

# LA RELACION ENTRE MODELO Y REALIDAD EN LA ENSEÑANZA DE LA FISICA

---

L. C. de CUDMANI - J. SALINAS - M. JAÉN \*

En la bibliografía relacionada con resultados obtenidos en Investigación Educativa en Ciencias Fáticas, se ha reseñado ampliamente la necesidad de una formación epistemológica del docente. En otra ponencia presentada en estas Jornadas ("Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fáticas"), sostenemos que los modelos epistemológicos (explícitos o no) presentes en todo proceso de enseñanza y aprendizaje de ciencias, tienen una marcada influencia en los diseños curriculares. Ellos guían la selección de contenidos, metodologías, estrategias docentes, sistemas de evaluación, etc.

Una valiosa línea de investigación desarrollada con particular vigor en los últimos cuatro o cinco años, muestra la importancia de la metacognición (control consciente y reflexión explícita sobre lo que se está conociendo) (Hewson y Thorley, 1989; White y Gunstone, 1989; Duschl y Gitomer, 1991); Hewson y Hewson, 1991). El cambio conceptual, entendido como una alteración fundamental en la ecología cognitiva del aprendiz (y no como una incorporación sin

---

\* Instituto de Física - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - UNT.

conflictos con las estructuras preexistentes), no se da sólo como un cambio en el nivel ontológico, sino también metodológico y axiológico.

Nos ocuparemos aquí de un problema particular que por su trascendencia merece un tratamiento especial. Tal es el que se genera en la brecha entre los modelos, idealizaciones a las cuales se aplican con exactitud las leyes y teorías de la ciencia, y su vinculación con el campo fáctico que se estudia.

A partir de nuestra experiencia de trabajo con docentes de Física, y de investigaciones en enseñanza de la disciplina, hemos individualizado dos estereotipos en el planteo de la relación modelo-realidad que están muy enraizados en los profesores y que se corresponden con paradigmas epistemológicos que han sido ampliamente cuestionados por los investigadores en el área.

### **1. Planteo ingenuo de la relación modelo-realidad. La Física empírico-inductivista del sentido común.**

Es el planteo que, bajo el supuesto interés de motivar e incentivar al alumno, presenta las leyes de la física como resultados obvios, de sentido común, a partir de unos pocos ejemplos simples cuidadosamente elegidos.

Es en esta situación que se simplifica a tal punto la relación entre modelo y realidad a la que éste se aplica, que se confunden los objetos reales de los ejemplos con objetos -modelos a los cuales se aplican directamente las leyes y las teorías.

Esto conduce a un planteo ingenuo de la disciplina que no discrimina entre el referente inmediato de la ley física: el modelo teórico, y el referente mediato: el fenómeno real. Las leyes físicas

y emergentes aparecen así, como resultado de un simple proceso inductivo que sólo se nutre de la observación de casos individuales del fenómeno.

Se supone que conceptos y leyes "están en la naturaleza": la observación cuidadosa y el sentido común "permitirán descubrirlos".

Se deja de lado por completo el importante papel que juega el observador, su estructura cognitiva, sus modelos y teorías en la interpretación de lo observado.

Dos son los supuestos más importantes de este inductivismo ingenuo:

- \* la ciencia comienza con la observación;
- \* la observación es la única base segura a partir de la cual se deriva el conocimiento fáctico (Chalmers, 1987).

Se construyen leyes de validez general a partir, por ejemplo, de la observación de unos pocos péndulos oscilando en el aire que "casualmente" tienen hilos muy delgados, una masa muy pesada en el extremo y no se separan de la posición de equilibrio en más de 10 grados. Cabe preguntarse con qué validez se generaliza este comportamiento a todos los péndulos reales con que puede encontrarse el alumno en la vida diaria. Por otra parte, ¿cómo y quién decidió concentrar la atención en la longitud y el período del péndulo? ¿Por qué no la amplitud y la temperatura? Hay toda una construcción teórica que históricamente llevó mucho tiempo elaborar y que ingenuamente se pretende resolver por la simple aplicación del sentido común.

En contra de la pretensión inductivista, los enunciados observacionales presuponen un marco teórico.

Veamos otro ejemplo: El objeto de la observación es una fotografía de una estrella de desintegración obtenida con una cámara de niebla.



Eso es sin duda lo que observará un físico nuclear. Pero ¿observará lo mismo un profesor de historia, un comerciante, un estudiante universitario o un niño? Evidentemente, las proposiciones en que se traducirá la observación en cada uno de esos casos, serán muy diferentes.

Está claro que en estos casos, como en todos, hay una teoría que precede a la observación, una teoría que no se explicita al alumno pero que el docente utiliza para realizar con éxito la experiencia en el sentido de lo que quiere mostrar, y no necesariamente de lo que en la realidad ocurre. La simple elección de las variables relevantes tiene implícita una teorización previa.

Los enunciados observacionales presuponen un marco teórico de referencia que les otorga significado y por lo tanto, estos enun-

ciados observacionales son tan falibles como las teorías que los sustentan (Chalmers, 1987).

No se pone en evidencia, tampoco, que un mismo conjunto de casos individuales podría ser explicado con otras hipótesis diferentes: que se alcanza un primer nivel de teorización antes de realizar "la observación cuidadosa y sistemática"; que previamente se construye un modelo, asociado a determinadas simplificaciones de la compleja realidad de los fenómenos naturales que se pretende explicar.

Fundar la enseñanza de la Física sobre estas bases puede conducir a sobrevalorar la información obtenida a través de observaciones cualitativas no controladas. El criterio de verdad será la evidencia. Las conclusiones se considerarán certezas que no se cuestionan y su generalidad será muy limitada.

La no explicitación del salto entre el mundo real y los modelos simbólicos hace que el estudiante se sienta "engañado" cuando se le promete entender porqué se mueve un auto sobre una carretera en la clase de dinámica y termina aplicando las leyes sólo a "movimientos rectilíneos uniformes de puntos materiales".

No es sorprendente que una metodología espontánea de esta naturaleza esté tan arraigada entre los docentes. Una metodología similar fue la que vertebró la Física aristotélica, cuyo poder de convicción fue tan poderoso que le permitió perdurar durante más de veinte siglos como el saber científico indiscutido.

La revolución galileana, que marca para Koyré (1981) el inicio de la ciencia moderna, introdujo la estrategia de la modelización en la ciencia; comienza con él la construcción intelectual de objetos ideales, representados y manipulados matemáticamente (Matthews, 1992). Los campos fácticos, extremadamente complejos, son elabo-

rados conceptualmente mediante abstracciones y simplificaciones que no pretenden ya, aprehender holísticamente el fenómeno. Las teorías tienen a la realidad como referente mediato; sus referentes inmediatos son los modelos que se construyen sobre esa realidad (Bunge, 1985; Cudmani y Salinas, 1991).

Las certidumbres se transforman en hipótesis verificables. El conocimiento es conjetural, perfectible y provisorio. Las investigaciones se sistematizan en teorías cada vez más abarcativas, más profundas y coherentes pero también cada vez más abstractas y alejadas de la realidad que les dio origen.

Se construyen sistemas hipotético-deductivos capaces de dar cuenta de un gran campo fenomenológico en base a pocos axiomas y supuestos: la mecánica clásica, cuántica o relativista, la teoría electromagnética de Maxwell, el modelo Standard de partículas elementales.

Ante una situación problemática, las leyes de la lógica permiten, mediante un proceso deductivo, partir de leyes y principios de mayor generalidad (nivel nomológico, Bunge, 1985) y llegar a enunciados de menor generalidad (nivel nomopragmático). Las teorías proveen los axiomas; los modelos permiten introducir en los algoritmos las constantes, parámetros y condiciones iniciales adecuadas.

Y así llegamos a una situación completamente opuesta, pero no menos peligrosa para el aprendizaje de la Física.

## **2. Planteo axiomático-formal de la relación modelo-realidad. El divorcio entre teorías físicas y comportamientos reales**

Analicemos ahora al docente que enfrenta el problema desde el otro extremo; esto es, la presentación altamente formalizada y ma-

tematizada de teorías completas y cerradas que se aplican, claro está, únicamente a entidades simbólicas con las que el alumno opera en problemas más o menos complejos matemáticamente pero sin ninguna conexión con el mundo de los objetos reales que supuestamente pretenden explicar aquellas teorías.

En este caso el pizarrón basta y sobra para desarrollar, por ejemplo, todas las relaciones posibles a propósito de interacciones entre "cargas eléctricas puntuales y fijas en los ángulos de un rectángulo" que nada tienen que ver con cuerpos reales cargados eléctricamente.

Se observa la ausencia de referencias explícitas al papel que juegan el modelo y los objetos de observación en el curso del proceso de aprendizaje. Se desarrolla una física de modelos puros que nunca necesita interactuar con la realidad. Las expresiones matemáticas que utiliza el estudiante resultan desprovistas de todo significado fáctico.

Este planteo favorece que el alumno disocie la física de la clase y la física de la realidad. La física de los modelos matemáticos abstractos, rígida y cerrada, no sólo aparece desconectada de la realidad o de la experiencia previa sino que genera un conocimiento que el estudiante no asume como propio. Se producen así los conocidos comportamientos duales respecto al razonamiento frente a un problema en clase o en la vida diaria.

Para el salto entre las representaciones teóricas y los comportamientos reales, no hay mecanismos lógicos válidos, sólo criterios epistemológicos que justifiquen racionalmente la relación entre modelo y realidad.

No hay algoritmo lógico o matemático capaz de salvar esta brecha y sin embargo el rigor y la exactitud de las proposiciones científicas

cas, dependen en gran medida, del rigor y exactitud conceptual con que se convalidan estos pasajes de lo factual a lo conceptual y vice-versa (Cudmani y Salinas, 1991).

La incomprensión de esta compleja relación puede manifestarse en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física como una pérdida del significado físico de las conceptualizaciones. Si un concepto tiene un correlato empírico, estos referentes deben estar lo más claramente definidos y delimitados que sea posible. La exactitud cuantitativa tiene, sin duda, gran importancia; pero sin rigor conceptual en el marco teórico que le da significado, la precisión cuantitativa no es suficiente.

Sólo un análisis cuidadoso y no la aplicación acrítica de un algoritmo, permitirá frente a una situación real particular, decidir sobre la adecuación o no de un determinado modelo. ¿Cuándo puede considerarse que una masa es "puntual", que un péndulo es "matemático", que un cuerpo es "rígido", etc.? Son interrogantes que los estudiantes no responden claramente frente a un sistema real y para los que el docente debiera tener criterios claros.

Por otra parte, la incomprensión de la relación entre modelo y realidad puede manifestarse también cuando se infieren o contrastan proposiciones observables.

Tratar de insertar un enunciado proposicional en un sistema teórico es una poderosa herramienta para avalar el salto inductivo. Cuando a partir de unas pocas mediciones se acepta en un laboratorio que el estudiante concluya, por ejemplo, que en los resortes "los alargamientos son directamente proporcionales a las fuerzas aplicadas", no se está procediendo científicamente.

Para poder convalidar una afirmación como ésta será necesario analizar los errores de medición; buscar introducir la generaliza-



ción en un sistema teórico; controlar la validez de los supuestos implicados; controlar otras predicciones de la teoría buscando nuevas evidencias que favorezcan la realimentación entre teoría y realidad, etc.

En la práctica docente, basada en un planteo axiomático formal de la Física, no se encara este tipo de metodología. Los problemas y ejercicios de lápiz y papel se reducen a manejos de algoritmos matemáticos en forma más o menos mecanizada y en general el proceso se completa con la obtención por deducción de los principios de la correspondiente ley nomoprágmatca. En los laboratorios, se asume como supuesto que el sistema se comporta como el modelo o la teoría lo requiere y la tarea se reduce a comprobarla o confirmarla.

El divorcio entre la Física y el comportamiento del mundo físico es total.

Las razones de esta distorsión en la enseñanza de la Física pueden aclararse si se tiene en cuenta que no hay forma alguna de resolver mediante la aplicación de un algoritmo este pasaje entre teoría y realidad.

Sólo el pensamiento crítico, una correcta evaluación de las incertezas experimentales, y un profundo conocimiento de los significados físicos de los símbolos matemáticos, pueden guiar la toma de decisiones. Para ello el docente debe estar preparado. La adhesión declarada a un modelo de aprendizaje constructivista no basta sin una sólida formación en la disciplina y en las epistemologías que la sustentan. Las investigaciones más recientes coinciden en alertar sobre la importancia de que los docentes profundicen su comprensión, tanto del proceso por el que el conocimiento científico es generado, cuanto de los resultados de este proceso.

### **3. Algunas pautas para un planteo epistemológicamente más correcto de la relación modelo-realidad**

Nos parece importante destacar algunos aspectos a los que convendría prestar atención en los planes de formación de profesores de Física para favorecer la superación de las dificultades señaladas:

- \* Mejorar la comprensión del rol que juegan las incertezas experimentales cuando se adecua la teoría a la realidad se trata. Cómo la elección del modelo depende de la precisión que se pretende alcanzar en la solución de un problema dado. Cómo cada supuesto de la teoría se transforma en la realidad, en una fuente de error sistemático que es necesario evaluar. Cómo cada método tiene un error mínimo asociado. Cómo y por qué es necesario saber manejar estadísticamente las incertezas accidentales.

- \* Reflexionar críticamente sobre la estrategia científica de la modelización y sobre los distintos tipos de modelos (representacionales, fenomenológicos, interpretativos, matemáticos, etc.), analizando sus alcances y limitaciones.

- \* Profundizar el conocimiento de las relaciones entre teorías y modelos y entre modelo y realidad. En particular combatir la errónea creencia, muy generalizada, de que a cada teoría corresponde un único modelo, o de que una situación problemática sólo acepta una única modelización. Analizar las inconsistencias internas y los límites de validez de las teorías.

- \* Comprender la íntima relación entre teoría, observación

y experiencia. Advertir que ningún dato observacional puede ser ni siquiera enunciado sin una teoría que dé significado a los términos. Que ninguna teoría física tiene sentido si no refiere, o espera referir, a un campo factual.

Cuando el docente está capacitado para diseñar estrategias educativas en estos términos, se favorece que el cambio conceptual del aprendiz esté fundado en un cambio epistemológico que facilitará su futura transformación de estudiante en investigador.

#### REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- BUNGE, Mario (1985). *La investigación científica*. Editorial Ariel, Barcelona.
- CUDMANI, L. C. de; SALINAS de SANDOVAL, J. (1991). *Cuaderno Catariense de ensino de Física*, 8 (3), 181-192.
- CHALMERS, A.F. (1987). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Edit. Siglo XXI, España.
- DUSCHL, R.A.; GITOMER, D.H. (1991). *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 839-858.
- HEWSON, P.W.; HEWSON, M. (1992). *Proceedings of the International Workshop at the University of Bremen*, 59-73.
- HEWSON, P.W; THORLEY, R. (1989). *International Journal of Science Education*, 11, special issue, 541-553.
- KOYRE, A. (1981). *Estudios galileanos*. Siglo XXI Editores, México.
- MATTHEWS, M.R. (1992). *Science and Education*, 1, 11-47.
- WHITE, R.T.; GUNSTONE, R.F. (1989). *International Journal of Science Education*, 11, special issue, 577-586.