

Ingeniería didáctica en el diseño de trabajos prácticos de laboratorio

Didactic Engineering in the design of Practical Laboratory work

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Patricia Fernández¹, Roberto Laura¹, Gloria Colombo¹, Juan Farina² y Alberto Jardon¹

¹Taller de Investigación en Didáctica de la Ciencia y la Tecnología. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Avda. Pellegrini 250. CP 2000 Rosario. Argentina.

²Instituto Politécnico Gral. San Martín. UNR, Avda. Pellegrini 250. CP 2000 Rosario. Argentina.

E-mail: patricia@fceia.unr.edu.ar

Resumen

A partir de la interacción entre profesores e investigadores se revalorizó el trabajo de laboratorio incorporando estrategias didácticas orientadas al desarrollo de habilidades experimentales habitualmente no consideradas. La metodología de investigación aplicada fue la Ingeniería Didáctica. Se describe un proceso de transformación de los TPL y los resultados obtenidos al ser aplicado en una escuela media técnica.

Palabras clave: Ingeniería didáctica; Laboratorio; Trabajo práctico; Movimiento rectilíneo uniforme; Habilidades experimentales.

Abstract

From the interaction between teachers and researchers, laboratory work has been revalued, by the inclusion of didactic strategies that aim to the development of experimental skills not usually considered. The research methodology applied was Didactic Engineering. A transformation process of the TPL and the results obtained when applied on a secondary technical school are described.

Keywords: Didactic Engineering; Laboratory; Practical work; Experimental skills; Uniform line movement.

I. INTRODUCCIÓN

Los trabajos prácticos de laboratorio (TPL) han sido estudiados ampliamente en la investigación en didáctica de las ciencias (Hodson, 1994; Salinas, 1996; González, 1992, entre otros). Sin embargo, los TPL siguen ocupando un lugar prescindible en la enseñanza, algunas veces por falta de presupuesto, materiales o laboratorios apropiados, pero otras, simplemente por ser considerados una simple aplicación de la teoría que bien puede reemplazarse por un problema de lápiz y papel con la consecuente economía de tiempo y esfuerzo. Por otro lado, si se quiere revertir esta situación, debe tenerse en cuenta que un factor a tener en cuenta es el grado en que los docentes se involucran en una propuesta de cambio, por lo que consideramos indispensable la participación de los profesores no sólo en el diagnóstico, sino también en el diseño y la evaluación de la innovación.

En esta comunicación se presentan los resultados de una investigación realizada al implementar un nuevo trabajo práctico experimental de física en una escuela secundaria. Esta actualización se llevó a cabo a través de un trabajo conjunto de los profesores de la escuela, que diseñaron la actualización e implementación y los integrantes del TIDCyT que guiaron el proceso, acordaron objetivos y procedimientos con los docentes y realizaron la investigación sobre los resultados obtenidos.

A partir de conversaciones entre las autoridades del departamento de Física de la escuela y los investigadores en didáctica de las ciencias se acordó llevar adelante un proceso de adecuación/actualización de los TPL. Luego de entrevistas y varias reuniones informales con los profesores de la escuela para recabar los detalles de su disconformidad con los TPL vigentes hasta ese momento y sus demandas sobre los futuros, los propios docentes decidieron poner en marcha a partir de este año, nuevos TPL más acordes a sus criterios. El experimento seleccionado fue la observación de un MRU de una pequeña esfera que cae

en una probeta llena de detergente (en esta configuración la esfera llega a la velocidad límite luego de recorrer dos centímetros).

La versión inicial del TP resultó no diferir demasiado de los TPL tradicionales con características “de receta”. Sin embargo, bastó una breve interacción entre investigadores y profesores para que estos reformularan las actividades. La nueva propuesta consideró el tratamiento de cuestiones como la medición de tiempo y de posición de un cuerpo en movimiento, la organización de las tablas y el dibujo de gráficos a escala, propagación de incertezas. Los profesores no sólo consideraron las estrategias didácticas para enseñar estos temas, sino también revalorizaron los TP al incorporar sus contenidos en la prueba escrita.

En el diseño de la investigación y en la evaluación de la propuesta se aplicó la metodología denominada “ingeniería didáctica” (ID). Esta metodología fue desarrollada por Artigue (1989) para la didáctica de la matemática, pero puede extrapolarse con éxito a muchas otras áreas de la investigación educativa aplicada.

La participación de los docentes no se limitó a ser quienes llevaron adelante la propuesta, sino que, desde una perspectiva de investigación-acción, interactuaron con el grupo de investigadores participando activamente en la selección de objetivos y proponiendo ellos mismos los diseños.

II. MARCO TEÓRICO

La noción de ingeniería didáctica (ID) surge a comienzos de la década de los ochenta como respuesta a los cuestionamientos de algunos investigadores en didáctica de la matemática (Wittman, 1995; Lesh y Sriraman, 2010) respecto a cómo deberían considerarse a sí mismos: como científicos, al igual que en el campo de la física o de otras ciencias puras, o como psicólogos cognitivos o científicos sociales aplicados, o como ingenieros u otros científicos orientados al diseño cuyo trabajo está guiado por la necesidad de resolver problemas reales, además de la de elaborar teorías relevantes.

La ID describe una manera de abordar el trabajo didáctico comparable al trabajo del ingeniero. Para realizar un proyecto el ingeniero se apoya en los conocimientos científicos y al mismo tiempo, está obligado a trabajar sobre objetos mucho más complejos, y por tanto puede abordar problemas que la ciencia no puede tomar a su cargo todavía (Artigue, 1989).

Asimismo, la ID, desde su origen, está fundamentalmente ligada a las intervenciones didácticas (experimentaciones en las clases) como puesta a prueba de un trabajo teórico (Artigue, 2011). Esto es, se trata del diseño y la evaluación de secuencias de enseñanza con la intención de provocar la emergencia de determinados fenómenos didácticos, al tiempo que se logra elaborar recursos para la enseñanza científicamente experimentados. Perrin-Glorian (2011, p. 59) considera que la ID “*es más que una metodología de investigación: se pretende también una transposición didáctica viable en la enseñanza ordinaria*”. Es decir, que la ID como producto es igual de importante que como método, ya que se sustenta en la concepción, realización, observación y análisis de secuencias de enseñanza.

En cuanto a la validación, es esencialmente interna, fundada en la confrontación entre el análisis *a priori* y *a posteriori*. En esto se diferencia de otras metodologías donde la validación es externa, es decir, basada en la comparación de rendimientos de grupos experimentales y de control.

Como investigación basada en el diseño (IBD) o experimentos de diseño (Brown, 1992; Kelly y otros, 2008) trata de superar la brecha entre las investigaciones científicas desligadas de la práctica educativa y las innovaciones realizadas de manera poco o nada rigurosa. Asume que la investigación educativa separada de la práctica puede no tener en cuenta la influencia de los contextos sobre la naturaleza compleja de los resultados, o no identificar adecuadamente las restricciones y factores condicionantes (Godino y otros, 2013). Por todo lo antedicho, sostenemos que, si bien la ID fue diseñada para su aplicación en el ámbito de la matemática, ninguno de sus presupuestos es ajeno a la física.

III. METODOLOGÍA

La ingeniería didáctica aborda estudios de casos en los que se distinguen las siguientes fases (Artigue, 1989): a) análisis preliminares; b) análisis *a priori* de situaciones didácticas; c) experimentación; d) análisis *a posteriori* y evaluación. Describiremos a continuación brevemente estas etapas.

El *análisis preliminar* comprende el análisis epistemológico de los contenidos a enseñar, el análisis de la enseñanza tradicional y sus efectos, el de las concepciones de los estudiantes y de las dificultades y obstáculos que determinan su evolución y, por último, pero no menos importante, el análisis del campo de restricciones donde se va a situar la realización de la ingeniería didáctica.

El *análisis a priori* es la concepción de la propuesta. Basándose en el análisis preliminar, se analizan los conocimientos que presuntamente posee el alumno, qué debería hacer para comprender la situación y

resolver el problema en función de las posibilidades de acción, decisión, control y validación de las que dispone y qué podría aprender en esta situación. En el análisis *a priori*, además, se plantea el diseño de la estrategia a implementar, se establecen las variables involucradas y los medios requeridos para el logro de los objetivos, se prevén los comportamientos posibles y se explicita cómo el análisis realizado permitirá controlar su significado y asegurar, que, si se producen los comportamientos esperados, sean resultado de la puesta en práctica del conocimiento pretendido por el aprendizaje. Se especifican los instrumentos de observación y se definen las variables a observar en cada registro.

La *experimentación o realización didáctica* se refiere a la puesta en marcha de la estrategia didáctica diseñada. Se describen las condiciones en las que se llevó a la práctica: el lugar, el curso curricular, los alumnos, la duración, los momentos, la organización, la dinámica que se siguió, etcétera.

El análisis *a posteriori* está constituido por el análisis de los registros de las observaciones realizadas durante la experimentación, que incluyen las secuencias de enseñanza, las producciones de los estudiantes, las estrategias utilizadas, el avance logrado, las inconsistencias, la frecuencia de ciertas actitudes, las reflexiones, justificaciones y argumentaciones, entre otras. Estos datos se completan con frecuencia con otros obtenidos mediante cuestionarios, entrevistas individuales o en pequeños grupos, aplicadas en distintos momentos de la enseñanza.

Finalmente, como metodología de investigación cuenta con una fase de *validación*. Esta es de carácter interno, consistente en la confrontación del análisis *a priori* y el análisis *a posteriori*. Es decir, prescinde de confrontaciones entre grupos experimental y control. Siendo la ID una investigación basada en el diseño, el desarrollo y la investigación tienen lugar mediante ciclos continuos de diseño, implementación y análisis (Brown, 1992; Kelly y otros, 2008). En este sentido, la validación nunca es final, sino que es el punto de partida para futuras propuestas.

IV. LA INVESTIGACIÓN

A. Análisis Preliminar

A.1. Análisis de la enseñanza tradicional y sus efectos

El rol de los TPL en la enseñanza según la comunidad científica. La postura de la comunidad científica en relación al rol de los TPL en la comprensión de conceptos de física ha ido evolucionando a lo largo de las últimas décadas sin que se haya logrado un consenso sobre cuál es su verdadera utilidad. Desde quienes ven los TPL como un medio para propiciar la enseñanza de los procedimientos (Hodson, 1992), los resultados de las investigaciones sobre su eficacia son poco concluyentes y normalmente desalentadores.

Hasta mediados de los años noventa se señalaba como objetivos principales de los TPL: a) proporcionar experiencia directa sobre fenómenos, b) comprobar teorías, c) desarrollar el razonamiento práctico y destrezas cognitivas de alto nivel, d) generar motivación (Barberá y Valdés, 1996). Sin embargo, muchos estudiantes piensan que el propósito del trabajo de laboratorio es seguir instrucciones y obtener la respuesta correcta, por lo que se concentran en la idea de manipular instrumentos más que manejar ideas (Hofstein y Lunetta, 2004).

Kirscher (1992), sostiene que una función importante de la educación, es desarrollar habilidades que le permitan al individuo acceder al conocimiento y a sus relaciones, por tal razón, el trabajo práctico debe superar el simple desarrollo de destrezas manipulativas (Hodson, 1994). En este sentido, Séré (2002) sugiere que es necesario comenzar a ver la teoría al servicio de la práctica y no a la inversa, como se ha venido haciendo, y advierte que el conocimiento procedimental se debe usar como herramienta para generar autonomía en proyectos abiertos. Agrega que el logro de objetivos epistemológicos para el desarrollo de una visión adecuada de la ciencia requiere contextos particulares y una acción interdisciplinaria.

*El rol de los TP en la enseñanza según la comunidad de profesores participantes*¹. En el ámbito particular del aula que nos ocupa, los docentes entienden que la física es una ciencia experimental y por lo tanto los trabajos prácticos no pueden estar ausentes. Sin embargo, no hay un convencimiento sobre su efectividad y los TPL son una instancia de aprendizaje poco valorada y prescindible.

Según describen los docentes entrevistados, las clases de teoría se desarrollan con cierta independencia de las clases de laboratorio [E1: N], y en algunos casos, con docentes diferentes. Los docentes de laboratorio son los encargados del diseño de los TPL, de las guías de trabajo, de la conducción de la clase de laboratorio y de la corrección de los informes que presentan los estudiantes. El docente de teoría decide el momento oportuno para la realización del práctico y puede prescindir del mismo si considera que

¹Las referencias entre corchetes refieren a los registros de la investigación e indican el tipo de registro (entrevistas, reportes escritos, informe de los alumnos, observaciones, etc.), el sujeto y la ubicación del comentario en el registro.

necesita más tiempo para completar el desarrollo del currículo programado. Si bien existe comunicación entre teoría y laboratorio, la misma es principalmente referida a cuestiones rutinarias o a acuerdos de horarios.

Por otro lado, los TPL no han variado en los últimos años e incluso algunos han sido diseñados por docentes que ya no pertenecen al plantel actual por lo que se desconocen los objetivos didácticos de los autores [E2: G: 5-13]. Así, los entrevistados consideran que, en el caso de Física de tercer año, el TP de cinemática, fácilmente podría reemplazarse por un problema de lápiz y papel [E1: J]. En este TP se dan instrucciones precisas respecto al procedimiento a seguir, qué medir y cómo, qué tabla llenar y qué gráfica realizar. No hay preguntas que guíen la discusión de resultados o la elaboración de conclusiones. El TP resulta así, una serie de instrucciones que deben seguirse secuencialmente para completar un informe de lo realizado. El informe es corregido por el docente de laboratorio y devuelto con una nota de aprobación o no. Tampoco el profesor se plantea las destrezas y competencias que desea que desarrollen sus alumnos a través del trabajo en laboratorio y, mucho menos, eso es evidente al estudiante. Los objetivos actuales son los tradicionales: verificar las leyes de la cinemática desarrolladas en teoría [E: K: 89-94].

Según los mismos docentes los trabajos prácticos actuales “no dejan nada a los chicos” [E2: G83-85], “lo que mejor aprenden es a hacer un informe de laboratorio” [E2: G112 y 123.]. Afirman que el laboratorio no llega a ser parte de la enseñanza de la física y que, posiblemente por tradición, es lo primero que se recorta en caso de falta de tiempo [E2: J188-191].

Se deduce entonces que la planeación y organización no toma en cuenta la posibilidad de promover un alumno que proponga, argumente, cuestione y valide o invalide sus propias ideas respecto del objeto de estudio o problema en cuestión. Por el contrario, ellos esperarán paciente o impacientemente a que el profesor diga cómo se hacen las cosas, cómo se resuelve tal o cual problema, como si el objetivo de esa clase fuera proceder correctamente para encontrar la respuesta adecuada y no una instancia de aprendizaje y desarrollo de competencias propias de la física experimental.

A.2. Concepciones de los estudiantes sobre los TPL, dificultades y obstáculos presentes

Para los alumnos la clase de laboratorio es una instancia más a superar en su trayecto de aprobación de la asignatura que difiere de la clase tradicional de resolución de problemas por realizarse en un aula especial, tener que manipular ciertos materiales, seguir ciertos procedimientos y elaborar un informe final para su aprobación. Para realizar el TP no es necesario tener los conocimientos teóricos: si se siguen rigurosa y secuencialmente una serie de instrucciones indicadas en la guía y se respetan los plazos establecidos por el docente se logrará una nota de conformidad. El objetivo del TP es el que puede leerse en la guía, no se discute y simplemente se transcribe en el informe. Algunos alumnos ni siquiera acostumbran a leer la guía previamente porque seguramente el profesor dará las instrucciones necesarias al comenzar la clase.

A.3. Análisis de restricciones

En la organización curricular establecida los docentes de laboratorio conducen el laboratorio y corrigen los informes, pero no siempre comparten el desarrollo de las clases de teoría y problemas. [E2: J346-353 y 312; J312], aunque mantienen contacto [E2: J318-333].

La práctica experimental es escasa, pero incrementarla supone recortar el desarrollo de algunos contenidos. Se suma al poco tiempo dedicado a la práctica experimental, la tradición de limitar el tiempo de realización del TPL a dos horas cátedras de cuarenta minutos.

Los alumnos trabajan en grupos de cuatro o cinco integrantes y presentan un informe luego de una semana de realizado el TPL que es corregido por el profesor y devuelto con una nota de “Aprobado” o “Noaprobado” y, si bien los alumnos pueden entregar una versión mejorada en caso de errores, la interacción alumno-profesor es insuficiente (E2: J95). En general los informes son grupales, pero en casos particulares se pide a hacerlo de modo individual. [E2: G145-156]. Los temas de los TPL no se incluyen en las evaluaciones escritas, y como a los estudiantes “sólo les interesa lo que se va a tomar en la prueba” [E2: N: 179-181], consideran que los TPL no tienen un aporte significativo para su formación [E1: N].

Por otro lado, los alumnos tienen poco hábito de lectura [E2: N: 293-294] y serias dificultades para escribir en forma organizada un informe de TP [E2: M: 406-421].

En el caso de la escuela media en que se trabajó, en el segundo año, los estudiantes aprenden a medir magnitudes en forma directa, analizan errores de apreciación y trabajan la propagación en caso de suma, diferencia, cociente y producto. En tercer año, en cambio, Física es una asignatura formal [E2: C: 43], de características muy diferentes a la de años anteriores: comienza a haber una exigencia mayor en matemática [E2: M: 40-43]; los fenómenos se describen mediante ecuaciones y se espera que los alumnos grafiquen a partir de las mismas y asocien las gráficas observadas con diferentes tipos de movimientos. Los gráficos se dibujan a partir de tablas, casi mecánicamente, sin entender la información que contienen

[J38-40] y suelen confundirse las curvas de posición vs. tiempo con trayectorias. [E: 2J40-43] [E2: J489-491]. Sumado a esto, tienen importantes déficits en vectores y trigonometría.

Por otro lado, las incertezas presentes no siempre son evidentes y requieren discusión para establecer criterios de relevancia. A diferencia de la resolución de problemas en que la teoría puede describir con exactitud las situaciones planteadas, en el trabajo experimental es necesario discutir y tener claro cuál es el modelo con el que se está trabajando y sus limitaciones.

En cuanto al material didáctico de que disponen los alumnos, consiste en un cuadernillo de teoría con una lista de problemas finales y una guía de laboratorio con instrucciones precisas. Hasta ahora, teoría y laboratorio han sido dos cosas disociadas [E1: N] que se desarrollan en aulas diferentes y que no siempre llevan adelante los mismos docentes.

B. Análisis *a priori* o concepción de la propuesta

Las consideraciones y los análisis realizados hasta estos momentos, nos conducen a la necesidad de elaborar un diseño didáctico que permita transformar a los TPL en una instancia de aprendizaje que supere una concepción de verificación o comprobación de lo desarrollado en las clases de teoría y no se limite a la toma de datos y la confección de un informe posterior [E1: N]. En esta primera instancia se seleccionó el tema “cinemática” del programa de Física de tercer año del nivel medio de una escuela técnica para la elaboración de un diseño de un TP. Los objetivos propuestos por los profesores fueron los siguientes:

- Aplicar los conceptos desarrollados en teoría y propiciar una mayor integración con el laboratorio [E1: N; R: G; E2: K: 89-94; E1: C];
- Modelizar un dispositivo experimental, arriesgar hipótesis de comportamiento y explicitar las limitaciones del modelo [E1: C; R: E; E: 17-22; E2: E: 131-134];
- Distinguir un ejercicio de lápiz y papel de una situación experimental [E2: M: 45-49];
- Desarrollar actitudes y habilidades para hacer conjeturas, para argumentar, para proponer estrategias de solución, para ejecutarlas y para validarlas;
- Observar las variables que influyen en el comportamiento de un móvil y seleccionar las relevantes;
- Analizar las incertezas que introducen la medición de las variables elegidas y estimar sus valores [E2: M: 45-49];
- Desarrollar habilidades como construir tablas y analizar gráficas, vincularlas con expresiones algebraicas y propiciar mayor movilidad entre dichas representaciones [E1: C; R: G; E2: E: 131-134];
- Promover el trabajo colaborativo a través de la formación de equipos y la interacción entre grupos;
- Desarrollar habilidades argumentativas para informar y comunicar resultados en forma clara y coherente y para fundamentar sus conclusiones.

Las variables a observar y los instrumentos previstos se consignan en la tabla I.

TABLA I. Variables a observar e instrumentos previstos.

<i>Variables a observar</i>	<i>Instrumentos de la investigación</i>
Actitudes de los estudiantes en la instancia experimental	Observación de la instancia experimental
Argumentaciones del profesor	Entrevistas a los profesores antes y después de la implementación
Argumentaciones de los alumnos	Informes de los TPL
Informes presentados por los alumnos (gráficas realizadas, incertezas, conclusiones, etc.)	Evaluaciones diseñadas por los profesores
Inclusión de temas del TP en las evaluaciones	Evaluaciones escritas de los estudiantes

B.1. El diseño

El diseño de ID que aquí se presenta contempló el desarrollo de los siguientes contenidos:

- Medición de tiempos considerando el tiempo de reacción del operador y sus incertezas;
- Medición de posición de un objeto en movimiento y estimación de la incerteza;
- Trazado de la gráfica, elección de escalas, ajuste de curvas, representación de incertezas;

- Vinculación de los resultados obtenidos con el tipo de movimiento observado y su gráfica;
- Fundamentación de hipótesis y resultados y elaboración de informes.

El diseño elaborado está integrado por tres instancias de implementación y una de evaluación:

Instancia 1: estimación del tiempo de reacción. En la clase previa a la realización experimental se discuten los procedimientos de medición de tiempos y se mide la incerteza debida al tiempo de reacción del operador mediante un software de uso público.

Se espera que los alumnos adviertan factores que influyen en las mediciones de tiempos, de los que no dan cuenta los errores de apreciación y estimen un valor para los mismos.

Instancia 2: realización experimental. Esta instancia está orientada a la observación de un objeto en movimiento, a la discusión del modelo de partícula y las variables relevantes que determinan su comportamiento, al registro de posiciones y tiempos y al análisis de factores que influyen en las mediciones y las condiciones necesarias para minimizar las incertezas.

La experiencia consiste en dejar caer una esferita de acero de 4mm aproximadamente dentro de una probeta de 30cm de altura llena de detergente a la que se le adhirió una cinta de papel milimetrado como regla graduada. La posición inicial está 5cm por debajo de la superficie del líquido. Los alumnos deberán medir los tiempos de paso de la esferita por posiciones indicadas cada 5cm. Los valores deberán ser informados en una tabla, adjuntando las incertezas correspondientes. Se prevé un tiempo para familiarizarse con el equipamiento y su uso y considerar cuáles son las mejores condiciones para realizar las mediciones.

Se espera que en esta etapa los alumnos realicen las mediciones correspondientes, estimen las incertezas presentes y organicen los resultados en una tabla.

Instancia 3: confección de gráficas y discusión de curvas de ajuste. En esta instancia se espera que los alumnos logren graficar los resultados obtenidos, tracen la curva de mejor ajuste, interpreten el tipo de movimiento a partir de las características de la curva obtenida y calculen la velocidad con su incerteza. Además, el profesor dará las consignas para la elaboración del informe.

Instancia de evaluación. Incluye la presentación de un informe y la evaluación de temas del TPL en la prueba integradora final de la unidad de MRU.

C. La experimentación: la realización didáctica y la dinámica de trabajo

Las actividades diseñadas se llevaron a la práctica en 6 cursos con un total de 187 estudiantes de tercer año de una escuela técnica. Los alumnos de cada curso se organizaron por afinidad entre ellos en grupos de trabajo de 4 a 5 estudiantes. Ello facilitó la observación de los procesos de aprendizaje y también permitió una mejor expresión de las ideas, pues promovió la comunicación entre pares.

Esta forma de organización permite el desarrollo de habilidades para la expresión oral y el cuestionamiento que los estudiantes verbalizan, defienden y justifican o argumentan sus acciones. Se propicia y estimula que los estudiantes más avanzados auxilien a quienes aún no logran el aprendizaje de un concepto o procedimiento, promoviendo así la solidaridad.

Para el desarrollo de las actividades se destinaron 180 minutos distribuidos de la siguiente manera:

- Instancia 1: una clase de 40 minutos para la estimación del tiempo de reacción.
- Instancia 2: una clase de 80 minutos para la realización experimental.
- Instancia 3: una clase de 80 minutos para la confección de gráficas y discusión de curvas de ajuste.

La entrega del informe se realizó en la semana posterior a la instancia 3 y la evaluación escrita al finalizar el desarrollo del tema MRU.

D. Análisis a posteriori

D.1. Logros observados

Los alumnos pueden expresar los resultados en forma coherente en los informes. Advierten que, aunque el objeto en movimiento observado no es una partícula, pueden operar con el modelo de partícula y consideran la extensión del cuerpo en la asignación de incertezas.

Observan los múltiples factores que afectan una situación experimental real (roce con las paredes, velocidad inicial, tensión superficial, dificultades para ver a través del detergente, alineación de la cinta graduada de medición, etc.) y discuten cuáles pueden descartarse o cómo minimizar sus efectos para mantener el modelo de partícula. (Es de destacar que es la primera vez que se encuentran con una situa-

ción experimental real en contraposición con las descripciones simplificadas de los enunciados de los problemas de lápiz y papel o de los experimentos descriptos en los textos).

Pueden organizar los datos obtenidos en una tabla y luego volcarlos en un gráfico donde respetan las escalas correspondientes e incorporan las incertezas.

Un grupo importante de estudiantes deducen la existencia de un MRU a partir de los valores de la tabla (a tramos iguales corresponden tiempos iguales) o del análisis del gráfico (si es una recta es un MRU).

Todos calculan la velocidad media a partir de los datos observados y también propagan las incertezas. Utilizan técnicas de interpolación y las interpretan correctamente. Desarrollan criterios para establecer incertezas en la medición de tiempos y posición de un objeto en movimiento y analizan la mayor complejidad y diferencias con criterios establecidos para medir la posición de un cuerpo en reposo.

Dentro del equipo de trabajo acuerdan la asignación de roles para la realización de las distintas tareas (soltar la esfera, medir tiempos y posiciones, registrar, etc.) de modo de minimizar errores humanos e incertezas de medición.

En la mayoría de los informes se ve un esfuerzo por vincular la teoría con el experimento, principalmente para identificar el gráfico de una recta con el MRU, aunque es un aspecto aún por desarrollar.

En todos los casos se produjo un desarrollo de las destrezas experimentales y de la capacidad de análisis crítico evidenciado en la forma en que realizaron las mediciones. Eventualmente algunos informes proponen posibles optimizaciones, con lo que muestran una superación del modelo “receta de laboratorio”.

D.2. Objetivos no alcanzados

Vinculación del experimento con los conceptos teóricos. Los alumnos dedujeron que el movimiento de la esferita es un MRU a partir de observar que los valores volcados en la tabla mostraban desplazamientos iguales para intervalos de tiempos iguales. La observación de que la gráfica resultaba ser una recta les confirmó dicha hipótesis. Sin embargo, llegaron a esta conclusión por asociación directa ya que en teoría se había visto que el MRU se representa por una recta: “...a este tipo de movimiento se le asigna una recta...” [I: E: 6]. No se interpretó la gráfica como la expresión de una ley de movimiento y se evidenciaron dificultades para entender la equivalencia entre las diferentes representaciones (o cuadros) que pueden asociarse a un mismo fenómeno físico (expresión algebraica, gráfica, valores numéricos).

Análisis del gráfico. La consigna indicaba medir a partir de cierta marca en la probeta en la cual la esferita había alcanzado una velocidad constante. Algunos alumnos forzaron el paso de la recta por el origen y otros graficaron a partir de cierto punto (x_0 , t_0). Sólo unos pocos dibujaron una “curva” que empalma la recta y pasa por el origen de coordenadas. No se discutieron posibles anomalías como la falta de linealidad, en el caso de haberlas.

Elaboración del informe. En los escritos de los alumnos se observaron frecuentemente dificultades para expresar las conclusiones, falta de dominio del lenguaje y errores gramaticales. Esto afecta la comprensión de los informes de laboratorio por parte del profesor y refleja no sólo las limitaciones literarias de los alumnos, sino, además, aspectos poco comprendidos que no pueden expresar con claridad.

E. Validación y conclusiones

Los logros y déficits de la propuesta involucran avances en relación a la comprensión del MRU y la adquisición de habilidades experimentales de los alumnos, como así también importantes cambios en el pensamiento de los profesores respecto al rol de los TPL en la enseñanza.

En cuanto a la contribución de los TPL al aprendizaje, podemos decir que la propuesta, además de la aplicación de los conocimientos teóricos, permite desarrollar habilidades y actitudes más cercanas al trabajo científico. Los alumnos logran modelizar situaciones reales simples, analizar fuentes de error en las mediciones, volcar datos en tablas y graficar, defender y fundamentar hipótesis, además de establecer vinculaciones con la teoría.

Sin embargo, el desfasaje entre el currículo de matemática y el de física, dificultó seriamente la interpretación de las distintas representaciones de la función lineal (expresión algebraica, gráficas y por tablas) y la movilidad entre las mismas. Esta dificultad era esperable ya que se trata de un tema muy considerado en la enseñanza de las matemáticas (Duval, 2006) y con impacto en la enseñanza de la física (García García y Perales Palacios, 2007 y Yanitelli y otros, 2014) que se deberá seguir abordando.

En cuanto a los valores locales de posición y tiempo medidos en puntos cercanos al origen, la propuesta pierde una oportunidad interesante para discutir, al menos en forma cualitativa, el movimiento variado y la velocidad límite que se alcanza, aunque no se tengan todos los conocimientos formales necesarios.

Con relación al pensamiento de los profesores, la propuesta permitió avanzar transformando los TPL, inicialmente considerados como una instancia de aprendizaje prescindible y rutinaria, en un proceso de enseñanza en el que se evidencia una fuerte intención de integración con la teoría y por desarrollar habilidades procedimentales antes no consideradas. Los profesores definieron los objetivos con mayor precisión superando la simple aplicación o verificación de ecuaciones. No circunscriben el logro de los mismos a un determinado TPL, sino que entienden que es necesario un proceso gradual y continuo a lo largo del curso para alcanzarlos. Así, en el caso del TPL de MRU, el desarrollo trascendió la clase tradicional de 80 minutos en la que los alumnos seguían consignas secuencialmente y obtenían los resultados esperados que verificaban las ecuaciones de la teoría. Por el contrario, se lo consideró, además, una oportunidad para desarrollar habilidades experimentales propias de la ciencia que podrán extrapolarse a otros TPL (modelización, estimación de incertezas, organización de resultados en tablas y gráficas, emisión y contrastación de hipótesis, etc.). A su vez, los docentes entienden que es necesario más de un desarrollo experimental para la adquisición y afianzamiento de dichas actitudes.

El trabajo conjunto de docentes e investigadores permitió consensuar un diseño acorde a los requerimientos curriculares y el nivel educativo de los alumnos, evaluar los resultados y considerar posibles mejoras. En este sentido, los docentes ya están trabajando en diseños de los próximos TPL, que además de considerar los temas desarrollados en la teoría, den continuidad al crecimiento de las actitudes y habilidades enunciadas en el presente proceso.

REFERENCIAS

- Artigue M. (1989). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 281-308.
- Artigue, M. (2011). L'ingénierie didactique: un essai de synthèse. En C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck y F. Wozniak (Eds.), *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 225-237). Grenoble: La pensée sauvage.
- Barberá, O. y Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación. *La gaceta de la RSME*, 9(1), 143-168.
- García García, J. J. y Perales Palacios, F. J. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de las ciencias*, 25(1), 107-132.
- Godino, J. D., Batanero, C., Contreras, A., Estepa, A. Lacasta, E. y Wilhelmi, M. R. (2013). La ingeniería didáctica como investigación basada en el diseño. Sitio consultado en septiembre de 2016. http://www.ugr.es/~jgodino/eos/JDGodino%20et%20al_2013%20Ingenieria%20didactica.pdf.
- González E. M. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Ens. de las cs*, 10(2), 206-211.
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorienting practical work in school sc. *Social Sc. Research*, 73(264), 56-78.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 52, 201-217.

- Kelly, A. E., Lesh, R. A. y Baek, J. Y. (Eds.). (2008). *Handbook of design research in methods in education. Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching*. NY: Routledge.
- Kirschner, P.A. (1992). Epistemology, practical work y academic skills in science education. *Sci.Educ.*, 1(3), 273-299.
- Lesh, R. y Sriraman, B. (2010). Re-conceptualizing mathematics education as a design science. En B. Sriraman y L. English (Eds.), *Theories of mathematics education. Seeing new frontiers* (pp. 123-146). Heidelberg: Springer.
- Perrin-Glorian, M. J. (2011). L'ingénierie didactique à l'interface de la recherche avec l'enseignement. Développement de ressources et formation des enseignants. En C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck y F. Wozniak (Eds.), *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 57-78). Grenoble: La pensée sauvage.
- Salinas, J. (1996). Tesis doctoral (Versión abreviada). Las prácticas de física básica en Laboratorios Universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, Volumen Extraordinario.
- Séré, M.G. (2002). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.
- Wittman, E. C. (1995). Mathematics education as a "design science". *Educ. Studies in Mathematics*, 29(4), 688-374.
- Yanitelli, M., Concari, S. B., Scancich, M. y Pérez Sottile, R. (2014). Estudio de movimientos en tiempo real. Dificultades de aprendizaje en dos diseños didácticos diferentes. *Lat.Am.J. Phys. Educ.* 8(3), 460-468.