

---

# LOS LABORATORIOS DE FÍSICA DE CICLOS BÁSICOS UNIVERSITARIOS INSTRUMENTADOS COMO PROCESOS COLECTIVOS DE INVESTIGACIÓN DIRIGIDA

SALINAS DE SANDOVAL, JULIA; COLOMBO DE CUDMANI, LEONOR

Instituto de Física, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

---

## RESUMEN

*Se consideran diversas concepciones sobre el papel asignado a los trabajos prácticos de Laboratorio en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física. Se parte de una breve descripción de las características generales adoptadas por las prácticas de Laboratorio en cada una de esas concepciones. Se toman como referencia los modelos teóricos de aprendizaje y los fundamentos epistemológicos empleados en investigación educativa en ciencias, a fin de explicar y analizar críticamente cómo ellos sustentan a cada una de las concepciones consideradas.*

*Finalmente se presenta una propuesta alternativa para los trabajos prácticos de Laboratorio, que pretende insertarlos en una orientación constructivista y operacionista sobre el aprendizaje de la Física.*

## ABSTRACT

*Several conceptions related to the role assigned to Laboratory in Physics's learning and teaching process are considered.*

*The paper starts with a brief description of the general characteristics adopted by Laboratory experimental work in each one of these conceptions.*

*Theoretical learning models and epistemological foundations employed in science educational research are taken as references to make explicit and to critically analyze how they support each one of the considered conceptions.*

*Finally, an alternative proposal for Laboratory practical work is presented, which pretends to insert it within a constructivist and operativist orientation of Physics's learning.*

## INTRODUCCION

Los trabajos prácticos de laboratorio son generalmente reconocidos por docentes e investigadores como herramientas muy útiles en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física.

Entre las publicaciones referidas a esta temática es posible sin embargo advertir que ese consenso parece reducirse seriamente en el momento de precisar los alcances y las características del papel atribuido a las prácticas de laboratorio en dicho proceso.

Este trabajo pretende analizar algunas de las funciones asignadas a los trabajos prácticos de Física en la instrucción universitaria básica, y mostrar cómo ellas responden a determinados modelos de aprendizaje de las ciencias fácticas y a dadas concepciones epistemológicas sobre la índole del trabajo y del conocimiento científicos.

El análisis se realiza a la luz de una concepción constructivista (Hodson 1986) y operacionista (Piaget 1975) sobre el aprendizaje y la elaboración histórica del conocimiento científico, y conduce en la segunda parte del trabajo a la presentación de una propuesta que se considera:

- superadora de las orientaciones mencionadas en los primeros ítems;

- emergente del marco teórico adoptado;
- favorecedora de un aprendizaje más significativo de las estructuras sustanciales y sintácticas de la disciplina y de una mayor comprensión sobre la naturaleza del proceso y el producto de la actividad científica.

### LOS PRACTICOS DE LABORATORIO COMO MERAS ILUSTRACIONES DE LA TEORIA

La intrucción universitaria habitual en los ciclos básicos está muchas veces organizada como un proceso de transmisión y recepción de conocimientos elaborados. Las clases se dividen entre "las de teoría" y "las de práctica" (que incluyen actividades de resolución de problemas de lápiz y papel y trabajo en el laboratorio). En esta concepción, las prácticas de laboratorio, que son las que nos interesa considerar ahora, pretenden dar a los estudiantes oportunidad de verificar principios y hechos ya aprendidos.

El modelo de aprendizaje subyacente a esta orientación parece responder a un esquema donde el alumno se reduce a un sujeto pasivo, receptor del conocimiento que emana del profesor. Del estudiante se espera que memorice y sepa aplicar la forma de un saber que se le presenta acabado, axiomatizado, y estructurado lógicamente en secuencias que muy raramente hacen mención a la génesis histórica, problematizada y comprometida de ese saber. Los problemas de lápiz y papel se transforman en variaciones, más o menos complicadas matemáticamente, de situaciones "tipo" que se desarrollan y se explican como algo conocido que debe reconocerse. Las prácticas de laboratorio, coherentemente, se emplean para ilustrar el cumplimiento de leyes y teorías que jamás se cuestionan. Cuando no hay acuerdo entre teoría y experiencia, se dirá que "el experimento no ha salido",

y en el mejor de los casos se lo repetirá "hasta que salga".

La concepción epistemológica subyacente a esta orientación es rígida y dogmática. El criterio de verdad por excelencia es la autoridad (Bunge 1980): de la teoría, del docente, del libro de texto. La Física se formaliza en extremo y aparece ante los ojos de los estudiantes como una elaboración desconectada de sus referentes empíricos.

### LAS PRACTICAS DE LABORATORIO COMO UNA ESTRATEGIA DE DESCUBRIMIENTO INDIVIDUAL AUTONOMO

Durante la década del 60 los laboratorios universitarios básicos fueron un epicentro de las propuestas didácticas basadas en el aprendizaje por descubrimiento.

El modelo de aprendizaje subyacente concebía al alumno como un individuo intuitivamente inquisitivo, capaz de re-construir el conocimiento científico en forma individual y autónoma, a través de su interacción libre con el medio (Bruner 1960). Los trabajos prácticos de laboratorio se transformaron en escenarios de esa actividad, no sólo centrada en el alumno, sino también dirigida por él.

La metáfora kellyana del "hombre científico" (Pope y Gilbert 1985), y algunos resultados de la escuela piagetiana (Piaget 1969), constituyen argumentos que aún hoy son esgrimidos por defensores de propuestas basadas en esta orientación. Pero, reportan los investigadores, "las conclusiones que sacan los estudiantes no son las que se pretenden" (Driver 1988).

Es que este modelo de aprendizaje supone una concepción epistemológica que reduciría el conocimiento científico a una elaboración individual basada en el sentido común, sin tener en cuenta que éste más bien trata de construcciones acerca de las cuales hay acuerdo social, y a las que se llega mediante la aplicación de una metodo-

## 12 LOS LABORATORIOS DE FÍSICA ...

logía científica no espontánea ni de sentido común.

La Física fue consolidándose a partir de estructuras conceptuales y sintácticas que demostraron su fertilidad para producir conocimiento y como resultado de un esfuerzo colectivo que no puede quedar ignorado en el proceso de aprendizaje institucional de la disciplina.

Más aún, en esta orientación se concibe al conocimiento científico como el fruto de un proceso inductivo a partir de la "observación de los hechos", mientras la concepción mayoritariamente consensuada hoy por los epistemólogos de la ciencia, reconoce la imposibilidad de una observación despojada de un marco teórico (explícito o implícito) que permita atribuir significados a la información recibida (Hodson 1986).

### LAS PRACTICAS DE LABORATORIO COMO ENTRENAMIENTO EN LOS "PROCESOS DE LA CIENCIA"

La dicotomía entre método y contenido aparece recurrentemente en los laboratorios de Física, y es frecuente encontrar en la bibliografía trabajos que identifican a las prácticas de laboratorio como actividades destinadas a introducir a los alumnos en los "métodos de la ciencia" (cuando no en "el" método de la ciencia, concebido como una receta estereotipada), mientras las clases teóricas y las sesiones de resolución de problemas de lápiz y papel transmitirían "los contenidos" de la disciplina.

El modelo de aprendizaje subyacente supone que los "procesos de la ciencia" son generalizables a través de diferentes dominios de conocimiento y experiencia. No tiene en cuenta que "el aprendizaje depende tanto de las representaciones que el aprendiz trae a una situación, como de las características de la misma situación de aprendizaje" (Miller y Driver 1987); es decir, que no cabría

esperar que un proceso sea transferido significativamente a otros contextos en forma espontánea ni automática, ya que las estrategias derivan de la representación mental que el sujeto elabora sobre una dada situación.

En cuanto a la raíz epistemológica de esta orientación, se supone la existencia de un "método científico" al que se concibe como un conjunto de etapas o de reglas de procedimiento, como un algoritmo al que es posible abstraer de todo contenido conceptual. Sin embargo, la moderna epistemología de la ciencia enfatiza la profunda e inseparable unidad de método y contenido, aspectos que sólo podrían separarse a los fines del análisis, pero nunca en el proceso de construcción y validación del conocimiento científico (Bunge 1985, Chalmers 1988).

### LAS PRACTICAS DE LABORATORIO COMO ESCENARIOS EXCLUYENTES DE CUESTIONAMIENTO DE PARADIGMAS

Las propuestas didácticas de aprendizaje por cambio conceptual constituyen en estos momentos una fértil estrategia, que concita gran consenso entre docentes e investigadores (Posner et al. 1982).

Básicamente, ellas ponen el acento en las concepciones que los alumnos poseen previamente a la instrucción, y, trasladando al dominio de la didáctica de la ciencia fundamentalmente las concepciones epistemológicas de Kuhn (1971) y Lakatos (1983), establecen una analogía entre los cambios de paradigmas que realiza la comunidad científica, y el cambio conceptual que los alumnos deben realizar para superar sus concepciones espontáneas y acceder al conocimiento científico.

El modelo de aprendizaje subyacente atribuye gran importancia al conflicto cognitivo planteado por los contraejemplos; el

surgimiento de dicho conflicto aparece en estas propuestas como la estrategia capaz de conducir al cuestionamiento de las ideas propias, al reconocimiento de la superioridad del paradigma científico, y a la consiguiente adopción de este último.

Sin embargo, algunos estudios de psicología cognitiva parecen mostrar que para que el alumno reconozca al contraejemplo como un cuestionamiento a sus ideas, y no como una mera excepción, es necesario que sus ideas hayan logrado un avanzado estado de consolidación y generalización, lo que no parece constituir la situación más común (Karmiloff-Smith e Inhelder 1974). El alumno solamente experimentaría sorpresa y pondría en duda su teoría si la contradicción se estableciera con una teoría propia fuerte, manifestada en la acción. Esto ha conducido a que algunas propuestas de cambio conceptual contemplan como una etapa necesaria, la explicación y consolidación de las ideas previas de los alumnos a fin de favorecer las condiciones propicias a un conflicto cognitivo.

La concepción epistemológica subyacente parece distorsionar la naturaleza del trabajo científico, ya que éste no se plantea como una labor de cuestionamiento de paradigmas, sino de resolución de problemas (Bachelard 1958). En la ciencia, esos problemas surgen de, y se enfrentan con, el marco teórico que se posee, y el cambio conceptual se da en la medida en que sea necesario. Los científicos no son "visionarios flagelantes" (Bunge 1985) dedicados a destruir sus teorías, ni cuestionadores permanentes del cuerpo de conocimientos, empeñados sólo en sintaxis de largo plazo (Schwab 1973). Por el contrario, ellos cambian sus teorías sólo cuando no queda otro camino, y mientras tanto las conservan aún a sabiendas de sus limitaciones y errores (Lakatos 1983).

Se corre entonces el riesgo de que, si los trabajos prácticos de laboratorio se conciben exclusivamente como escenarios para des-

plegar contraejemplos generadores de conflicto cognoscitivo, se esté brindando una imagen falsa del abordaje científico de los problemas. Algunas investigaciones parecen mostrar que las propuestas centradas en el cambio conceptual revelarían limitaciones importantes en su implementación (Dreyfus et al. 1990).

Por otra parte, el énfasis puesto en lo conceptual puede conducir a otra distorsión si se pierde de vista el hecho de que el cambio conceptual no puede considerarse aislado o independiente de los cambios metodológicos, actitudinales (Gil y Carrascosa 1985) y aún epistemológicos que lo hacen posible. La construcción del conocimiento científico supone una manera científica de aproximarse a la realidad, y se trata a veces de modificar la concepción misma del conocimiento considerado válido, cambiando los criterios de verdad, enriqueciendo y transformando las concepciones de "explicación", "interpretación", "relación causal", etc ... La historia de la Física del siglo XX proporciona valiosos ejemplos en este sentido.

### LOS TRABAJOS PRACTICOS COMO INVESTIGACIONES COLECTIVAS GUIADAS EN TORNO A SITUACIONES PROBLEMATICAS

De acuerdo con esta orientación, los trabajos prácticos de laboratorio se conciben como una faceta de un proceso de construcción de conocimientos que incluye a las actividades de resolución de problemas y de introducción de conceptos.

Enmarcada en un modelo constructivista de la elaboración histórica y genética del conocimiento científico, sobre el que parece haber consenso entre los investigadores actuales, esta propuesta se apoya en resultados de la epistemología genética y psicología cognitiva piagetianas, según los cuales podría hablarse de un cierto isomorfismo entre los procesos de construcción social y

## 14 LOS LABORATORIOS DE FÍSICA ...

de aprendizaje de la ciencia (Piaget 1972 y 1975), y recoge los importantes aportes de la investigación educativa sobre ideas previas y cambio conceptual.

La fundamentación epistemológica de la propuesta reúne los aportes de la filosofía de la ciencia constructivista (Kuhn 1971, Lakatos 1983, Bunge 1985), incorporados ya en alguna medida en las propuestas de aprendizaje por cambio conceptual, poniendo énfasis particular en la indisoluble unidad de los aspectos sustanciales y sintácticos de la Física. Se reserva un lugar destacado para las contribuciones de Bachelard (1958), fundamentalmente en lo referido a dos ejes que se consideran de primera importancia. Por un lado, la insistencia en que toda actividad de construcción de conocimientos es un intento de dar respuesta a una situación problemática significativa y aparentemente resoluble. Por otro lado, el reconocimiento de que la adquisición de conocimientos y la familiarización con la metodología científica son aspectos inseparables, y que todo cambio conceptual está necesariamente acompañado de un cambio metodológico que lo hace posible (Gil y Carrascosa 1985) y que puede conducir, como ya dijimos, a cambios epistemológicos.

El aprendizaje eficaz de la disciplina aparece entonces como un objetivo que requiere de estrategias capaces de incorporar al aula aspectos básicos del abordaje científico de los problemas. Estrategias que intentan hacer más científico el pensamiento (Bachelard 1958), y superar "el molesto divorcio entre método y contenido" (Schwab 1973). Método y contenido aparecen inexplicablemente unidos (Salinas 1991) en una tarea que se plantea incorporar a los estudiantes en un programa de actividades a través de las cuales puedan adquirir y construir conocimientos y habilidades científicos (Driver y Oldham 1986), así como favorecer su autonomía en el difícil camino del cuestionamiento y la superación de sus propias estructuras cognitivas (Cudmani, Salinas y Pesa 1991).

El tratamiento colectivo, con aspiraciones científicas, de situaciones problemáticas abiertas, significativas, interesantes y abordables, bajo la guía del profesor, aparece así como un eje metodológico capaz de vertebrar un proceso eficaz de enseñanza y aprendizaje de la Física (Carrascosa y Gil 1985) en los ciclos básicos universitarios, y de capacitar a los alumnos para una actividad profesional futura cuestionadora y reflexiva, concebida como un tratamiento científico, autodirigido y realimentado colectivamente, de los problemas que se enfrentan (Cudmani, Salinas y Pesa 1991).

### ALGUNAS PRECISIONES Y CONCLUSIONES

La necesaria brevedad de este trabajo impide un desarrollo más profundo y fundamentado de los aspectos señalados en los apartados anteriores.

Puede ser útil mencionar aquí sucintamente algunos aspectos, muy relacionados entre sí, que en la práctica docente aparecen vinculados con la incorporación activa de los estudiantes en actividades de resolución de situaciones problemáticas.

En primer lugar, la situación debe ser genuinamente problemática para el alumno, y requerir de su inventiva, de su creatividad y de sus conocimientos conceptuales y metodológicos para la búsqueda de posibles soluciones.

En segundo lugar, parece necesario promover el tratamiento colectivo de las cuestiones, mediante una tarea permanente de reflexión compartida entre los alumnos, y entre éstos y el profesor.

La delimitación por acuerdo colectivo de las características, necesariamente modelizadas e idealizadas, de la/s situación/es que se identifica/n como el/los problema/s a resolver, de las relaciones entre magnitudes significativas que se hipotetizan, de los diseños experimentales a emplear, etc.

permiten la explicitación de las ideas conceptuales y metodológicas previas de los estudiantes de una manera funcional, en un ambiente que las considera genuinamente como aportes valiosos, no cuestionables a priori. La contrastación de estas ideas con hipótesis alternativas planteadas por otros estudiantes, por el docente, por la bibliografía consultada, transforman a los cambios conceptual y metodológico en eventuales condiciones para vializar la solución del/los problema/s.

El doble juego que en esta propuesta de trabajo va de la realidad a su modelización y de la situación modelizada a la realidad, permite además que los alumnos se entrenen en esa característica manera de trabajar del científico, en dos planos: el real y el simbólico-matemático, con lo que se contribuye a salvar el divorcio que los estudiantes establecen entre la Física "del libro (o del profesor)" y la Física "de la realidad". (Halbwachs 1985).

En la tarea así encarada en el laboratorio, se favorece una realimentación permanente entre los aspectos teóricos y empíricos de las actividades (entendidas éstas como acciones y reflexiones) que se van desarrollando. En particular,

- la planificación de experiencias para contrastar hipótesis, y
- el control de los comportamientos predichos para sistemas físicos, aparecen como estrategias eficaces, empleadas por los alumnos para el aprendizaje operativo y significativo de la disciplina (Cudmani y Salinas 1990).

Los modos de razonamiento espontáneo, las metodologías intuitivas, las ideas conceptuales previas, pueden incorporarse así naturalmente a una actividad colectiva crítica, creativa y rigurosa, en un ambiente respetuoso que valoriza las opiniones disidentes, con un tratamiento que se asemeja al trabajo científico de los investigadores nove-

les dirigidos por un director experimentado (papel este último asumido por el profesor) (Carrascosa y Gil 1985), en un proceso que promueve permanentemente la autonomía del alumno (Cudmani, Salinas y Pesa 1991).

Aún partiendo de la comprensión de que las metodologías de sentido común deberán necesariamente ser cuestionadas conjuntamente con las conceptualizaciones intuitivas no científicas a fin de acceder al aprendizaje del conocimiento físico (Bachelard 1958, Carrascosa y Gil 1985), la actividad en el laboratorio no aparece vertebrada alrededor del objetivo prioritario del cuestionamiento sistemático de esos conceptos y metodologías, sino que contempla a los cambios conceptual y metodológico como estrategias que los alumnos, guiados por el profesor, deberán emplear y asumir colectivamente cuando las circunstancias las muestren conveniente o necesarias para resolver científicamente la situación problemática abordada.

Esta metodología de trabajo en el laboratorio evidencia similitudes con el tratamiento que los científicos dan a los problemas que enfrentan, y se muestra por tanto como una estrategia didáctica capaz de favorecer la construcción operativa (en el sentido piagetiano) y significativa del conocimiento físico en los ciclos básicos universitarios (Gil 1986).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL D. P., 1978, *Psicología educativa; un punto de vista cognoscitivo* (Trillas: México)
- BACHELARD G., 1958, *La formación del espíritu científico* (Ed. Siglo Veinte: Buenos Aires)
- BRUNER J., 1960, *The process of education* (Harvard University Press: Cambridge)

## 16 LOS LABORATORIOS DE FISICA ...

- BUNGE M., 1980, *La ciencia, su método y su filosofía* (Ed. Siglo Veinte: Buenos Aires)
- BUNGE M., 1985, *La investigación científica* (Ed. Ariel: Barcelona)
- CARRASCOSA J., GIL D., 1985, *La "metodología de la superficialitat" i l'aprenentatge de les ciències*, *Ensenyament de les Ciències*, 3(2), 113-120
- COLOMBO DE CUDMANI L., SALLINAS DE SANDOVAL J., PESA DE DANON M., 1991, *La generación autónoma de "conflictos cognitivos" para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la Física*, aceptado para su publicación en *Enseñanza de las Ciencias*.
- CHALMERS A., 1988, *Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Siglo Veintiuno Editores: Buenos Aires)
- DREYFUS A., JUNGWIRTH E., ELIOVITCH R., 1990, *Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change - Some Implications, Difficulties and Problems*, *Science Education*, 74(5), 555-569
- DRIVER R., 1988, *Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias*, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120
- DRIVER R., OLDHAM V., 1986, *A constructivist approach to curriculum development in science*, *Studies in Science Education*, 13, 105-122
- GIL D., 1986, *La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas*, *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 111-121
- GIL D., CARRASCOSA J., 1985, *Science learning as a conceptual and methodological change*, *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236
- HALBWACHS F., 1985, *La Física del profesor entre la Física del físico y la Física del alumno*, *Revista de Enseñanza de la Física*, 1(2), 77-89
- HASHWEH M. Z., 1986, *Toward an explanation of conceptual change*, *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-240
- HODSON D., 1986, *Philosophy of science and science education*, *Journal of Philosophy of Education*, 20(2)
- KARMILOFF-SMITH A., INHELDER B., 1974, *Si quieres avanzar, hazte con una teoría* (traducción J. I. Pozo), *Cognition*, 3(3), 195-212
- KUHN T. S., 1971, *La estructura de las revoluciones científicas* (Fondo de Cultura Económica: México)
- LAKATOS I., 1983, *La metodología de los programas de investigación científica* (Alianza Editorial: Madrid)
- MILLAR R., DRIVER R., 1987, *Beyond processes*, *Studies in Science Education*, 14, 33-62
- PIAGET J., 1969, *Psicología y pedagogía* (Ed. Ariel: Barcelona)
- PIAGET J., 1972, *Psicología y epistemología* (Emecé Editores: Buenos Aires)
- PIAGET J., 1975, *Introducción a la epistemología genética. El pensamiento físico* (Ed. Paidós: Buenos Aires)
- POPE M. L., GILBERT J. K., 1985, *Theories of learning: Kelly. Some issues of theory in science education* (Science Education Research Unit: New Zealand)
- POSNER G.J., STRIKE K. A., HEWSON P. W., GERTZOG W. A., 1982, *Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of*

*Conceptual Change*, Science Education, 66, 211-227

- SALINAS DE SANDOVAL J., 1991, *La unidad de método y contenido en la construcción y en el aprendizaje de la Física*, Memorias de la Séptima Reunión Nacional de Educación en Física (Mendoza, Argentina, septiembre de 1991)
- SCHWAB J. I., 1973, *Problemas, tópicos y puntos en discusión*, en "La Educación y la Estructura del Conocimiento", compilación de S. Elam (Ed. El Ateneo: Buenos Aires)