PREDICCIÓN, ENSAYO Y SINOPSIS EN EL LABORATORIO

Lía M. Zerbino [1], Nieves N. Baade [2], Gabriel Attilio [3], Eugenio Devece [4], Jorge Stei [5]

Abstract *— Investigating the implementation of methodological innovations that allow the integration of experimentation in the theoretical and practical classes using NTIC'S, we tested the incorporation in the classes of first year physics courses, part of the material in the so-called "Active Laboratory", performing appropriate follow-up. It highlights the importance of teachers in the discussion of experimental results and comparison with predictions of the students. As an example we describe an instance in which, for some values of the variables involved, some students came apparently to corroborate predictions wrong and it required the active intervention of the teacher to guide them to modify the experience and find the correct interpretation of the experimental values obtained. The case highlights the significance of the conceptual overview and the danger of trying to achieve a significant learning only on the basis of experimentation.*

Palabras Clave: Interpretación de resultados, laboratorios activos, mecánica, rol del docente

INTRODUCCIÓN

El trabajo experimental ha sido siempre un pilar fundamental en la enseñanza de la física. Tradicionalmente se lo ha utilizado especialmente, con enfoque conductista, para enseñar a medir en forma indirecta magnitudes, extremando los cuidados para realizar apreciaciones más exactas y precisas, valorando las incertezas. Generalmente los "laboratorios" se proponían al alumno una vez desarrollada la teoría correspondiente y realizados algunos ejercicios de lápiz y papel sobre el tema. Así, pretendían, por una parte, que el alumno corroborara las teorías y leyes estudiadas y, por otra, ejercitara las habilidades y capacidades para aplicar el método científico en todos sus pasos.

En los últimos tiempos y con gran ímpetu, a partir de la incorporación de las NTIC´S ha sido posible retomar en parte, de manera superadora, algunas ideas del aprendizaje por descubrimiento. Así, se ha generado material didáctico y se han puesto en práctica metodologías que proponen además utilizar la experimentación como herramienta disparadora del aprendizaje. En muchos de esos casos se la emplea, por ejemplo, para encontrar relaciones entre magnitudes e inferir leyes, a partir de observaciones y mediciones. La incorporación de material experimental que incluye las nuevas tecnologías permite optimizar los tiempos áulicos facilitando que el laboratorio sea el referente habitual de las clases. Esto resulta un ingrediente particularmente atrayente para el desarrollo de las estrategias metodológicas que, basadas en el constructivismo, entienden que el alumno debe ser el núcleo del proceso de enseñanza – aprendizaje, y que las competencias constituyen el centro de las metas educativas.

En esa línea se encuentran trabajando distintos investigadores en enseñanza de la física que han elaborado y probado diferentes propuestas didácticas que se apoyan fuertemente en el planteo y análisis de situaciones experimentales orientadas al aprendizaje activo de la física básica universitaria y secundaria, como las que se citan en [1]-[9].

Estos desarrollos se basan en investigaciones que muestran que los estudiantes al abordar un nuevo tema necesitan primero trabajar con ideas concretas, por lo que retienen como fundamental partir de la realización de experiencias reales o mentales para llegar a lograr una comprensión significativa de los conceptos abordados.

En general utilizan un ciclo de aprendizaje que consta de los siguientes pasos: Presentación del caso, Predicción, Discusión entre pares en pequeños grupos, Observación de la experiencia, comparación entre el resultado experimental y las predicciones, y Síntesis, que suele representarse como PODS (Predicción, Observación, Discusión y Síntesis).

En particular, los materiales didácticos desarrollados por Sokoloff, Thornton y Laws proponen estrategias que pueden servir tanto para organizar actividades de trabajo de laboratorio en pequeños grupos [8], como también clases teóricas multitudinarias utilizando las llamadas Clases Demostrativas Interactivas [9].

Intentando poner en práctica una de esas propuestas metodológicas innovadoras, hemos realizado una experiencia piloto en un curso de Física de 1er año en nuestra Facultad Regional, tratando de investigar sus ventajas y desventajas a fin de analizar la viabilidad de su generalización en los otros cursos.

Para ello se ha seleccionado parte del material incluido en los manuales de [9] para utilizarlo en una clase teórico-experimental utilizando la metodología Real Time Physics [8], que aprovecha las NTIC´S para que los alumnos repiensen su interpretación del mundo físico en términos de principios científicos válidos.

1 Lía M. Zerbino, IEC-Ciencias Básicas. FRLP-UTN. Av.60 esq. 124 s/n, FI-UNLP. Calle 1 y 47. La Plata, BA, Argentina, lzerbino@ing.unlp.edu.ar
2 Nieves N. Baade, IEC-Ciencias Básicas. FRLP-UTN. Av.60 esq. 124 s/n, La Plata, BA, Argentina, nbaade@frlp.utn.edu.ar
3 Gabriel Attilio, IEC-Ciencias Básicas. FRLP-UTN. Av.60 esq. 124 s/n, La Plata, BA, Argentina, gabriel_attilio@speedy.com.ar
4 Eugenio Devece, IEC-Ciencias Básicas. FRLP-UTN. Av.60 esq. 124 s/n, FI-UNLP. Calle 1 y 47. La Plata, BA, Argentina, eugdvc@argentina.com
5 Jorge Stei, IEC-Ciencias Básicas. FRLP-UTN. Av.60 esq. 124 s/n, La Plata, BA, Argentina, jorge.stei@aes.com

EXPERIENCIA PILOTO

La situación elegida plantea un problema tipo de mecánica tradicionalmente resuelto con lápiz y papel con el objetivo de que los alumnos hallen analíticamente las diferencias en las magnitudes involucradas entre los movimientos con y sin roce. Es un problema que generalmente provoca la aparición de un conflicto cognitivo entre las ideas previas y los resultados obtenidos a partir de las leyes físicas aplicables al modelo. Su presentación a partir de una experiencia real abierta nos pareció que podía ayudar a poner rápidamente en evidencia ese conflicto y contribuir a superarlo.

Situación planteada

Suponga un dispositivo como el que se esquematiza en la Figura 1, donde hay un anclaje magnético que puede desactivarse electrónicamente. *M* es la masa de un carrito para el cual puede regularse el roce dinámico con la superficie y que tiene incluido un sensor de fuerzas. El sensor, fijo al carrito, está unido a una masa *m* por medio de un hilo ideal (sin masa e inextensible), que pasa por una polea ideal. Considere que para el tiempo *0* el anclaje está activado y que se desactiva para un tiempo t_1 posterior, a partir del cual se inicia el movimiento. Para los casos:

1) Roce prácticamente nulo o despreciable
2) Roce no despreciable.

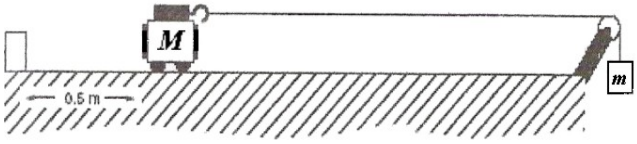

FIGURA. 1
ESQUEMA DEL PLANTEO DE LA SITUACIÓN ORIGINAL.

Dibuje sus predicciones sobre la variación de las siguientes magnitudes en función del tiempo en cada caso:

a) Velocidad de *M*
b) Aceleración de *M*
c) Tensión del hilo
d) Fuerza neta ejercida sobre *M*

Predicciones

Cada alumno completó la hoja de predicciones y las comentó con su grupo. Entre esos comentarios, como era de esperar, la variedad de las diferentes predicciones incluyó posibilidades en las que subyacen preconceptos ya conocidos, como el hecho de suponer que al suspender del hilo la misma masa *m* quedará garantizado que la tensión del hilo *T* será la misma en ambos casos. En esta etapa las predicciones no se revisan, y se debe pasar a que cada grupo realice el montaje, para medir y sacar sus conclusiones.

Montaje Experimental

Dadas las posibilidades de nuestro laboratorio y los equipos experimentales con que contamos, particularmente las características de los sensores de fuerza, los montajes debieron adaptarse a ellas. La Figura 2 muestra una de las mesas de trabajo con el dispositivo utilizado. Se fijó al carrito una polea, de manera tal que la tensión *T* medida por el sensor, considerando las poleas ideales, resultara ser la mitad de la fuerza que el hilo ejerce sobre el carrito, y, al mismo tiempo, igual a la fuerza que el hilo ejerce sobre la masa *m*, como se muestra en el esquema de la Figura 3.

Cada grupo analizó las modificaciones introducidas, y revisó sus predicciones en base a ellas, anotándolas en una nueva hoja de predicciones.

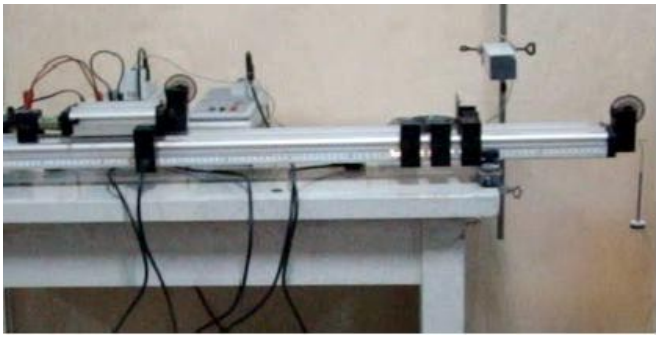

FIGURA. 2
FOTOGRAFÍA DE UNA DE LAS MESAS DE TRABAJO

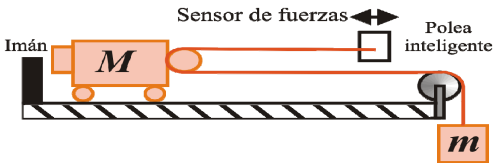

FIGURA. 2
ESQUEMA DEL MONTAJE MODIFICADO PARA LA EXPERIENCIA.

Resultados

Una vez hecha la experiencia se confrontaron los resultados con las predicciones y se pusieron en común las conclusiones de los grupos. Algunos alumnos constataron sus predicciones y otros no, generándose la discusión grupal sobre las mismas.

Por razones de espacio, en este trabajo presentaremos solamente una parte de la discusión de resultados: la que se refiere al análisis comparado de las tensiones y aceleraciones, en el que afloró, la concepción de muchos sobre que la tensión del hilo es la misma en el caso estático que en el dinámico.

Fundamentalmente la discusión se produjo porque de la interpretación que hacían de sus propios resultados, para algunos quedaba demostrado que entre los dos casos planteados (con roce y sin roce) la aceleración variaba apreciablemente pero la tensión medida en el hilo no,

mientras que para los otros variaban tanto la aceleración como la tensión.

Las gráficas de los valores medidos por los Grupos G5 y G2 que se muestran en la Figura 3 y la Figura 4 respectivamente sirven de ejemplo de este confronto. En ellas se grafican en función del tiempo en la parte superior los valores obtenidos por el sensor de fuerzas y a partir del origen los valores de posición medidos con una polea inteligente.

Es justamente a la vista de las gráficas del tipo G5, que aquellos que habían predicho la no variación de la tensión peligrosamente corroboran sus predicciones. Como es sabido en general los alumnos al ver que la masa *m* aplicada es la misma, confundiendo con el caso estático, suponen que la tensión del hilo debe ser igual a *mg*. En eso se basaban típicamente las argumentaciones de los que habían predicho que las tensiones no variaban. Al mismo tiempo los que habían asegurado que las tensiones medidas serían diferentes se sorprenden de que, según las gráficas obtenidas por G5, puedan tener prácticamente el mismo valor.

Para reencaminar el análisis los docentes propusieron hacer un estudio detenido de las gráficas en cada grupo, modificando la elección de escalas e incluyendo en ellas: los valores de la tabla para las fuerzas en el tiempo $t = 0$, los valores promedio en los intervalos en que la tensión se mantiene aproximadamente constante y una regresión a las parábolas de posición en función del tiempo que permita encontrar los valores de velocidad y aceleración correspondientes. De ese estudio surgieron las gráficas de la Figuras 5 y la Figura 6 que resultaron de mejorar y completar las precedentes. En la Figura 7 y la Figura 8 se muestran además de las gráficas de posición en función del tiempo, las respectivas de velocidad calculadas por el software del cassy lab. Para calcular las aceleraciones se ajustaron los gráficos de posición con parábolas y los de velocidad con rectas. Se mostró cómo a partir de la sola medida de posiciones, el cálculo de aceleraciones automático que provee cassy lab presenta mucha dispersión debido a que las incertezas se van propagando con los algoritmos que se utilizan para obtenerlo.

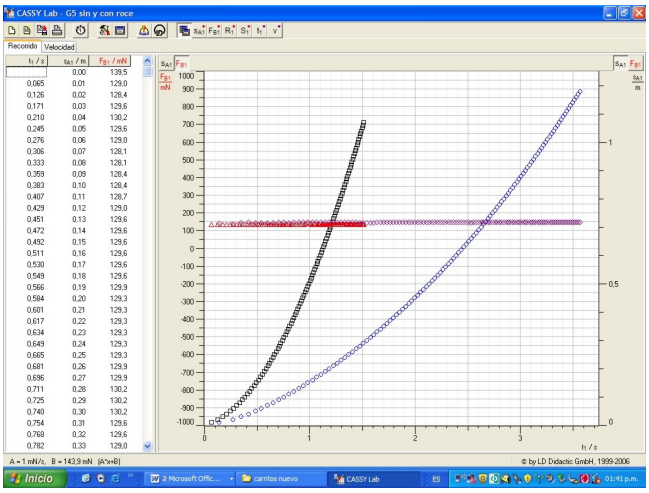

Figura. 3

GRÁFICAS ORIGINALES PRESENTADAS POR EL GRUPO G5

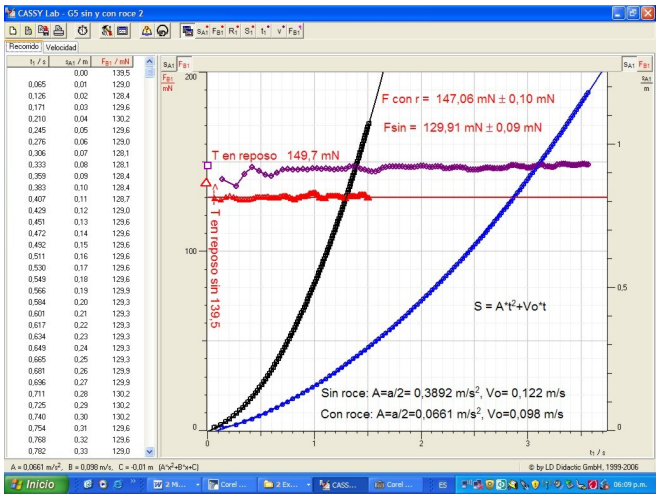

FIGURA. 4

GRÁFICAS MODIFICADAS PRESENTADAS POR EL GRUPO G5

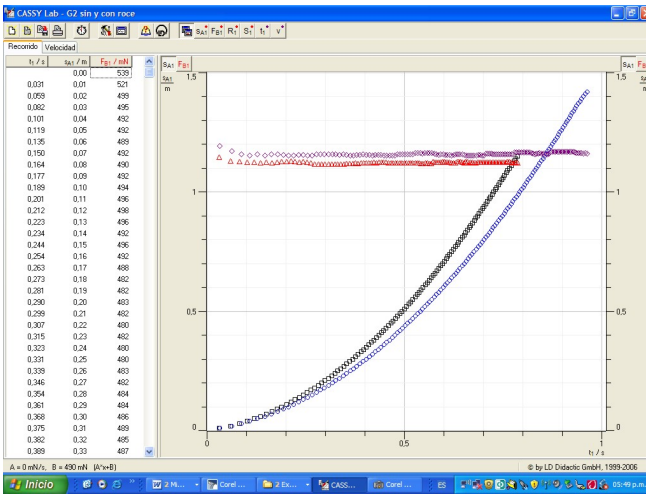

FIGURA. 4

RESULTADOS ORIGINALES PRESENTADOS POR EL GRUPO G2

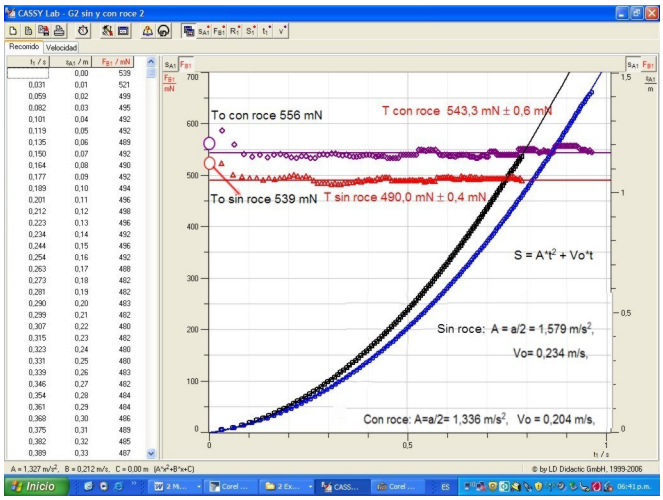

FIGURA. 5

GRÁFICAS MODIFICADAS PRESENTADAS POR EL GRUPO G2

Del análisis y discusión de las nuevas gráficas obtenidas por los grupos G5 y G2 surge claramente que en ambos casos, sin roce y con roce, hay variación en la aceleración y como corresponde, también variación en la tensión. Además se observa que en todos los casos la tensión de la cuerda cuando el cuerpo está en reposo es mayor que cuando se encuentra en movimiento. También fue posible discutir en los gráficos de la fuerza el efecto del desanclaje (transitorio entre el momento en que se desconecta el imán hasta que se establece el movimiento uniformemente acelerado del sistema). Todo eso nos permitió argumentar de manera convincente en contra de los que pensaban que la tensión del hilo era la misma en ambos casos, pensando que era siempre *mg*. Aprovechamos allí para destacar que la situación es totalmente distinta que cuando se dice que se aplica una fuerza constante: colgar siempre la misma pesa no implica aplicar siempre la misma fuerza.

En esta misma línea, y a partir de los valores de la tensión en reposo, que los alumnos habían agregado en los gráficos, se puso de manifiesto que la masa *m* utilizada por el grupo G5 era alrededor de 4 veces menor que la utilizada por el G2. Como la experiencia se montó con la elección libre de las masas *m* los resultados obtenidos por los distintos grupos fueron suficientemente diferentes como para generar la discusión.

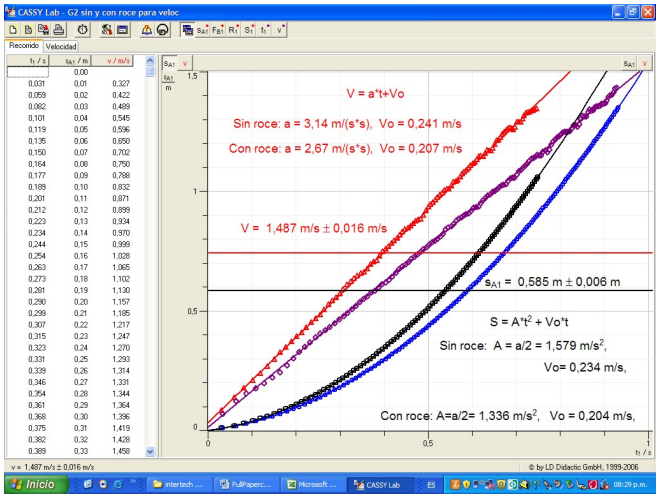

FIGURA. 6
G2 POSICIONES Y VELOCIDADES

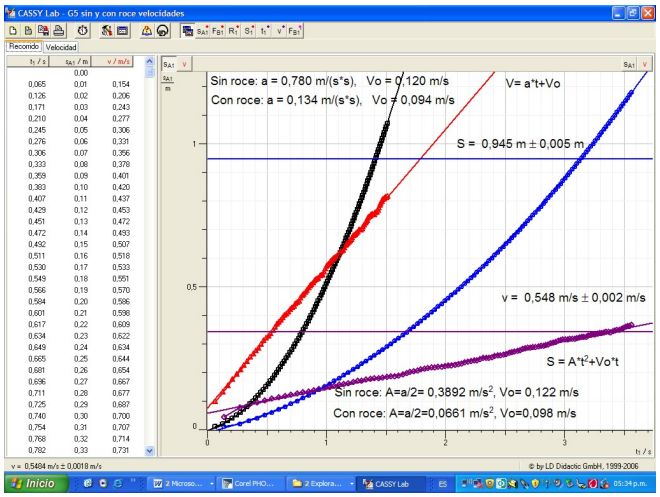

FIGURA. 7
G5 POSICIONES Y VELOCIDADES

En la Tabla I se resumen, para los dos grupos tipo, los valores obtenidos de las gráficas para las tensiones y las aceleraciones, y sus cocientes. El subíndice r corresponde a los medidos con roce. Las Tensiones se expresan en mN y las aceleraciones en m/s^2. Es evidente de las dos últimas columnas que, dentro del margen de incerteza de las medidas, para valores de *m* muy diferentes, la variación de la relación entre las tensiones con y sin roce es similar, mientras que la variación de la relación entre las aceleraciones es apreciable. Al mismo tiempo, analizando la fila de cada grupo se pone de manifiesto por qué G5 despreció la variación de las tensiones.

TABLA I
VALORES OBTENIDOS DE LAS GRÁFICAS POR LOS GRUPOS G5 Y G2

Grupo	Tr	T	ar	a	T/Tr	ar/a
5	147	130	0,13	0,78	0,88	0,17
2	543	490	2,67	3,16	0,90	0,85

Para tratar de explicar estos resultados en base a la teoría se resolvió analíticamente la situación, llegando a:

$$\frac{T}{T_r} = \frac{Mg}{Mg + 2fr} \qquad \text{y} \qquad \frac{a_r}{a} = \frac{2mg - fr}{2mg}$$

Estas ecuaciones muestran que el cociente entre las tensiones no depende de la masa *m* que cuelga, mientras que por lo contrario el cociente entre las aceleraciones depende de *m*.

Dentro del rango de incertezas, las relaciones obtenidas experimentalmente están en concordancia con estos resultados teóricos. Dados los valores de *M* y *fr* iguales y constantes para todos los grupos, se verifica que las *T* son aproximadamente 10% menores que las *Tr* en todos los casos, mientras que la relación *a/ar* varía ampliamente según la masa *m* que hayan utilizado.

Queremos destacar que el momento áulico resultó muy rico porque en esa discusión y análisis de datos, apoyado por la guía de los docentes, se descubrieron los detalles que llevaron a algunos grupos a inferir y generalizar dependencias o independencias erróneas. Al mismo tiempo se desarrollaron y profundizaron competencias para la experimentación, el análisis de incertezas y la interpretación de resultados. Además se ejercitaron el sentido crítico y la discusión con basamento científico.

Sin embargo, es de hacer notar, que los tiempos áulicos que demandó toda esta tarea sobrepasaron ampliamente los

previstos en el plan de clase original. Obviamente, esto no es significativo frente a la ventaja de generar el conflicto ante la existencia de conceptos erróneos y discutir, frente a un caso real, para superarlos.

Pero corresponde preguntarnos: ¿Con qué herramientas cuenta el alumno, ese experimentador novato, para no generalizar un resultado particular, sobre todo si coincide con sus predicciones? ¿Cómo ayudarlo a poner en duda esa conclusión y guiarlo para que no llegue a fijar conceptos erróneos?

¿Se puede, a partir de una sola medida, pensar en obviar o reemplazar los desarrollos y deducciones teóricas, sacando conclusiones de unos pocos experimentos?

Aún contando con el apoyo que nos proveen las NTIC´S, ¿es posible pretender buscar experimentalmente las relaciones y leyes que gobiernan un fenómeno en estudio sin discutir las incertezas en las medidas? ¿cuál es el criterio para aceptar como válido un resultado?

Una experiencia preliminar puede o nó mostrar la existencia de una relación entre magnitudes, pero sería peligroso que el alumno piense que se puede conformar con el primer resultado obtenido. También resultaría arriesgado que pensara que el medir con sensores garantiza que la experiencia diseñada y realizada sea significativa.

De no haber existido la discusión grupal, el confronto de conclusiones, y la participación activa de los docentes, se hubieran podido fijar o generalizar peligrosamente conclusiones incorrectas.

CONCLUSIONES

De la experiencia realizada podemos concluir que esta estrategia resultó positiva para captar el interés de los alumnos y lograr su participación activa. Los diferentes grupos discutieron y argumentaron con entusiasmo.

Para decidir sobre la posibilidad y viabilidad de su generalización a los otros cursos, como era nuestro objetivo al iniciar esta experiencia, destacamos que hemos detectado que el éxito de esta metodología depende de dos condiciones que nos parecen fundamentales:

- Contar con un equipo docente que, además de estar compenetrado de la metodología, tenga solidez, destreza, agilidad y competencia, especialmente en el trabajo experimental, suficientes para guiar el análisis de los resultados que surgen en una experiencia abierta.
- Poner énfasis en respetar, en la medida de lo posible, las importantes premisas del método científico.

Esto último nos lleva nuevamente a enfrentarnos con el eterno dilema: ¿como trabajar con los laboratorios en clase, donde los tiempos áulicos son acotados y generalmente escasos?,

- ¿Dejamos trabajar libremente a los alumnos?
- ¿Los inducimos a repetir medidas con distintos valores de las variables, probando distintos métodos, montajes…?
- ¿O, para no perder tiempo, preparamos los laboratorios eligiendo de antemano montaje, dispositivos de medida, valores y dimensiones más convenientes?

Nuestra propuesta es una postura intermedia, que se ajusta más a los tiempos áulicos que un laboratorio abierto, y no es tan conductista como la última. Pensamos que es factible dejar trabajar libremente a los grupos, en la elección del método (si es posible), del instrumental, de los rangos, etc., pero luego incluir, como paso imprescindible, la discusión general de los resultados obtenidos por diferentes grupos de trabajo, y su optimización si fuera necesario. Así se puede llegar a decidir cuándo, en conjunto, se ha arribado a un resultado generalizable, o cuándo es necesario realizar nuevas experiencias para lograrlo. Consideramos imprescindible en esta etapa la sinopsis a cargo del docente para profundizar en la parte conceptual y en la discusión de las leyes físicas que gobiernan los fenómenos estudiados. Es también fundamental que sea en esta etapa donde, a partir del trabajo realizado, surjan nuevas propuestas de situaciones que se puedan implementar en el laboratorio o resolver analíticamente con computadora o lápiz y papel.

REFERENCIAS

[1] Sokoloff, D.R., and Thornton, R.K., "Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment", *The Physics Teacher* (35), (1997) p340

[2] Thornton, R.K., and Sokoloff, D.R, "RealTime Physics: Active Learning Laboratory", *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education* American Institute of Physics, College Park, (1997). p1101

[3] Sokoloff, D.R., and Thornton, R.K., "Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula", *Am. J. Phys.* (66) 4, April (1998) p338.

[4] McDermott, L.C., Shaffer P.S., *Tutoriales para Física Introductoria* Buenos Aires , 2001, Prentice Hall

[5] Heller, P., and Heller, K., *Cooperative Group Problem Solving in Physics*, University of Minnesota, 1999

[6] Gerace, W., Dufresne, R., Leonard, W., & Mestre, J. *Minds-on Physics: Materials for Developing Concept-based Problem-solving Skills in Physics* Dubuque, IA: Kendall/Hunt 1999.

[7] Crouch, C. H., Fagen, A. P., Callan, J. Paul, Mazur, Eric "Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment?" *Am. J. Phys.* (72) 6, June (2004) p835.

[8] Sokoloff, D.R., and Thornton, R.K., Laws, P., *RealTime Physics Modules 1, 2, 3 &4* Wiley, N.Y. 2004.

[9] Sokoloff, D.R., and Thornton, R.K., *Interactive Lecture Demonstrations: Active Learning in Introductory Physics*. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J. 2004.