

Física Interactiva

Salvador Gil y Eduardo Rodríguez

*“Io stimo più il trovare un vero,
benchè di cosa leggiera,
che ‘l disputar lungamente
delle massime questioni
senza conseguir verità nissuna”*

(“Yo prefiero encontrar una verdad
de una cosa sencilla,
que discutir largamente de las cosas más profundas
sin llegar a ninguna conclusión”)

Galileo Galilei, Pere. Ristampa dell’Edizione nazionale, Firenze 1968,IV.

PRÓLOGO

Objetivos y propuesta de trabajo.

Una de las preguntas básicas que se formula un docente al elaborar un programa de para un curso, un texto o una guía de trabajo de laboratorio de física, es cuales son los objetivos a perseguir cuando se pretende "enseñar" física (u otra ciencia) a estudiantes de ciencias, ingeniería u otras ramas de la tecnología. Lo que sigue son las pautas y punto de vista que se tuvieron en cuenta en la elaboración del presente curso.

Una de las características distintivas de los tiempos que vivimos, es el constante devenir de cambios tanto tecnológicos, como económicos, políticos y sociales. También la experiencia de las últimas décadas deja en claro lo terriblemente limitado de nuestra capacidad para predecir el sentido u orientación de estos cambios. Pensemos por ejemplo ¿cuantas predicciones fueron formuladas sobre de la caída del muro de Berlín, antes de que el mismo se derrumbara ante el asombro y perplejidad de los analistas políticos más avezados y destacados?. También podemos tomar como ejemplo la presente explosión informática en la que vivimos. Las mayores empresas de informática, que en las décadas del los '70 y '80 dominaban el mercado mundial, muchas de ellas, aun poseyendo un poder económico e intelectual formidable, ni si quiera pudieron seguir los cambios dentro de sus propios campos, que le valieron cuantiosas perdidas en los últimos años. Podríamos preguntarnos asimismo si la irrupción de Internet que se esta viviendo en los últimos años fue prevista en la década de los '80. Ante estas realidades y limitaciones, surge naturalmente la pregunta: ¿cómo podemos preparar a nuestros estudiantes en ciencias y tecnología, cuando estamos casi seguros de que en su vida profesional usaran técnicas y equipos que hoy nos son desconocidos y que las técnicas y equipos con que los preparamos seguramente serán obsoletos antes que ellos egresen de nuestras universidades?. Desde luego las respuestas a estos interrogantes son muy complejas y difíciles, pero sin embargo el intento de elaborar una respuesta a estos interrogantes es un desafío ineludible para un educador.

Una posible respuesta a este dilema de la educación actual es enfatizar el desarrollo de habilidades y actitudes lo más básicas y amplias posibles, de modo tal que los estudiantes tengan la capacidad de adaptarse a situaciones nuevas y cambiantes. En ese sentido la enseñanza de las ciencias básicas, como la física en este caso, puede hacer un aporte valioso a la formación profesional, siempre y cuando se enfaticen sus aspectos formativos y metodológicos a la par de contenidos de información específicos. Así por ejemplo, cuando discutimos y estudiamos el péndulo en el laboratorio, esta claro que lo esencial no son necesariamente las leyes del mismo. Es poco probable que alguien termine trabajando con un péndulo en su vida profesional y evidentemente existe una abundante información sobre este tema en la literatura que puede ser consultada en cualquier momento. Sin embargo, la metodología que usamos para estudiar el comportamiento de un péndulo, poner a prueba nuestras hipótesis, ensayar explicaciones, analizar críticamente nuestros resultados y la búsqueda de información para lograr una mayor comprensión del problema, es común a muchas áreas del que

hacer profesional de ingenieros y tecnólogos actuales y seguramente del futuro. Por lo tanto lo que se busca en el presente curso, además que a conocer algunos **contenidos mínimos de información**, es desarrollar en los estudiantes la habilidad de enfrentarse a problemas nuevos con apertura y rigurosidad. En otras palabras lo que se busca es **que sepan como aprender cosas nuevas** y enfrentarse a ellas con confianza y buen criterio. Si estos objetivos se logran, esta experiencia educativa habrá tenido éxito.

Enfoque pedagógico adoptado en este trabajo.

Un curso de laboratorio de física no es necesariamente un ámbito donde se ilustran y demuestran todas y cada uno de los conceptos discutidos en un texto o clase teórica. Las limitaciones en tiempo, equipos y personal lo harían seguramente imposible. En ese sentido, los buenos textos, las demostraciones de clases o en vídeo, las discusiones con los docentes cumplen esa función tal vez con mayor eficacia y economía. Hay sin embargo una misión fundamental e irremplazable del laboratorio en la formación de los estudiantes, mucho más viable y provechosa que consiste en que los estudiantes aprendan el camino de como se genera el conocimiento científico mismo.

Así un objetivo que se consideró importante en este curso, es la introducción de los estudiantes a la **apreciación** y **entendimiento** de la ciencia en general y más específicamente de la física. Se enfatiza aquí el aspecto del *entendimiento* de la ciencia por sobre el de la *información científica*, es decir se privilegian los aspectos **metodológicos de la física**. Esto parte de la persuasión de **que lo que caracteriza a un científico no es aquello en lo que cree, sino las razones que lo llevan a creer en eso**. Cada teoría científica se basa en hechos empíricos. Con el transcurrir del tiempo se descubren nuevos hechos, otros son modificados o inclusive encontrados erróneos. En consecuencia nuestras concepciones científicas deben ser revisadas y modificadas. Por lo tanto el conocimiento científico es por su propia naturaleza un conocimiento tentativo que puede ser probado o refutado.

También se consideró importante en un programa de educación científica estimular en los estudiantes a desarrollar una **actitud crítica** hacía el conocimiento en general y el científico en especial. La ciencia es una herramienta muy poderosa para el entendimiento y la modificación de nuestro mundo natural, pero es también limitada. Hay muchos aspectos de la experiencia humana que no pueden ser abordados con esta metodología. Por lo tanto reconocer sus limitaciones es también una faceta esencial para el entendimiento de la misma.

Para alcanzar estos objetivos se consideró útil concentrarse más bien en pocos tópicos fundamentales donde los supuestos básicos y hechos empíricos que sostienen las teorías pertinentes son discutidos cuidadosamente. Esto es privilegiar la intensidad del tratamiento de los temas sobre la extensión y la metodología sobre la mera información.

Un laboratorio es una excelente herramienta pedagógica y en muchos aspectos, un ámbito esencial para la enseñanza de la ciencia en un nivel introductorio. El laboratorio le brinda a los estudiantes la posibilidad de *aprender a partir de sus propias experiencias*. También puede y debe ser usado para *estimular la curiosidad* y el *placer*

por la investigación y el descubrimiento. Brinda a los alumnos la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, **cometer errores y reconocerlos**, y por lo tanto aprender de ellos.

En este texto de laboratorio se adopto el criterio de guiar a los estudiantes a través de preguntas cuidadosamente seleccionadas con el fin de descubrir o redescubrir hechos nuevos e inesperados. La idea es que las preguntas formuladas estimulen la imaginación y la inventiva de los estudiantes. Creemos que esto es más productivo y estimulante que las guías tipo recetas donde se describen detalladamente los pasos a seguir para llegar a un resultado, generalmente conocido o esperado de antemano.

También se busca estimular la elaboración conjeturas razonables para explicar las observaciones realizadas (es decir la elaboración de modelos que puedan explicar las observaciones). Creemos que el encontrar resultados *inesperados* estimula el proceso de aprendizaje y mantiene el interés de los estudiantes. Esto es más constructivo que usar las sesiones de laboratorio simplemente para verificar resultados ya discutidos en los textos o en clases. Las soluciones de los problemas experimentales (como los de la vida en general) no pueden ser encontradas al final de un libro, por lo tanto es un desafío para los estudiantes que deben confiar en su propio criterio y adquirir confianza en su conocimiento.

Para la realización de varios de los experimentos propuestos se requiere el uso de sistemas de toma de datos y análisis por computadoras. Esta tecnología se ha vuelto muy accesible en los últimos años y ofrece la posibilidad de realizar experimentos más cuantitativos y con mayor precisión. Al mejorar la precisión de las mediciones, es fácil apreciar la necesidad de mejorar las teorías establecidas, también las limitaciones de los modelos propuestos se vuelven evidentes. Este tipo de vivencia difícilmente pueda ser internalizada en un ámbito distinto del laboratorio.

El estímulo de la **creatividad** es otro objetivo fundamental que puede y debe lograrse en el laboratorio. Al aceptar y alentar las variaciones a los problemas dados, es muy gratificante ver como muchos estudiantes encuentran nuevos caminos para alcanzar un objetivo dado o pueden incluso encontrar un nuevo objetivo tal vez más valioso que el originalmente concebido por el instructor. El análisis y la elaboración de los informes de laboratorio son también muy importantes en el proceso de aprendizaje. Aquí los estudiantes deben resumir sus observaciones y experiencias, describir sus resultados y compararlos con las expectativas teóricas. Asimismo, es importante para los alumnos apreciar el grado de acuerdo o desacuerdo, establecer conclusiones, etc.

Hay además, importantes subproductos provenientes de este último paso, como ser el desarrollo de la habilidad para escribir informes, utilizar computadoras para la adquisición de datos y/o para analizarlos; adquirir experiencia en conceptos básicos de estadísticas a partir de discusiones sobre los errores experimentales y del nivel de significación de sus observaciones. La utilización de instrumentos que les permita expandir su capacidad de observación y la habilidad de realizar mediciones es en sí misma una experiencia fructífera y útil.

La mayoría de los proyectos experimentales, por su naturaleza requieren ser llevados a cabo por un grupo de personas, lo que promueve la cooperación entre los estudiantes y el *trabajo en equipo*. Muchos de los proyectos experimentales, como

ocurre en la vida, no tienen un "final feliz" donde todos los datos obtenidos concuerdan con la teoría dentro de los errores. Esto a menudo no ocurre en toda su extensión por diversas razones: errores sistemáticos, carácter aproximado de las teorías expuesta en los textos, o complejidades no bien entendidas. Esto puede ser útil para que los estudiantes comprendan el carácter problemático de las ciencias y que las teorías científicas necesitan permanentemente ser corroboradas experimentalmente, ser revisadas a la luz de nuevas evidencias, o ser reemplazadas por otras más generales o racionales.

En resumen, el laboratorio naturalmente brinda una excelente oportunidad para simular situaciones bajo las cuales no solamente las ciencias se desarrollan sino también un gran número de actividades profesionales y empresariales modernas, y tal vez de la vida misma.

Muchos de los objetivos aquí propuestos y aun algunos de los experimentos que se describen fueron inspirados en los trabajos del grupo de enseñanza de la física de la Universidad de Tucumán, liderado por la Lic. Leonor C. de Cudmani, con quien el autor de estas guías ha estado asociado profesionalmente por algunos años. Otros de los objetivos aquí propuestos y también algunos de los experimentos están basado en las recomendaciones que periódicamente la American Association of Physics Teacher (AAPT) publica en dos excelentes revistas: American Journal of Physics y el Physics Teacher. También alguno de los experimentos fueron en su momento realizado como practicas especiales por estudiantes del Laboratorio 4 de la F.C.E.yN.

Objetivo Específicos de este curso.

El presente curso de laboratorio esta organizado al rededor de estudios experimentales sobre temas relacionados con metrología, mecánica, electromagnetismo, termodinámica, óptica y física moderna. En particular los experimentos propuesto intentan ilustrar los fenómenos físicos que dan sustento a las leyes básica, como son las leyes de Newton, principios de conservación, ecuaciones de Maxwell, etc. También se busca que los experimentos sean en su mayoría auto contenidos, es decir que cada una de ellos pueda ser desarrollado por los estudiantes sin necesariamente haber hecho alguno de los otros. Esto permite optimizar el uso del instrumental requerido, ya que varios grupos pueden realizar en forma simultánea varios experimentos distintos. De otro modo sería necesario contar con numerosos arreglos experimentales de una misma práctica.

Una característica pedagógica de los experimentos aquí propuesto es que los mismos están planteado de modo tal que los estudiantes *descubran los fenómenos* que dan sustento a las leyes. Esto permite además que los distintos experimentos estén en gran medida poco correlacionados con la discusión teórica de los tópicos cubiertos. De este modo es posible que al discutir en teoría un dado tema, los estudiantes ya tengan internalizados y estudiado los fenómenos que dan sustento a la teoría y a veces ocurra lo contrario. Creemos que este modo de trabajo, al simular de algún modo las características reales del desarrollo científico, permite a los estudiantes una visión más abierta y realista de la ciencia y su método. Finalmente, este modo de proceder optimizar considerablemente el uso del equipamiento requerido en el laboratorio.

Otros objetivos importantes que se persigue en este curso son:

- **Desarrollo de habilidades experimentales y analíticas.** Entre ellas destacamos la habilidad de medir cuidadosamente una magnitud física, el análisis de los errores y la elección de los instrumentos más adecuados para un dado fin.
- **Análisis crítico de los resultados,** sus implicancias y generalizaciones. La comparación de los resultados con las expectativas teóricas o a priori.
- **Uso de diversos instrumentos y equipos de laboratorio.**
- **Uso de computadoras** en la toma de datos, control de un experimento y el análisis de los resultados y la confección de informes.
- **Familiarizar a los estudiantes con la literatura actual** y la búsqueda de temas en revistas amenas y accesibles a su nivel, por ejemplo: American Journal of Physics, Physics Teacher, etc.
- Finalmente, un objetivo de mucha importancia es el *estimulo de su creatividad y sus iniciativas*. Para esto último se propone el sugerir lecturas adicionales en las revistas mencionadas, incentivar y apoyar las iniciativas y modificaciones bien fundadas que propongan los estudiantes a los experimentos. Promover la discusión de estas iniciativas en el curso y promover la organización de clubes de revistas internas.

“Nunca le diga a la gente cómo hacer las cosas.

Dícales qué es lo que tienen que hacer

Y ellos lo sorprenderán con su ingenio”.

U.S. General George Patton.

Pautas y sugerencias para el desarrollo de practicas especiales

Objetivo: ¿Qué se quiere medir? ¿Por qué?

Implementación: Arreglo experimental propuesto. Dispositivos a utilizar y su disponibilidad en el laboratorio u otra procedencia. Lista de materiales necesarios, que según la opinión de los integrantes del grupo, debieran ser comprados, acompañados de sus respectivos precios y accesibilidad en el mercado local.

Presentación de la propuesta: Al final de la presentación oral de la primera parte, cada grupo contará la propuesta elaborada para la segunda etapa. La misma deberá ser previamente discutida con los docentes correspondientes.

Criterios preliminares de evaluación del proyecto.

1. No descartar ninguna idea sin una evaluación previa. *Las ideas no se matan ni descalifican, se discuten y evalúan.*
2. Escribir cada una de las ideas que se le ocurra.
3. Investigue en la bibliografía (textos y revistas) lo más que pueda sobre el tema. ¿Cómo enfocaron el problema otros autores?, ¿Qué se puede hacer con las facilidades de las que dispone?, ¿Qué ventajas tecnológicas cree poseer Ud.?
4. Analice el tipo de equipamiento y habilidades requeridas para llevarlo adelante y tenga en cuenta los siguientes criterios:
 - ¿Involucra desarrollo y/o armado de equipos electrónicos?
 - ¿Involucra la construcción de piezas mecánicas?
 - ¿Involucra el desarrollo de algún programa de computación especial?
 - ¿Qué conocimientos de física u otras áreas se requieren para llevar adelante el proyecto?.
 - ¿Cuánto tiempo y dedicación es probable que el proyecto requiera?
 - ¿Existen en el laboratorio (o es posible conseguir) los equipos necesarios?
 - ¿Cuál es el costo de las componentes que se requieren adquirir?, ¿Cuánto tiempo tomará disponer de dichos componentes?
 - ¿Cuán probable es que funcione?. Análisis de riesgos.
 - ¿Qué espera aprender de este proyecto o cuales serían los beneficios del mismo?
5. De ser posible realice una tabla o matriz de dificultades y otro de ventajas como la siguiente:

Dificultades

Proyectos	Involucra electrónica	Involucra mecánica	Involucra programa	etc	total
Propuesta 1	2	3	2	1	9
Propuesta 2	1	3	2	2	8

En cada columna califique de 1 a 5 las dificultades que su criterio y para Ud. tiene esa columna, esto es subjetivo y depende de sus habilidades y recursos. Por ejemplo, si sabe de electrónica, la primera columna tendrá un valor muy distinto a si es un neófito. Lo mismo ocurre para las demás. Realice una tabla similar de las ventajas y beneficios. A partir de ambas elija los proyectos que resulten más ventajosos, es decir el los que la relación costo-beneficio sea mayor. (Ver Phys. Teach. 33, 394 (1995)).

Club de Revistas:

Una actividad importante para desarrollar es la lectura de artículos científicos publicados en buenas revistas tales como: American Journal of Physics, Physics Teacher (ambas publicadas por la Asociación Americana de Física AAPT), American Scientific, etc. Para todas ellas existen excelentes bases de datos que son gratis y se pueden bajar de Internet. De hecho en Internet existen muy buenos sitios para tomar ideas que puede servir como fuente de inspiración de proyectos. La propuesta consiste en reservar un bloque de media hora, administrada por cada instructor, para que los estudiantes (solos o en grupos) expongan ante el resto de sus compañeros el contenido de un artículo experimental en alguna de las revistas mencionadas. La temática del artículo puede ser libre o pautada previamente.