de las visiones epistemológicas de los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos físicos.

El cambio de paradigma pareciera requerir entonces acciones intencionales orientadas a producir «re-estructuraciones» en los distintos componentes del sistema cognoscitivo.

Conscientes de esta problemática, fuimos señalando la necesidad de integrar, en las estrategias docentes, elementos que no se limiten a lo conceptual.

Así, profundizamos en los peligros de dicotomizar métodos y contenidos (Salinas, 1991; Salinas y Cudmani, 1994a), conceptualizaciones y formas de razonamiento con que se las construye (Salinas, Cudmani y Pesa, 1993; Salinas, 1994b; Pesa, Cudmani y Bravo, 1995a, 1995b), métodos y concepciones epistemológicas (Cudmani, 1992; Salinas y Cudmani, 1994b; Salinas, Cudmani y Jaén,

1995), y destacamos la importancia de los fines y valoraciones (Cudmani, Salinas y Pesa, 1991).

Los resultados presentados en estos trabajos constituyen, a nuestro entender, evidencia empírica a favor de un modelo de aprendizaje integrador de aspectos conceptuales y no conceptuales de las ciencias. Al mismo tiempo, brindan elementos de juicio que permiten profundizar y precisar más dicho modelo.

En los ítems que siguen, consideraremos aspectos característicos del modelo. Los apartados siguientes serán destinados a informar sobre algunos de los resultados experimentales obtenidos. Finalmente, en las conclusiones, sugeriremos implicancias para la práctica docente que surgen de dicho modelo.

### **LAS INTERDEPENDENCIAS ENTRE ASPECTOS CONCEPTUALES Y NO CONCEPTUALES EN EL APRENDIZAJE DE CIENCIAS FACTICAS**

En un modelo integrador para el aprendizaje de las ciencias como el que orienta nuestros trabajos, no tiene sentido separar entre sí el *hacer*, el *saber* y el *sentir* (Hodson, 1993; Novak, 1981; Moreira, 1993). Por el contrario, se enfatiza la importancia de las interrelaciones entre estos tres ámbitos.

Así, por ejemplo, es preciso reconocer que la capacidad para usar eficientemente los procesos científicos depende de la comprensión teórica, que el aprendizaje de destrezas de procedimiento es inseparable del aprendizaje conceptual (Hodson, 1992). Aprender a observar significa adquirir un esquema conceptual en el que las observaciones puedan ser hechas y merezcan ser hechas. Un esquema teórico apropiado permite observar correctamente. Lo mismo ocurre con otros procesos o destrezas, tales como clasificar, medir, formular hipótesis, etc. Para que estos procesos sean científicos, es preciso utilizarlos en el marco de contenidos científicamente significativos, relevantes y apropiados, y con propósitos científicos (Salinas, 1994a).

Así como no corresponde separar el conocimiento de la acción, tampoco parece adecuado separar éstos –conocimientos y acciones– de las valoraciones. Debe advertirse, por ejemplo, que «el logro de una mentalidad abierta y comprometida» incluye la consideración de alternativas, el análisis de inconsistencias y ambigüedades, etc.; o que la experimentación requiere de compromiso y perseverancia (Hodson, 1993).

Si las metas del estudiante no son coherentes con las de la actividad científica, se dificultará el aprendizaje significativo de la ciencia y el estudiante no hará uso adecuado del saber científico cuando se enfrente a situaciones problemáticas (Cudmani y Pesa, 1990). Se ha señalado que, como las metas escolares generalmente difieren de las metas existentes en la actividad cotidiana, se reduce la posibilidad de activación del conocimiento

científico fuera del aula (Villani, 1992)... y también *dentro del aula*, cabría añadir, si no se favorece una adecuada comprensión de los aspectos axiológicos del saber científico.

En lo que respecta a los factores epistemológicos que intervienen en las estructuras cognoscitivas de los estudiantes, se señala que existe una armonía entre los contenidos y las epistemologías subyacentes, y que no es posible construir conocimientos científicos al margen de una adecuada epistemología de la ciencia (Aikenhead, 1992; Cudmani y Pesa, 1995).

Para cambiar las concepciones espontáneas no científicas es necesario alterar sus fuentes; algunos autores informan sobre correlaciones significativas entre un aumento en el conocimiento de la disciplina y un aumento en la visión de la ciencia como objetiva, racional y fáctica (Strike y Posner, 1991). Las epistemologías ocultas aparecen como una variable significativa en el aprendizaje de las ciencias (White y Gunstone, 1989).

Con un enfoque similar, y retomando ideas de Schwab (1968), Duschl (1995, p. 849) propone «hacer de la enseñanza de la ciencia una reflexión sobre el proceso de investigación». Aparece así la dimensión social: «los debates, las normas de argumentación, el repaso detallado, las presentaciones y revisiones de ideas científicas son prácticas científicas que ayudarán a los estudiantes a aprender el lenguaje y las normas de la ciencia como una manera de conocer».

En efecto, el tratamiento colectivo de las cuestiones es esencial si se pretende aproximar el aprendizaje de las ciencias a la labor de los científicos (Gil et al., 1991). La ciencia se construye a través de argumentaciones: el intercambio de ideas, la crítica y el consenso cimentan la racionalidad científica. En el aula, con la orientación del profesor, los estudiantes pueden incorporarse a presentaciones y debates colectivos que requieran de capacidad para exponer y defender argumentaciones con criterios científicos (Aikenhead, 1992).

Otros investigadores han señalado que, si bien las concepciones alternativas son construcciones espontáneas y personales, se construyen en un contexto social que induce y favorece ciertos tipos de ideas a través del intercambio dialéctico de perspectivas y significados entre los individuos. Quiroga (1985, p. 19) explica que «somos esencialmente no sólo seres sociales sino sujetos cognoscentes. Y somos también en cada aquí y ahora el punto de llegada de una historia social y vincular que puede ser caracterizada como una trayectoria de aprendizajes. En esa trayectoria hemos ido construyendo un modelo interno o matriz de encuentros con lo real: hemos ido aprendiendo a aprender [...] En cada experiencia puede haber un aprendizaje explícito que se objetiva y condensa en un contenido o una habilidad [...] pero la experiencia en la que se realiza ese aprendizaje explícito es a la vez fuente de aprendizaje. Esa experiencia deja en nosotros una huella, se inscribe en nosotros... es un aprendizaje implícito, profundo,

estructurante de la subjetividad [...] Cada acto de conocimiento es el eslabón de una cadena, es la fase de un proceso en el que cada uno configura una actitud de aprendizaje [...] un modelo o matriz de contacto con el mundo [...]

Se ha alertado sobre el hecho de que las ideas opuestas no son necesariamente incompatibles en la estructura cognoscitiva espontánea de los estudiantes, porque en el conocimiento común no se imponen al conocimiento los fuertes requerimientos de coherencia interna que caracterizan el saber científico. Se hace, por lo tanto, imprescindible un proceso de reflexión metacognoscitiva explícita con los estudiantes, vale decir una reflexión sobre sus propios saberes y sus modos de producción (Cudmani, Salinas y Jaén, 1991).

Esta reflexión metacognoscitiva permitiría delimitar los propósitos y características de los conocimientos común y científico y sería una condición determinante para un real cambio de paradigma, para la resolución de un conflicto entre ideas espontáneas y concepciones científicas (Hewson y Thorley, 1989).

A fin de englobar todos estos factores, algunos autores proponen concebir el sistema cognoscitivo «como un sistema de autoreferencia que se desarrolla a sí mismo por su propia dinámica y por interacción con otros sistemas tales como los sistemas de conocimiento de los profesores y científicos o el sistema de acciones individuales» (Niedderer y Schecker, 1991, p. 85). Los aportes de Vigotsky (1979, p. 133) permiten incorporar a los otros estudiantes como factores externos importantes para el desarrollo del sistema cognoscitivo de un alumno: «En el desarrollo cultural del individuo, toda función aparece dos veces: primero entre personas (interpsicológica) y después en el interior del propio individuo (intrapicológica) [...] Todas las funciones superiores se originan como relaciones entre seres humanos.»

En síntesis, por *sistema cognoscitivo* de un aprendiz, entendemos el conjunto de representaciones de la realidad y de instrumentos intelectuales que hacen posible la construcción de esas representaciones que posee dicho aprendiz. En otras palabras, es el conjunto de conocimientos conceptuales y de nociones ontológicas, epistemológicas, metodológicas y axiológicas, que el aprendiz construye a través de –y emplea en– sus interacciones con los fenómenos naturales y con otros individuos» (Cudmani, Salinas y Pesa, 1994; Salinas y Cudmani, 1994b).

### **LAS ESTRUCTURAS SUSTANCIAL Y SINTÁCTICA, ASPECTOS INDISOLUBLES DEL SISTEMA COGNOSCITIVO**

El aprendizaje de las ciencias no debería limitarse a realizar cambios hacia paradigmas preestablecidos y seleccionados por el docente, sino que se tendrían que intentar encontrar estrategias que facilitasen al estudiante modificar sus paradigmas, sus esquemas interpretativos, en forma autónoma, autogenerada, cada vez que lo

requiriera la situación problemática (Cudmani, Salinas y Pesa, 1991).

En esta concepción, el paradigma engloba tanto *las estructuras sustanciales* de las ciencias como sus *estructuras sintácticas*, que no deben ser interpretados como a estructuras independientes sino como aspectos que se diferencian sólo a los fines del análisis. Estas categorías propuestas por Schwab (1968) reemplazan las tradicionales de concepciones y metodologías desde una visión muy enriquecedora.

En efecto, el concepto de *estructura sustancial* no es sinónimo de *estructura conceptual*. Aquél engloba no sólo los conceptos, sino también las *concepciones en el nivel óptico* que implícita o explícitamente sustentan las ideas sobre los fenómenos naturales. Así, por ejemplo, el realismo subyacente a las concepciones de la mecánica clásica tiene características diferentes del realismo de la física del sentido común o de la física de partículas elementales. Podríamos decir que el realismo de la física del sentido común es más un fenomenismo, pues en él interesa fundamentalmente tratar con lo que se presenta por sí mismo a nuestra sensibilidad. En la mecánica clásica, el realismo presupone que la realidad es cognoscible, no considera la experiencia como una instancia última y estimula la invención de teorías que rebasan los datos experienciales e inventan objetos trasobservacionales (Bunge, 1985). En el ámbito de las partículas elementales, el realismo se enfrenta a nuevos dilemas, acallados durante décadas de predominio positivista, tales como: *a) ¿existe una realidad independiente del observador?*; *b) ¿las leyes y teorías científicas obedecen a regularidades objetivas de la naturaleza, o son impuestas a ésta por la mente ordenadora de los seres humanos?* Recuérdense, a modo de ejemplos, el espacio-tiempo cuadrimensional de la mecánica relativista o las nociones de *causalidad*, *probabilidad* y *determinismo* en la mecánica cuántica.

Después de haber conocido los trabajos de Pauli, Born (1985, p. 37), le escribía expresándole la necesidad de un cambio en el nivel óptico: «La solución de todas las dificultades cuánticas ha de buscarse desde un punto de vista básicamente nuevo: los conceptos de *espacio* y de *tiempo*, concebidos como un continuo cuadrimensional, no pueden transferirse del mundo macroscópico de nuestra experiencia al mundo de los átomos. Esto requiere, sin duda, como representación adecuada otro tipo de variedad numérica [...]

Más recientemente, Bunge (1981, p. 95) reflexiona acerca de la interpretación sobre el determinismo en la mecánica cuántica y pone de manifiesto las interpretaciones contrapuestas con la escuela de Copenhague: «Ciertamente el determinismo en que se encuadra la mecánica cuántica no es el clásico o laplaciano, sino mucho más rico. El determinismo cuántico tiene un fuerte componente estocástico (que se resume en la función de onda) y un fuerte componente causal (representado por el hamiltoniano). Este determinismo cuántico está lejos del indeterminismo radical de la escuela de Copenhague, atribuido al libre albedrío del experimentador.»

Algo similar ocurre con el concepto de *estructura sintáctica*, que trasciende a lo meramente metodológico para incorporar criterios de validación, modos de explicación e interpretación, metas, normas metodológicas, es decir, todos los elementos que confluyen en ciencia para vincular los datos brutos con las construcciones hipotético-deductivas en un proceso dialéctico en ambos sentidos.

Al reflexionar sobre la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica, Bunge (1981, p. 93) sostiene que la filosofía de esta interpretación «hace imposible subordinarla a la psicofisiología del observador humano». No basta que los enunciados de la ciencia sean empíricamente contrastables. «Copenhague alega que todos los enunciados deberían referirse a situaciones de contrastación, pues de lo contrario carecen de significado. La escuela de Copenhague confunde el referente de una teoría con su contrastación, identifica una cuestión metodológica con una semántica.» Por cierto, que esta interpretación es polémica, pero muestra elementos de la sintáctica que van más allá de la metodología.

De acuerdo con lo expresado en este ítem y en el anterior, parece claro que un cambio significativo en la estructura cognoscitiva no se agota en lo conceptual y metodológico.

De las uniones fértiles de estructuras sustanciales con estructuras sintácticas, de su interacción profunda, emergen los programas de investigación (Lakatos, 1983) capaces de generar nuevos conocimientos científicos. La separación entre estos elementos sólo tiene sentido a los fines del análisis: su síntesis es imprescindible para comprender la naturaleza de la labor y del conocimiento científico (Cudmani y Lewin, 1984; Cudmani, 1992; Salinas, 1991; Salinas y Cudmani, 1994a; Cudmani y Pesa, 1995).

Las estructuras sustanciales y sintácticas no están meramente yuxtapuestas o relacionadas, sino totalmente integradas en un sistema capaz de procesar todos estos elementos para generar el conocimiento científico. Son todos esos elementos los que deberían integrarse armónicamente en el aprendizaje de las ciencias (Cudmani, 1992; Salinas et al., 1995).

Pasaremos ahora a considerar algunos ejemplos, extraídos de trabajos en los que hemos participado. Pero antes de entrar en la ejemplificación, haremos una digresión para discriminar entre dos niveles de aprendizaje que nos parece que tienen características diferenciadoras significativas.

*El primer nivel* es el referido al proceso que lleva del conocimiento común al conocimiento científico. Como ya se viene señalando en numerosos trabajos (Viennot, 1974; Gil y Carrascosa, 1985, 1990; Hodson, 1986; Salinas, 1991, 1994a; Matthews, 1992; Gil, 1993; Pesa, Cudmani y Bravo, 1995a; Salinas, Gil y Cudmani, 1995), este cambio es cualitativamente significativo. Se trata de un nuevo modo de conocer, cuyos presupuestos epistemológicos se modifican radicalmente.

El conocimiento común, generado en la interacción con las experiencias de la vida diaria y con otros individuos, se construye en base a criterios, modos de razonar, propósitos y valoraciones que, si bien suelen ser suficientes para enfrentar las exigencias de la cotidianidad, difieren sustancialmente de la desiderata de precisión, coherencia, objetividad y sistematicidad del conocimiento científico en ciencias fácticas (Bunge, 1985).

Los numerosísimos trabajos realizados en los últimos veinte años respecto a las preconcepciones y a su resistencia y arraigo frente a las concepciones científicas muestran claramente cuán profundo es el cambio de estructura cognoscitiva necesario para pasar del conocimiento común al conocimiento científico.

*El segundo nivel*, también importante en el aprendizaje de las ciencias, es el de los cambios entre distintos paradigmas científicos, alternativos o superadores. En estos casos, los cambios epistemológicos, metodológicos y axiológicos concomitantes pueden, o no, ser tan significativos como en el primer nivel.

En efecto, pasar del paradigma galileano al newtoniano o laplaciano no plantea cambios epistemológicos, metodológicos o actitudinales demasiado significativos. Podríamos generalizar esta consideración a todo el ámbito de la física clásica.

Por lo contrario, esos cambios son importantes cuando se pasa, por ejemplo, de la mecánica clásica a la cuántica, a las concepciones probabilísticas de la física estadística, a los modelos holísticos de caos. Los docentes conocemos bien las dificultades que se plantean en el aula con el aprendizaje en estos ámbitos. También en estos casos es necesario generar cambios cualitativamente significativos en los modos de conocer: las concepciones epistemológicas y ontológicas subyacentes al conocimiento científico cambian sustancialmente.

Consideremos, por ejemplo, el principio de comprensibilidad de la naturaleza. Éste ha permanecido intacto por muchos siglos, hasta el advenimiento de la mecánica cuántica. El principio de incertidumbre, la alegada falta de conexión estrictamente causal en la naturaleza, la imposibilidad de ser un observador externo de un mundo objetivo pueden interpretarse como un abandono parcial de este principio.

Schrodinger (1951, p. 28) explica este cambio ontológico en los siguientes términos: «No podemos hacer afirmación fáctica alguna sobre un objeto natural determinado (o sistema físico) sin «acceder a su contacto». Este contacto es una interacción física real. Incluso, para que veamos un objeto, necesitamos que éste reciba el impacto de rayos de luz y los refleje hasta mi ojo o hasta algún instrumento de observación. Esto significa que la observación afecta al objeto. No es posible obtener conocimiento de un objeto si se lo mantiene aislado. La teoría afirma que esta perturbación no es irrelevante ni totalmente controlada. Es decir, tras cualquier número de cuidadosas observaciones, el objeto queda en un estado del que se conocen ciertas cosas (las últimas

observadas), pero otras (las inferidas por la última observación) no se conocen o no son conocidas con precisión. Así se explica por qué no es posible dar una descripción completa de cualquier objeto físico.»

Ahora sí, pasaremos a las ejemplificaciones.

### **EJEMPLO REFERIDO AL DIVORCIO ENTRE CONTENIDOS CONCEPTUALES Y PROCEDIMENTALES**

Los primeros ejemplos de la necesidad de integrar los cambios en los distintos ámbitos aparecieron con referencia al divorcio entre métodos y contenidos (Salinas, 1991; Salinas y Cudmani, 1994a).

La práctica docente presenta múltiples ejemplos de esta dicotomía. Los programas curriculares jerarquizan alternativamente uno u otro aspecto. Así, el modelo de transmisión-recepción enfatiza los contenidos en tanto que el de «redescubrimiento» se centra en las metodologías. La literatura abunda en críticas a ambas propuestas (Gil Pérez, 1993; Moreira, 1983).

En nuestro trabajo (Cudmani, Salinas y Jaén, 1991; Cudmani y Salinas, 1991; Cudmani, 1992) destacamos dos ejemplos:

1) El intento de basar la enseñanza de la física en la observación de lo cotidiano y las explicaciones en lo obvio y en el sentido común. Esto implica renunciar a enseñar las teorías científicas como sistemática construcción de una comunidad de especialistas. Se desvirtúa así tanto la naturaleza del proceso como la del producto de la labor científica (Gil y Carrascosa, 1990).

2) La aplicación totalmente acrítica de métodos de obtención y procesamiento de datos como si éstos tuvieran validez universal, sin el análisis del campo práctico al que va a aplicarse. Un ejemplo sería el uso indiscriminado de la teoría gaussiana para procesar errores experimentales sin hacer ningún tipo de control sobre la aleatoriedad de los datos con que se trabaja (Cudmani y Pesa, 1990). Otro, la utilización acrítica y sin control del método de variar un factor cada vez (Salinas y Sandoval, 1993).

La enseñanza de la física no debería caer en esta dicotomía. Métodos vacíos de contenido se convierten en automatismos acríticos y acientíficos. Contenidos sin metodología que los sustente se reducen a fórmulas o verbalizaciones carentes de significados claros y precisos.

### **EJEMPLO REFERIDO A LAS CONCEPCIONES EPISTEMOLÓGICAS**

En una investigación (Salinas, 1994a; Salinas y Cudmani, 1994b) hemos recabado abundante información so-

bre las concepciones epistemológicas de estudiantes de ciclos básicos de carreras de ingeniería, mediante la aplicación de diversos instrumentos. Los resultados obtenidos permitieron identificar las siguientes características sobresalientes, manifestadas por porcentajes muy importantes de alumnos:

*a)* una generalizada visión lineal, secuencial, de la investigación científica, que se concibe como un conjunto ordenado de etapas predeterminadas, separadas y sin retroalimentación;

*b)* concepciones distorsionadas del papel que juegan los experimentos en la ciencia; estas distorsiones se presentan con especial fuerza a través de dos modelos de ciencia: el empírico-inductivo y el falsacionista extremo;

*c)* escasas menciones a las situaciones problemáticas que desencadenan un proceso investigativo; la investigación científica, las leyes y las teorías aparecen mayoritariamente, o de una observación inicial «a-teórica» y «a-problemática», o de una hipótesis inicial sin objetivos y sin referentes fácticos;

*d)* una elevada incapacidad para identificar aspectos que diferencian significativamente el trabajo científico de la forma en que se piensa y actúa en la vida cotidiana frente a los fenómenos naturales.

### **EJEMPLO REFERIDO A LOS MODOS ESPONTÁNEOS DE RAZONAR Y A LAS REGLAS HEURÍSTICAS DE SENTIDO COMÚN**

Otro ámbito de investigación que muestra la unidad semántico-sintáctica en el aprendizaje de ciencias aparece cuando se trata de analizar los problemas de aprendizaje que se generan a raíz del uso de formas de razonamiento incompletas (Inhelder y Piaget, 1972). En efecto, al trabajar a partir de las ideas aportadas por los estudiantes, los investigadores y docentes están en mejores condiciones para diagnosticar tanto las estructuras de conocimiento como las técnicas de razonamiento (Duschl, 1995).

Numerosas situaciones docentes en los más diversos campos de la física (electromagnetismo, óptica, termodinámica, mecánica) parecían mostrar que, cuando los estudiantes no razonan correctamente, tampoco construyen correctamente los significados de las conceptualizaciones. Además, estos modos de razonar espontáneos parecían presentarse en distintos contenidos específicos (Pozo, 1991, Viennot, 1985 y otros trabajos del Grupo LDPES de París VII).

Los estudios (Pesa, Cudmani y Bravo, 1995a, 1995b; Salinas, Cudmani y Pesa, 1993; Pesa, 1997) nos permitieron caracterizar diversos tipos de razonamientos no científicos y reglas heurísticas de sentido común que mostraron que el aprendizaje de los conceptos no había estado acompañado por los correspondientes y necesari-

rios cambios en las metodologías, actitudes y criterios epistemológicos de la ciencia.

Algunas de las categorías de razonamientos (*op. cit.*) sistematizadas son las siguientes:

– *Razonamiento monoconceptual*: Los estudiantes suponen *a priori* y sin control que la respuesta a un problema depende siempre de una sola variable. Este razonamiento conduce a dificultades en la resolución de problemas experimentales como: discriminación de variables relevantes y evaluación de la interacción entre variables.

– *Razonamiento secuencial lineal*: La tendencia a la reducción funcional, ignorando los aspectos sistemáticos de un problema, genera en los estudiantes razonamientos *causales lineales* en los que cada modificación de una cantidad conduce a la de otra cantidad, la cual, a su vez, implica a una tercera... y así sucesivamente. Como resultado, fenómenos complejos son a menudo analizados como resultado de otros más simples. Estos fenómenos simples son considerados uno después del otro, en una cadena lineal que tiene un doble estatus: implicativo y cronológico.

– *Razonamiento irreversible*: Una consecuencia de esta manera reduccionista y direccional de pensar (Piaget, 1973) es la gran dificultad que manifiestan los estudiantes para razonar holísticamente, «centrando su análisis en cambios locales o en deducciones directas» y en los aspectos puramente algorítmicos (Cudmani, Lozano y Lewin, 1981).

– *Razonamiento inconsistente*: Las ideas alternativas reflejan a menudo nociones relativamente no diferenciadas, fuertemente dependientes del contexto (Beard, 1971). La *electricidad*, por ejemplo, es un concepto no bien definido que incorpora otras nociones como *potencia*, *corriente* y *energía* (Cudmani y Fontdevila, 1990) de un modo confuso e indiscriminado. Este carácter impreciso lleva a que los estudiantes, durante la resolución de una dada situación problemática, manejen dos o más significados diferentes para un mismo concepto, sin ser conscientes de ello.

– *Razonamiento reduccionista*: Los estudiantes atienden más a las propiedades que a las funciones de los elementos en juego en la situación problemática, sean éstos conceptuales o fácticos.

– *Razonamiento ad-hoc*: Los estudiantes elaboran una explicación para cada caso. La búsqueda de generalidad y sistematicidad (propia de un abordaje con pretensiones científicas) no es espontáneamente atendida por los estudiantes.

– *Razonamiento puramente algorítmico*: Los estudiantes emplean los formalismos matemáticos y otros símbolos representacionales despojándolos de significado físico.

Estos trabajos muestran también que la metodología intuitiva sigue una serie de reglas de carácter heurístico

(Pozo, 1991) que ayudan a los individuos en la resolución de problemas cotidianos. Señalaremos a continuación algunos ejemplos:

– *Tendencia a explicar los cambios, no los estados*. En concordancia con una tendencia habitual del conocimiento cotidiano, los estudiantes no se cuestionan sobre los estados, sólo sobre los cambios. Este comportamiento implica una importante limitación para la comprensión de concepciones fundamentales en la ciencia como son las nociones de *equilibrio* y de *conservación* en las que el análisis de los estados es de particular importancia, así como para entender la significación y la diferencia entre las variables, las constantes y los parámetros característicos de una dada teoría (Cudmani, Salinas y Pesa, 1995).

– *Lo que no se percibe no se concibe*. En la vida cotidiana, los juicios, dominados por la percepción, tienden a focalizarse en los trazos salientes de una situación material, no admitiéndose la existencia física real de los elementos no observables. Destacamos que la mayor parte de las investigaciones sobre concepciones alternativas en la óptica han estado focalizadas en este aspecto: investigar en qué medida los estudiantes logran discriminar, antes y después de la instrucción, la física de la luz de los fenómenos de la percepción visual (Pesa, Colombo y Cudmani, 1995).

– *Pensamiento egocéntrico*. En la vida cotidiana los sujetos asimilan las experiencias del mundo en general a esquemas derivados de sus propios mundos inmediatos y lo ven todo en relación consigo mismo. Este egocentrismo natural es, según Piaget (1977), el que dificulta la objetividad en los razonamientos, por las dificultades que genera en el estudiante para salirse de sí y construir una representación más objetiva de la realidad.

– *Uso frecuente del recurso de accesibilidad*. De acuerdo con esta regla, característica del pensamiento espontáneo, los alumnos tienden a atribuir a un dado efecto la causa que resulta más accesible a la memoria, o sea, la que se recupera más fácilmente (Pozo, 1991), ya sea porque es información más reciente (efecto de *recencia* en la recuperación de la información de la memoria) o porque ha dado respuestas cotidianas exitosas más frecuentemente (efecto de *recuencia*). En ambos casos, la recuperación de la información depende de la forma en que ésta es recibida y procesada. Las representaciones abstractas requieren un nivel de formalización que las hace más difícil de recuperar que las representaciones concretas. Esta característica es denominada *saliencia* de la información.

El recurso de accesibilidad ha sido detectado en investigaciones que intentaban explicar las respuestas contextualmente erróneas de los estudiantes a situaciones problemáticas referidas a la formación de imágenes virtuales cuando extrapolaban acríticamente algunos resultados obtenidos para la formación de imágenes reales (Pesa, Cudmani y Bravo, 1995b).

### EJEMPLO REFERIDO A LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS

Una tercera línea de investigación, la cual fue encarada con otros objetivos, llevó a convalidar la necesidad de este cambio integrado. Se refería al aprendizaje de concepciones sobre constantes físicas. La experiencia docente nos permitió detectar importantes fallas en la comprensión del rol y el significado del término *constante* en la construcción de las teorías científicas. Pudimos además relacionar estas fallas con carencias en el ámbito de las valoraciones, de las metodologías y de las concepciones epistemológicas (Cudmani, Salinas y Pesa, 1995).

Así, nuestras primeras hipótesis de trabajo fueron formuladas en los términos siguientes:

1) «Muchas de las dificultades de aprendizaje sobre las constantes físicas son consecuencia de una falta de reflexión epistemológica sobre el estatus de los distintos tipos de leyes en la física y sobre los límites de validez de los modelos teóricos referenciales.»

2) «El análisis de todos estos resultados parece confirmar un cambio conceptual realmente significativo que está indisolublemente ligado a cambios en la metodología (cambio metodológico), en la axiología (cambio actitudinal), en las concepciones epistemológicas (cambio epistemológico) de docentes y alumnos.»

3) «El significado que se otorga al término *constante* muestra confusiones que podrían atribuirse a que estos significados no tienen un claro contexto teórico de referencia, no se identifican con precisión con el modelo ni con sus límites de validez. No hay en general un claro análisis de los «supuestos» necesarios para que una «constante» lo sea en realidad, como tampoco está claro de qué propiedades del sistema físico que se estudia «dependen» esas constantes».

Todos estos ejemplos parecen confirmar la necesidad de focalizar la atención sobre esos campos del comportamiento a fin de producir los cambios necesarios si es que queremos que el cambio conceptual sea profundo, estable y significativo.

La otra hipótesis que se trató de convalidar en este trabajo reafirma los resultados de los otros campos de la física en lo que se refiere a formas incompletas de razonamiento, en este caso, el puramente algorítmico.

En resumen, la integración de estos campos en el aprendizaje de la ciencia es un proceso complejo y laborioso pero imprescindible para el aprendizaje. Habrá que elaborar estrategias cada vez más eficientes para conseguirlo, pero parece claro que no se logrará mediante una única panacea, o receta, que lleve rápidamente al cambio esperado.

### CONCLUSIONES

Nuestras investigaciones educativas en distintos campos de la física se han encuadrado en modelos de aprendizaje que se han ido enriqueciendo y complejizando a través de los años con el aporte de muchas fuentes y el de nuestra propia práctica (Pesa, Cudmani y Salinas, 1993). Parecía, pues, oportuno hacer un alto para formular una revisión y una explicación más o menos coherente del estado actual de la situación. Por cierto, que se trata de un campo fluido y en constante revisión, la cual no quita valor a este intento.

Como se viene sosteniendo dentro de los modelos más consensuados en este momento, la ciencia requiere, para su aprendizaje, de recursos creativos coherentes con los que intervienen en la labor de la comunidad científica que la elabora. El aprendizaje significativo de los conocimientos teóricos es indisoluble de una familiarización con objetivos, sistema de valores, criterios metodológicos, estrategias cognitivas, concepciones epistemológicas que intervienen en la construcción de dicho conocimiento.

Los cambios en el campo «conceptual» han merecido privilegiada atención en la investigación educativa. Los campos metodológicos y axiológicos se han rescatado en etapas sucesivas de complejización del proceso y se han llegado incluso a formular modelos fuertemente jerarquizados, privilegiando una u otra de estas áreas. En este trabajo se destaca, además de éstos, la importancia de los aspectos ontológicos, epistemológicos y sociales.

De acuerdo con el concepto de *tradiciones de investigación* de Laudan (1993), que él define como «un conjunto de creencias acerca de las clases de entidades y procesos que integran el dominio de la investigación y un conjunto de normas epistémicas y metodológicas acerca de cómo se debe investigar en ese dominio, cómo se deben poner a prueba las hipótesis, cómo se deben recabar los datos...», este autor también asocia esas «tradiciones», a familias de teorías, que se aplican a diferentes ámbitos en forma congruente: «lo que todo estas teorías tienen en común es que comparten la *ontología de la tradición* madre y se las puede poner a prueba y evaluar empleando sus *normas metodológicas*».

En lo que se refiere al campo social, no se puede dudar que la ciencia es un producto de una cultura, de una sociedad (Bunge, 1968; Kuhn, 1971; Laudan et al., 1986; Chalmers, 1992). Sus logros son resultados de consensos colectivos de comunidades de científicos. Por otro lado, en el aspecto social, se manifiesta también fuertemente en «la matriz de aprendizaje» del alumno, que es el resultado de un largo y complejo proceso durante el cual distintas instituciones educativas (padres, familias, escuela, medios...), mediante variados sistemas de gratificaciones y castigos, han ido generando hábitos y modos de aprender no siempre compati-

bles con los necesarios para el aprendizaje de las ciencias.

Las estrategias educativas deberían aproximar las actividades del aula a las que desarrolla la comunidad científica.

En este proceso, el saber científico, en todas sus facetas, actúa como referente permanente, ya que, aunque la construcción personal es una parte central del aprendizaje, debe tenerse siempre presente que *el conocimiento científico no es idiosincrático* (Hodson, 1988): la ciencia es una actividad colectiva y el conocimiento científico se valida por consenso. En el decir de Astolfi y Perterfalvi (1993), se trata de conciliar en las actividades una dosis de capacidad adaptativa que permita a cada estudiante poner en juego sus propias ideas y una dosis de rigidez que garantice no perder de vista el saber científico a construirse.

El profesor actúa como un experto, miembro de la comunidad científica, que orienta el trabajo de los estudiantes para que éste sea coherente con la naturaleza de la ciencia y del trabajo científico, para que los estudiantes construyan el conocimiento consensuado por la comunidad científica y para que modifiquen sus hábitos de aprendizaje transformándolos en herramientas más eficientes para el conocimiento y la investigación científica.

Los resultados obtenidos por Gunstone y White (1989), entre otros, sobre el valor de las estrategias de meta-aprendizaje que se refieren a la reflexión crítica de los estudiantes sobre sus modos de aprender son campos

prometedores para promover estos campos deseados (Cudmani, Salinas y Jaén, 1991).

Por otra parte, el modelo de cambio integrador y reticular que aquí se sostiene, al reconocer que los cambios metodológicos, de metas y fines, axiológicos y de supuestos filosóficos y sociales, no se dan en forma simultánea y *per se* con el cambio conceptual, trae como consecuencia importante el requerimiento de que el acto docente esté intencionalmente dirigido a generar las estrategias docentes, los diseños curriculares, las actividades de aprendizaje, los criterios de evaluación aptos para favorecer el cambio global que se busca en el sistema cognoscitivo.

Dejaríamos para trabajos futuros profundizar sobre la hipótesis de que los plazos en que se dan los cambios en estos distintos campos no son del mismo orden. A nuestro criterio, la historia de la ciencia parece mostrar que los cambios epistemológicos y ontológicos importantes se dan a más largo plazo que los conceptuales y metodológicos. Si esto fuera así, habría que estudiar cómo inciden estos aspectos en el aprendizaje de las ciencias.

Como hipótesis de trabajo se puede arriesgar también la idea de que los fuertes obstáculos epistemológicos que se detectan al pasar de la «física del sentido común» a la de la «física clásica» o de éstas a las concepciones cuánticas o relativistas y más recientemente a la teoría del caos podrán explicarse por los profundos cambios no sólo metodológicos y epistemológicos sino también ontológicos que estos aprendizajes implican.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKENHEAD, G.S. (1992). How to teach the epistemology and sociology of science in a historical context. *Proceedings of the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Education*. Toronto, Ontario, Canadá, vol. I, pp. 23-34.
- ASTOLFI, J. y PETERFALVI, V. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, pp. 103-141.
- BEARD, R. (1971). *Psicología evolutiva de Piaget*. Buenos Aires: Kapelusz.
- BLOOM, B., HASTINGS, J. y MADAUS, G. (1975). *Evaluación del aprendizaje*, cap. X. Buenos Aires: Troquel.
- BORN, M. (1985). *Investigación y ciencia*, p. 37 citado en «Pauli y la teoría atomística», Edición Española de Scientific America. Barcelona: Prensa Científica.
- BUNGE, M. (1968). *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo XX.
- BUNGE, M. (1981). *Ciencia de la ciencia 4. Epistemología*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1985). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- CHALMERS, A. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. Madrid: Siglo XXI.
- CUDMANI, L.C. DE (1993). Importancia del contexto en la conceptualización científica: implicancia para el aprendizaje. *Serie Investigación y Desarrollo. Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología CET*, noviembre, pp. 13-19.
- CUDMANI, L.C. DE y FONTDEVILA, P. (1990). Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 3(1), pp. 215-222.

- CUDMANI, L.C. DE y LEWIN, A.M.F. DE (1984). La epistemología y la historia de la física en la formación de los licenciados en física. *Memorias de REF IV*, pp. 1141-1154. Tucumán, Argentina.
- CUDMANI, L.C. DE y SALINAS, J. (1991). Modelo e realidade. Importancia epistemológica e sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8(3), pp. 193-203.
- CUDMANI, L.C. DE y PESA, M. (1990). El histograma, una herramienta de aprendizaje constructivista. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(1), pp. 78-92.
- CUDMANI, L.C. DE y PESA, M. (1995). La integración de saberes en la formación de formadores en física. *Boletín del Proyecto Principal de Educación en América Latina y el Caribe. UNESCO*, 44, diciembre de 1997, pp. 44-49. Chile.
- CUDMANI, L.C. DE, LOZANO, S.R. DE y LEWIN, A.M. DE (1981). El problema de aplicación como instrumento de aprendizaje operativo. *Revista Brasileira de Física*, 11(1), pp. 269-301.
- CUDMANI, L.C. DE, SALINAS, J. y PESA, M. (1991). La generación autónoma de «conflictos cognoscitivos» para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 237-242.
- CUDMANI, L.C. DE, SALINAS, J. y PESA, M. (1994). ¿El aprendizaje de las ciencias implica sólo un cambio conceptual? *Memorias del II Simposio de Investigadores en Educación en la Física*. Buenos Aires, pp. 76-80.
- CUDMANI, L.C. DE, SALINAS, J. y JAÉN, M. (1991). Relación entre modelo y realidad en la enseñanza de la física. *Congreso de Epistemología*. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán. Argentina (inédito).
- CUDMANI, L.C. DE, SALINAS, J. y PESA, M. (1995). Distintos tipos de constantes en física y aprendizaje significativo de la disciplina. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 237-248.
- DUSCHL, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1).
- DUSCHL, R. y GITOMER, D.H. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 839-858.
- ENGEL, E. y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), pp. 473-496.
- GIL PÉREZ, D. (1993). Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 197-212.
- GIL PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- GIL PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J. (1990). What to do about science «misconceptions»? *Science Education*, 74(5), pp. 531-540.
- GIL PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C., MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: ICE-Horsori.
- HEWSON, P.W. y THORLEY, R. (1989). The condition of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5), pp. 541-553.
- HODSON, D. (1986). Philosophy of science and science education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), pp. 53-66
- HODSON, D. (1988). Towards a philosophical more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1) pp. 19-40.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), pp. 541-562.
- HODSON, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, pp. 85-142.
- INHELDER, B., PIAGET, J. (1972). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós.
- KUHN, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas* México: Fondo de Cultura Económica.
- LAKATOS, Y. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- LAUDAN, L. et. al. (1986). Scientific change: philosophical models and historical research. *Synthese*, 69, pp. 62-223.
- MATTHEWS, M.R. (1992). History, philosophy and science teaching: the present rapprochement. *Science and education*, 1(1), pp. 1-47
- MOREIRA, M.A. (1993). A teoria de educação de Novak e o modelo de ensino-aprendizagem de Gowin. *Fascículos do CIEF. Série Ensino-Aprendizagem*, 4.
- MOREIRA, M. A. (1994). Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría de aprendizaje significativo de Ausubel. *Memorias del II SIEF*. Buenos Aires.
- MOREIRA, M.A. (1983). *Uma Abordagem cognitivista ao ensino da física*. Brasil: Editora da Universidade.
- NIEDERER, H. y SHECKER, H. (1991). Towards an explicit description of cognitive system for research in physics learning. *Procc. of an Int Workshop in Physics Learning*. Bremen. Alemania.
- NOVAK, J. (1981). *Uma teoria de educação*. Sao Pioneira. Traducción de Moreira, M.A., 1977. *A theory of education*, Cornell University Press.
- PESA, M. (1997). Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes. Tesis doctoral. Argentina: Departamento de Física. Universidad Nacional de Tucumán.
- PESA, M., COLOMBO, E. y CUDMANI, L.C. DE (1995). The role of vision in the optics learning process. *Procc. of the SPIE's International Symposium on Optical Science, Eng. and Instrumentation*. San Diego. Estados Unidos.
- PESA, M., CUDMANI, L.C. DE y BRAVO, S. (1995a). Formas de razonamiento asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(1), pp. 17-32.
- PESA, M., CUDMANI, L.C. DE y BRAVO, S. (1995b). De los modelos intuitivos a los modelos científicos. Un estudio referido a la comprensión de la formación de imágenes con espejos, prismas y hologramas. *Memorias de REF IX*, pp. 306-325. Salta. Argentina,
- PESA, M., CUDMANI, L.C. DE y SALINAS, J. (1993). Transferencia de resultados de la investigación educativa al aprendizaje de la óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 15(1-4), pp. 42-52.

- PIAGET, J. (1973). *Psicología de la inteligencia*. Buenos Aires: Psique.
- PIAGET, J. (1977). *A desenvolvimento do pensamento*. Lisboa: Dom Quixote.
- POSNER, G. et al. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2).
- POZO, J. (1987) ...Y sin embargo se puede enseñar ciencia. *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 109-113.
- POZO, J. (1991). Las ideas de los alumnos sobre ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 83-94.
- QUIROGA, A. (1985). *Matrices de aprendizaje. Constitución del sujeto en el proceso de conocimiento*. Buenos Aires: Ediciones Cinco.
- SALINAS, J. (1991). La unidad de método y contenido en la construcción histórica y en el aprendizaje de la física (I y II). *Memorias de la Séptima Reunión Nacional de Educación en la Física*, pp. 181-194. Mendoza. Argentina.
- SALINAS, J. (1994a). Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios. *Tesis doctoral*. Universidad de Valencia.
- SALINAS, J. (1994b). Manifestaciones de la tendencia espontánea hacia el razonamiento *ad-hoc* en estudiantes de ingeniería. *Revista de Enseñanza de la Física*, 9(2), pp. 25-32.
- SALINAS, J. y CUDMANI, L.C., DE (1994a). Los desencuentros entre método y contenido científicos en la formación de los profesores de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 7(1), pp. 25-32.
- SALINAS, J. y CUDMANI, L.C. DE (1994b). Concepciones epistemológicas de estudiantes de ciclos básicos de carreras de ingeniería. *Memorias del Segundo Simposio de Investigación en Educación en Física*, pp. 99-103. Buenos Aires.
- SALINAS, J., CUDMANI, L.C. DE, JAÉN, M. (1995). Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fácticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 17(1), pp. 55-61.
- SALINAS, J., CUDMANI, L.C. DE, PESA, M. (1993). Modos espontáneos de razonar: un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Memorias de la Octava Reunión Nacional de Educación en la Física*, pp. 321-338. Rosario. Argentina.
- SALINAS, J., GIL, D. y CUDMANI, L.C. DE (1995). La elaboración de estrategias educativas acordes con un modo científico de tratar los problemas. *Memorias de la Novena Reunión Nacional de Educación en Física*, pp. 336-349. Salta. Argentina.
- SALINAS, J. y SANDOVAL, J. (1993). El diseño experimental de «un factor cada vez»: universal o específico? *Revista Española de Física*, 7(2), pp. 52-57.
- SCHRODINGER, E. (1951). *Science and Humanism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SHUELL, T.J. (1987). Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. *Science Education*, 71(2), pp. 239-250.
- SCHWAB, J.J. (1968). Problemas tópicos y puntos en discusión, en *La educación y la estructura del conocimiento*. Compilación de Elam, S. Buenos Aires: El ateneo, pp. 1-38.
- STRIKE, K.A. y POSNER, G.J. (1991). A revisionist theory of conceptual change, capítulo en *Philosophy of Science, Cognitive Science, and Educational Theory and Practice*. Duschl, R. y Hamilton, R. (eds.). Nueva York: Suny Press.
- VIENNOT, L. (1974) Sens physique et raisonnement formel en dynamique elementaire. *Bulletin de la Societé Française de Physique*, 2, pp. 35-46.
- VIENNOT, L. (1985). Analyzing students' reasoning: tendencies in interpretation. *American Journal of Phys.*, 53, pp. 432-436.
- VIGOTSKY, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Ed. Crítica.
- VILLANI, A. (1992). Conceptual change in science and science education. *Science Education*, 76(2), pp. 223-237.
- WHITE, T.R. y GUNSTONE, F.R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 577-586.

[Artículo recibido en septiembre de 1997 y aceptado en octubre de 1999.]