

LAS EXPERIENCIAS DE BÚSQUEDA DE RELACIONES ENTRE MAGNITUDES
COMO HERRAMIENTAS PARA INCORPORAR AL AULA
ASPECTOS DE LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA¹⁾

JULIA SALINAS DE SANDOVAL

Instituto de Física

Universidad Nacional de Tucumán

Argentina

RESUMEN

El trabajo se inserta en el marco general de las propuestas que insisten en la importancia de complementar las estrategias de cambio conceptual, metodológico y actitudinal a fin de favorecer el aprendizaje significativo de la Física. La bibliografía destinada a estos aspectos es amplísima, como lo revela la consulta de trabajos pertinentes (Posner y col., 1982; Gilbert y Watts, 1983; Gil Pérez, 1986).

En ese marco (cuya justificación no es objeto de este trabajo), se focaliza la atención en aspectos metodológicos que se presentan en las actividades que desarrollan los alumnos en las experiencias de laboratorio de búsqueda de relaciones entre magnitudes y se intenta rescatar algunas características de esas actividades que se consideran valiosas en un proceso de aprendizaje que promueva la formación de hábitos científicos en los estudiantes.

¹⁾ Una versión preliminar de este trabajo (Salinas, 1989) ha sido presentada en la Sexta Reunión Nacional de Educación en Física (Bariloche, Argentina, octubre 1989).

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se inscribe en una concepción constructivista del aprendizaje. En el complejo marco conceptual, metodológico y actitudinal implicado en el proceso de aprender, el trabajo se centra en el problema del cambio metodológico que parece necesario provocar para favorecer el aprendizaje significativo de la Física (Gil Pérez, 1983).

Es en ese marco que debe ser interpretado, y no como una propuesta que centre la instrucción en los procesos y se independice de los contenidos (Millar y Driver, 1987). Bajo la hipótesis de que el modelo constructivista de aprendizaje revela paralelismos con la construcción de conocimientos realizada por los científicos, este trabajo revaloriza las experiencias de búsqueda de relaciones entre magnitudes como una herramienta didáctica que permite generar valiosas situaciones de aprendizaje.

Dichas experiencias, más allá del contenido específico que puedan involucrar, y además de lo útiles que puedan ser para promover el cambio conceptual, representan una excelente oportunidad para destacar aspectos metodológicos cruciales de la investigación científica, para introducir al estudiante en una forma científica de encarar los problemas y la construcción de su aprendizaje.

Los criterios involucrados en las etapas de construcción y de convalidación del conocimiento científico pueden ser incorporados al aula analizando críticamente con los alumnos las actividades que ellos desarrollan en el planteo del problema, en la formulación de hipótesis, en la búsqueda, recolección y análisis de datos, en el empleo dado a los resultados obtenidos al aplicar las herramientas básicas de inferencia estadística, en el control de las hipótesis, en la formulación de nuevos interrogantes, etc.

Aún cuando, para concretar ideas, en el trabajo se haga mención a alguna experiencia concreta, lo que se pretende es desarrollar aquellos aspectos transferibles a otras situaciones.

Es justamente ese aspecto (el carácter metodológico, general, de las consideraciones que siguen), unido al hecho de que estas experiencias, tan ricas, pueden implementarse con gran facilidad y economía para muchos contenidos de Física básica, lo que hace que se considere a las experiencias de búsqueda de relaciones entre magnitudes como una herramienta especialmente valiosa y útil para favorecer el cambio metodológico.

2. EL PLANTEO DEL PROBLEMA. LAS MAGNITUDES SIGNIFICATIVAS. LOS LÍMITES DE VALIDEZ DEL ANÁLISIS.

El docente plantea al alumno un problema concreto de búsqueda de relaciones entre magnitudes, cuyo contenido y profundidad conceptual dependerán del nivel de instrucción (medio, terciario, universitario básico) en que se genera la situación de aprendizaje. Por ejemplo, le propone que averigüe de qué depende, dentro de un determinado orden de error experimental y dentro de determinadas características del sistema experimental, el caudal Q que se obtiene con una botella de Mariotte llena de agua destilada.

En ésta, la primera etapa en la labor que desarrollará el alumno, al profesor se le presenta la oportunidad de destacar que:

- toda hipótesis y toda acción suponen un encuadre teórico, por burdo, esquemático o parcial que éste sea, pues la experiencia se interpreta siempre a la luz de una teoría, y sólo una teoría puede hacer que un dato sea una evidencia;
- la convalidación experimental de las hipótesis estará condicionada por los rangos de valores permitidos a las variables que intervienen, así como por la sensibilidad (del método o del instrumento) que resulta de los errores experimentales en juego, aspectos ambos que determinarán los límites de validez de los resultados.

El primer aspecto señalado se pone en evidencia, de inmediato, cuando el alumno identifica las magnitudes signi-

ficativas. Es útil tener presente que un fenómeno no es sino un aspecto seleccionado de un hecho perceptible: de la extrema complejidad de un hecho, se seleccionan algunos aspectos que interesa investigar. Esos aspectos relevantes, a su vez, se simplifican y elaboran conceptualmente, dejando de lado los otros aspectos y conducen a la identificación de las magnitudes significativas en el modelo con el que se pretende representar a la realidad.

En el ejemplo de la botella de Mariotte, aún cuando el alumno no haya tenido información previa sobre hidrodinámica, el análisis preliminar, cualitativo, del funcionamiento

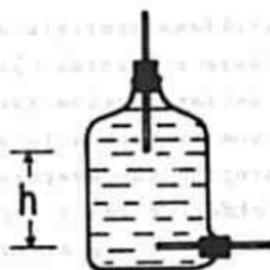


Fig. 1.- Botella de Mariotte

del sistema (así como las observaciones que ha realizado de sus experiencias de la vida diaria), le hacen suponer que el caudal Q depende fuertemente, entre otras magnitudes, de la diferencia de altura h entre los tubos vertical y horizontal, así como del radio del tubo horizontal. Y no parece que influyan apreciablemente, por ejemplo, la longitud, la inclinación o el radio del tubo vertical, o el diámetro de la botella, o el material de que están hechos los tapones, etc.

Este tipo de análisis cualitativo previo puede estar reemplazado por el conocimiento de una teoría que el alumno considera aplicable al sistema.

Lo que el docente debe destacar es que, cualquiera sea el caso, antes de medir el alumno ya ha establecido una primera, provisoria, clasificación de las magnitudes que intervienen: por un lado, las "significativas", vale decir, aquellas que dentro de la precisión de sus errores experimentales parecen influir en el comportamiento del sistema. Y las "no significativas", a las que el sistema parece ser indiferente dentro de los órdenes de magnitud considerados.

Se advierte así que el hecho de que una magnitud sea o no significativa depende de la capacidad para observar va-

riaciones pequeñas (sensibilidad del análisis), así como de los órdenes de magnitud involucrados (rango de valores permitidos al sistema). Entre magnitudes significativas y límites de validez de las relaciones encontradas hay una estrecha relación que el alumno generalmente no advierte y cuya comprensión le ayudará a no cometer el error - tan serio, y tan común - de emplear resultados fuera de contexto.

Factores que determinan el límite de validez de la convalidación experimental de hipótesis

- Rango de valores permitidos a las variables que intervienen en el sistema experimental.
- Sensibilidad (del método o del instrumento) determinada por los errores experimentales.

En el caso de la botella de Mariotte, los límites de validez de las relaciones encontradas, por ejemplo, entre el caudal Q y la altura h , dependen tanto del rango de valores permitidos, pongamos el caso, al radio del tubo horizontal (que determinará que el régimen sea laminar o turbulento), como a la sensibilidad del análisis (capacidad de detectar las variaciones de presión provocadas por apartamiento de la horizontal del tubo por el que fluye el agua destilada, por fluctuaciones en la temperatura ambiente, etc.).

Las cursivas con que se han destacado las frases "*dentro de la precisión de sus errores experimentales*" y "*dentro de los órdenes de magnitud considerados*" no son exageradas. Señalan aspectos que conviene acentuar en la instrucción, pues facilitan la comprensión de dos aspectos importantes:

- el encuadre teórico de toda observación y medición, por provisoria, incompleta y burda que sea la hipótesis que guía;
- los límites de validez de las relaciones que se encuentre.

El énfasis que se ponga al analizar y destacar estas dos cuestiones nunca será excesivo, pues se trata de aspectos que generalmente no son advertidos por los estudiantes, lo que conspira contra un aprendizaje significativo de la disciplina. ' "

3. LA RECOLECCIÓN DE DATOS

A partir de una primera, provisoria, muchas veces no explícita interpretación teórica del fenómeno, el alumno ha privilegiado a determinadas magnitudes para estudiarlo.

En general, esa identificación surge de la observación cualitativa que el alumno realiza del comportamiento del sistema en una experiencia piloto, lo que conduce a que sea válida, como ya se dijo, sólo dentro de los órdenes de magnitud (de las variables y de los errores) considerados. Este aspecto es realmente importante y nos ocuparemos nuevamente de él cuando hablemos sobre la validez de las extrapolaciones y las interpolaciones.

Identificadas las magnitudes significativas a investigar, el alumno comenzará considerándolas una a una y manteniendo constantes las otras. Por ejemplo, con la botella de Mariotte empezará midiendo Q (caudal) para distintas h (alturas) (ver figura 1). Posteriormente podrá completar su análisis variando variables acopladas.

En este momento el docente puede destacar que los datos de la experiencia aparecen desempeñando roles diferentes en la tarea encarada por el alumno.

Por una parte, en la primera etapa de aproximación al fenómeno, de observación no rigurosa del comportamiento del sistema, los datos experimentales pueden sugerir algunas primeras, provisionales, interpretaciones teóricas e identificaciones de magnitudes significativas. Pero la información suministrada por la observación y la experimentación no determina unívocamente la hipótesis o el modelo capaz de explicar los comportamientos.

Las cursivas nuevamente resaltan un aspecto crucial para la tarea docente: poner énfasis en todo momento en que la construcción del conocimiento científico no es una mera actividad empírica e inductivista, sino una auténtica elaboración, una creación intelectual transfenomenica. Tampoco se trata, por supuesto, de una creación arbitraria y sin sentido de la inteligencia del hombre, sino que representa "el resulta-

do de un esfuerzo imaginativo deliberado por representar un objeto real" (Bunge, 1975).

Muchas veces este aspecto genera encendidas discusiones con los estudiantes. Acostumbrados a las presentaciones que realizan en general los docentes y los textos habituales de estudio, donde "los hechos" imponen las conceptualizaciones, ellos encaran su labor experimental (y el estudio de la disciplina) con preconceptos metodológicos tan importantes como sus preconceptos conceptuales. Comprender que el conocimiento científico (y el aprendizaje de la disciplina) se construye trascendiendo los hechos y elaborando modelos, implica un cambio epistemológico que de ningún modo se da por añadidura y que requiere de estrategias docentes específicas.

Continuando con el análisis de los roles desempeñados por los datos experimentales, el docente debe intentar que las situaciones de aprendizaje generadas en el aula muestren que cuando los datos surgen de la realización de experiencias piloto o de búsqueda sistemática de relaciones entre magnitudes, ellos brindan información que es útil para describir comportamientos y también como referencia para una actividad teoretizadora explícita que pretenda explicar esos comportamientos. Pero aislados de una teoría, los datos experienciales sólo pueden conducir a generalizaciones empíricas. De ningún modo pueden por sí mismos dar lugar a hipótesis científicas, que requieren siempre de una actividad creadora capaz de trascender los hechos (Bunge, 1980).

Finalmente, cuando los datos experimentales se obtienen como resultado de experiencias diseñadas para controlar el cumplimiento de las predicciones surgidas de la teoretización, los datos experimentales aparecen como jueces, aunque no concluyentes, de la validez de la teoría.

El alumno, entonces, continúa con su tarea, realizando las mediciones de las variables que ha seleccionado en su sistema. Empleando las herramientas básicas que proporcionan las teorías de cálculo de errores experimentales (Cudmani, 1984; Cernuschi, 1968; Jódar, 1981), repite cada medición las ve-

ces necesarias y obtiene finalmente una tabla de valores en la que cada valor ha sido acotado teniendo en cuenta los errores mínimos, propios del método de medición, y los errores accidentales. Los supuestos, fuentes de errores sistemáticos (Cudmani y Dalinas, 1989), habrán sido también analizados.

4. LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES. VALIDEZ DE LA INTERPOLACIÓN Y DE LA EXTRAPOLACIÓN. EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LA RELACIÓN.

La representación gráfica correcta de los valores tabulados puede realizarse sin mayores dificultades (Cudmani, 1984) y conducirá a un sistema de ejes donde aparecerán, distribuidos de alguna manera, los rectángulos representativos de los valores medidos con su cota de error.

El alumno enfrenta ahora otra etapa que le exige creatividad y rigor en el análisis.

¿Cómo considerar los "huecos" entre los puntos representados?. ¿Qué supuestos fundamentales está haciendo cuando traza una línea continua para unir esos puntos?. ¿Cómo puede fundamentarlo?

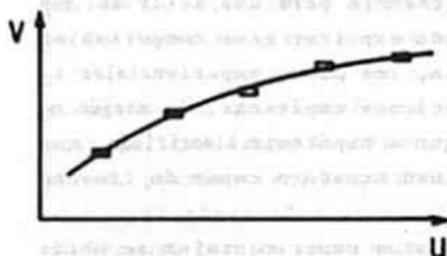


Fig. 2

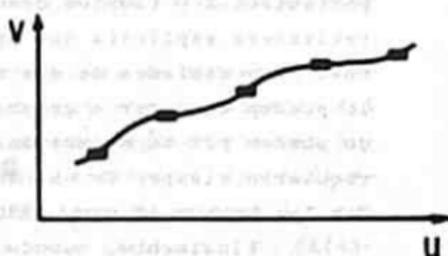


Fig. 3

Diferentes comportamientos continuos impuestos a las variables correlacionadas $[u;v]$.

Los valores representados de $(u;v)$ en las figuras 2 y 3 son los mismos. Las curvas trazadas en los dos casos respetan los valores experimentales. ¿Son lícitas?. ¿Alguna es más lícita que la otra?.

En primer lugar, debe advertirse que en ambos casos se ha impuesto a los "huecos" comportamientos que no han sido controlados experimentalmente. En ausencia de una teoría científica aplicable al sistema, no hay justificación para tal interpolación, salvo la que puede surgir (*dentro de la sensibilidad del método empleado*) de la observación cualitativa cuidadosa del comportamiento del sistema a medida que se modifica (*con la continuidad que permite el sistema*) los valores de las variables en juego.

Porque efectivamente, sin un respaldo teórico, no sólo es cuestionable la extrapolación. En la interpolación también se impone al sistema un comportamiento que no ha sido observado.

Los alumnos se asombran ante este notable "descubrimiento". Pues aunque pueden aceptar que no es válido extrapolar, vale decir, prolongar la curva para valores menores a los mínimos o mayores a los máximos determinados para las variables, ahora advierten que, en ausencia de una teoría, tampoco pueden justificar científicamente la interpolación, vale decir, el trazado de la curva por valores de las variables que son intermedios, pero que no han sido medidos.

Advertidos de la trascendencia de un acto realizado muchas veces sin reflexión, los alumnos rápidamente advierten que ellos conocen, efectivamente, situaciones en las que una interpolación acrítica conduce a distorsionar totalmente el comportamiento del sistema bajo estudio, "lavando" o modificando los valores que se obtendrían si se hicieran las mediciones para esos valores intermedios de las variables.

La figura 4 muestra cómo una interpolación apresurada puede alterar radicalmente el fenómeno de resonancia en un sistema oscilatorio forzado. Este y otros son buenos ejemplos, que muchas veces rescatan los mismos estudiantes, para dejar bien establecido este punto: si no se dispone de una teoría aplicable al sistema bajo estudio, la curva continua que se traza no es nada más que una hipótesis preliminar, con un valor de verdad extremadamente bajo.

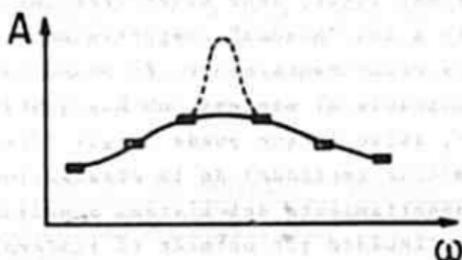


Fig. 4 - Una interpolación apresurada.

Sin una teoría científica que la avale, la curva continua trazada en las figuras 2 y 3 sólo puede sostenerse con los argumentos, muchas veces débiles, de una cuidadosa observación, o con los más cuestionables aún que surgen de convicciones metafísicas sobre la continuidad de los fenómenos. Las conclusiones obtenidas sobre la base de consideraciones de este tipo pueden ser aceptadas provisoriamente como regularidades empíricas a las que aún debe darse explicación insertándolas en teorías que las contengan.

La cuestión de la continuidad de los fenómenos físicos es un aspecto que el docente debe intentar no descuidar. Debe informar al alumno sobre la existencia de fenómenos discontinuos (por ejemplo, la emisión de las sustancias radioactivas, para no mencionar fenómenos cuánticos), a fin de que éste sea consciente de cuán endeble es su hipótesis de un comportamiento continuo si no es capaz de fundamentarla con ayuda de una teoría científica que explique y prediga ese comportamiento.

El docente debe mostrar al alumno que el hecho de unir los puntos experimentales por una curva continua significa suponer una sensibilidad infinita en el sistema medidor, vale decir, la capacidad de medir los valores de puntos con separación infinitesimalmente pequeña entre ellos. Para no asegurar lo que no se ha controlado, será necesario indicar que la relación entre las variables se propone:

- dentro de un determinado rango de variación de $(u;v)$;

- para una determinada sensibilidad en la variación de u y en la medición de v .

Pero si, además de trazar la curva continua, el alumno propone un comportamiento como el de la figura 2, el docente debe señalar que a la exigencia de continuidad se ha agregado ahora la de sencillez (obsérvese que las fluctuaciones en la curva de la figura 3 están dentro del orden de los errores experimentales).

Y si no se dispone de una teoría que explique ese comportamiento sencillo, para esta imposición tampoco hay fundamentos científicos. En efecto, podría pensarse que la sencillez es una exigencia que sólo surge de nuestra ignorancia. En este sentido, la historia de la Física muestra, junto con notables hipótesis formuladas a partir de la consideración de consideraciones de sencillez, simetría, belleza, etc., otros resultados, no menos notables, que, al profundizar en el conocimiento del fenómeno, transforman esa inicial sencillez en gran complejidad (Bunge, 1985; Papp, 1951).

Ante la ausencia de una teoría aplicable a la situación bajo estudio, hay sin embargo un argumento de tipo metodológico para preferir la curva de la figura 2: ella supone menos imposiciones sobre el comportamiento del sistema. De alguna manera, respeta más los valores medidos para $(u;v)$ que la curva de la figura 3. La interpolación no avanza sobre valores de las variables que sean muy diferentes de los valores medidos. Sin embargo, éste es un argumento de doble filo (recordar el ejemplo de la figura 4).

De esta manera, fundamentando sobre la base de una teoría científica que se supone aplicable, o sobre argumentos metodológicos, o sobre consideraciones no científicas de continuidad y sencillez, el alumno propone una curva que se supone representa el comportamiento de las variables en el sistema particular considerado y en el rango de valores analizado para las magnitudes y para los errores.

El estudiante enfrenta ahora el problema de traducir a lenguaje matemático esa relación: se trata de encontrar los valores y las cotas de error de los parámetros que vinculan a las variables medidas.

En diferentes textos (Cudmani, 1984; Cernuschi, 1968; Jódar, 1981) el alumno puede encontrar el desarrollo del mé

todo de cuadrados mínimos, que permite obtener los valores de los parámetros y sus errores medios cuadráticos.

El docente debe tener claro que no necesariamente es ésa la cota con que debe expresarse el mejor valor de los parámetros. En efecto, para estimar dicha cota de error deben considerarse sus componentes:

- accidental (error cuadrático-medio);
- mínima (mediante propagación de los errores cometidos al medir u y v);
- sistemática (mediante control riguroso de las condiciones de medición de u y v).

Supuesta corregida la componente sistemática, el error final del parámetro es la suma de las componentes accidental y mínima y no meramente el error cuadrático medio, como incorrectamente se considera con demasiada frecuencia.

El estudiante ha llegado a una expresión matemática que relaciona a las dos variables medidas, u y v , a través de parámetros cuyos valores acotados han sido determinados.

¿Qué utilidad tiene esa relación?

5. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RELACIÓN ENCONTRADA ENTRE LAS MAGNITUDES

El alumno ha trabajado con un sistema experimental de terminado. Ha intentado garantizar que, aparte de las magnitudes que está midiendo, las otras variables significativas permanezcan constantes. Pero esas otras variables significativas pueden haber dejado de lado alguna cuya incidencia, significativa, no haya sido advertida.

Por ejemplo, retornando al problema mencionado de investigar la dependencia entre el caudal Q y la altura h (ver figura 1) en una botella de Mariotte, podría ocurrir que no se controle la horizontalidad del tubo capilar en cada medición.

Si el análisis previo del sistema se ha realizado en el contexto de una teoría científica (dinámica de fluidos, en

este caso), este tipo de condiciones habrá surgido con claridad al considerar los supuestos del modelo que, de no cumplirse, podrían dar lugar a errores sistemáticos en las mediciones.

Y en ese caso, la relación hallada tendrá el carácter de una convalidación experimental de esa teoría en cuyo marco se ha desarrollado el trabajo.

Pero si las actividades se han planteado en ausencia de una teoría perteneciente al cuerpo de conocimientos de la Física, y las mediciones se han realizado sólo sobre la base de un análisis cualitativo previo del comportamiento del sistema, la situación varía radicalmente.

¿Qué validez puede asignar el alumno en ese caso a la relación que ha encontrado?. La pregunta no está dirigida en este caso a la discusión del límite de validez de la relación, que, como se vió, está determinado tanto por el rango de valores permitido a las variables durante las experiencias como por la sensibilidad del método o de los instrumentos empleados. La atención se focaliza ahora en el cuestionamiento del grado de verdad de la relación hallada, así como a la discusión sobre su nivel en la estructura del conocimiento científico. ¿Puede afirmarse que se trata de una ley?.

El alumno advierte que no puede pretenderse generalidad de una expresión obtenida para un caso particular. ¿Cuál debe ser entonces el camino?. ¿Comenzar una serie de repeticiones de la experiencia, obtener una y otra vez relaciones del mismo tipo?.

De esa manera sólo podrá afirmarse que se observa una tendencia. Y para suponer que esa tendencia oculta una ley, será preciso, no sólo que los datos muestren un claro agrupamiento alrededor de la curva que los representa, sino también, y fundamentalmente, "disponer de un modelo teórico que explique el comportamiento subyacente a las perturbaciones azarosas" (Bunge, 1985) y que sea capaz de predecir nuevos comportamientos controlables experimentalmente.

Si no se consideró una teoría como marco explícito de la labor, ha llegado el momento en que no puede obviársela más.

El conocimiento científico no se obtiene acumulando información sin interpretación ni teoretización, pues no busca describir, sino explicar. Con la mera explicación sólo puede conseguirse establecer un conjunto de enunciados de muy bajo nivel de generalidad, que alcanzarán significado y utilidad teórica cuando puedan ser explicados mediante hipótesis que sean capaces de predecirlos, aunque sea parcialmente, así como de predecir otros comportamientos aún no obtenidos pero obtenibles experimentalmente.

"La observación cuidadosa, junto con alguna hipótesis que la guíe, es un camino que lleva a leyes de bajo nivel (hipótesis observacionales) y nada más" (Bunge, 1985).

Estas consideraciones colisionan la mayoría de las veces con la epistemología del sentido común (Gil Pérez, 1983) que, sin hacer explícita, manejan los estudiantes. Parece conveniente que el docente busque generar situaciones de aprendizaje que lleven al estudiante a explicitar sus criterios metodológicos y a cuestionarlos.

Una situación interesante y valiosa en este sentido se presenta cuando la ley que explica los datos supone una función no algebraica (trascendente), como las trigonométricas, las logarítmicas, las exponenciales.

Consideremos la práctica, habitual en laboratorios introductorios, en la que se mide la amplitud A en función del tiempo t para un sistema oscilador amortiguado, como un ejemplo de lo que estamos diciendo. Podría tratarse, entre muchas otras posibilidades, de un sistema masa-resorte.

Trabajando en condiciones experimentales cuidadosamente controladas, repitiendo cuantas veces sea necesario las mediciones y proponiendo como relación entre A y t a un polinomio con el suficiente número de términos, será posible una aproximación cuantitativa tan ajustada como se quiera entre la función trascendente (en este caso, la exponencial decreciente envolvente de las amplitudes de oscilación) y su aproximación algebraica, obtenida con el método de cuadrados mínimos.

"Esta diferencia puede no tener importancia para fines prácticos. AÚN más: la ley puede ser empíricamente indistinguible de la correspondiente generalización empírica si el proceso de interpolación se lleva adelante suficientemente.

Pero teóricamente la diferencia es abismal. Primero: mientras que el polinomio cubre y generaliza un conjunto finito de datos, la ley exacta cubre un conjunto de datos potencialmente infinito. Segundo: no es posible explicar ninguna de las aproximaciones algebraicas a la ley, la cual, sí puede explicarse con ayuda de leyes de nivel superior. Dicho de otro modo: mientras que la ley exacta es susceptible de teorización, la generalización empírica se queda fuera de la teoría" (Bunge, 1985, página 351).

Por otra parte, un conjunto cualquiera de datos empíricos puede ser representado por muchísimas funciones algebraicas y no algebraicas. En ausencia de una teoría, ¿qué criterio fundado científicamente puede emplearse para optar por una de ellas?

Al enfrentar al estudiante con interrogantes de esta naturaleza se consigue que en muchos casos se haga evidente para él la contradicción entre sus criterios metodológicos previos y los criterios metodológicos científicos, lo que lo conduce a una actitud crítica que el docente debe intentar favorecer, enfrentando al estudiante con nuevas situaciones cuestionadoras.

Finalmente, el docente puede mostrar al alumno que las correlaciones obtenidas con las técnicas de interpolación no permiten interpretar el significado físico de los parámetros que intervienen, lo que sólo puede conseguirse insertando la relación en una teoría que la incluya.

Esta consideración es muchas veces importante para el cambio metodológico que se pretende, pues los alumnos advierten rápida y fácilmente la imposibilidad de interpretar físicamente los parámetros determinados algebraicamente al margen de una teoría y la consecuente incapacidad de predecir nuevos comportamientos en el sistema. Por ejemplo, si en la

experiencia ya mencionada con la botella de Mariotte (ver figura 1) se ha determinado que $Q = K.h$, con $K = (243 \pm 2) \cdot 10^{-4}$ cm^2/seg , ¿qué puede decirse acerca del comportamiento del sistema si se varía la temperatura, el líquido, el tubo capilar, el recipiente...?. La comprensión de estas limitaciones es ya un cuestionamiento a las concepciones inductivo-empiristas de construcción del conocimiento científico.

6. CONCLUSIONES

Las experiencias de búsqueda de relaciones entre magnitudes se muestran como una importante oportunidad en el proceso de aprendizaje de la Física por las posibilidades que brindan para aproximar las prácticas de laboratorio a las verdaderas tareas de investigación científica, favoreciendo el cambio metodológico y el aprendizaje significativo de la disciplina.

En efecto, los criterios empleados para:

- formular el problema,
- identificar las magnitudes significativas,
- recoger los datos experimentales,
- establecer las relaciones entre magnitudes y
- analizar los alcances y limitaciones de esas relaciones

permiten clarificar una serie de características fundamentales de la metodología científica.

El conocimiento científico no se construye generalizando resultados obtenidos en experiencias particulares. En efecto, aún cuando la observación cuidadosa es conveniente (y muchas veces, necesaria); aún cuando la historia de la ciencia muestra que en general los enunciados de bajo nivel aparecen cronológicamente antes que las hipótesis de alto nivel que los explican (y que los preceden desde el punto de vista de la lógica); aún cuando la inducción puede ser una herramienta empleada en el establecimiento de esos enunciados de bajo nivel; aún cuando la paciencia, las computadoras, los métodos matemáticos y las técnicas de regresión estadística pue

dan ser auxiliares más o menos valiosos en la investigación y en el aprendizaje significativo de la Física; aún así, todo esto no refleja las características más esenciales y valiosas del proceso de construcción del conocimiento científico.

El razonamiento autónomo, crítico y creativo, la invención y el talento son esenciales para la construcción de los pilares más sólidos del conocimiento científico, para trascender los hechos y acceder al enunciado de hipótesis transfenoménicas capaces de explicar esos mismos hechos (Bunge, 1980).

Aún cuando las hipótesis de bajo nivel actúan como control de las de alto nivel, pues deben estar implicadas por éstas, sin embargo no las sugieren unívocamente, de modo que siempre hay genuina invención, aunque no arbitrariedad ni absoluta libertad, en la creación de las hipótesis científicas.

Más que los hechos, la principal fuente de descubrimiento de nuevos hechos es la elaboración teórica de los datos y su comparación con las predicciones.

Es en este marco que deben generarse las situaciones de aprendizaje. Entonces, las experiencias de búsqueda de relaciones entre magnitudes no se reducirán a una metodología no científica, empírico-inductiva, de establecimiento de expresiones meramente descriptivas, características de ciencias no maduras. Por el contrario, dichas experiencias aparecerán como situaciones de aprendizaje particularmente útiles para:

- distinguir las etapas de formulación de hipótesis, construcción hipotético-deductiva de teorías y contrastación experimental de resultados teóricos;
- evidenciar que toda observación y toda medición se realiza, consciente o inconscientemente, en el marco de interpretaciones que suponen una teoría, por incipiente que ella sea;
- poner de manifiesto que sólo la teorización, trascendiendo los hechos, es capaz de precisar el significado de los conceptos científicos y de las relaciones entre magnitudes;
- introducir al estudiante, en síntesis, al análisis y discu

sión de los criterios empleados en la práctica científica para construir y contrastar el conocimiento.

Las situaciones de aprendizaje vinculadas con la búsqueda de relaciones entre magnitudes deben generarse de modo que presenten un permanente interjuego entre:

- las relaciones entre magnitudes halladas empíricamente,
- la inserción de esas relaciones en una teoría científica,
- la predicción de nuevos comportamientos,
- el control experimental de esas predicciones,

en un proceso de realimentación permanente entre teoría y experiencia.

Así, de la labor desarrollada por los estudiantes en el laboratorio, emergen:

- la fundamentación teórica y
- la contrastación experimental

como los pilares en que se asienta la formulación de hipótesis científicas.

RECONOCIMIENTOS

Mi visión de la problemática abordada en este trabajo se enriqueció con las opiniones de Leonor Colombo de Cudmani y Marta Pesa de Danón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bunge, M., 1980, *La ciencia, su método y su filosofía* (Ed. Siglo XX, Buenos Aires).
- Bunge, M., 1985, *La investigación científica* (Ed. Ariel, Barcelona).
- Cernuschí, F., 1968, *Teoría de errores de mediciones* (Ed. Eudeba, Buenos Aires).
- Cudmani, L.C. de, 1984, *Cálculo de errores experimentales* (Ed. Cuecet-UNI, Tucumán, Argentina).
- Cudmani, L.C. de y Salinas de Sandoval, J., 1989, *La Física, una ciencia exacta?*, *Memorias de REF 6, Bariloche, Argentina*, 198-209.

- Gilbert, J.K. y Watts, D.M., 1983, Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing prospective in science education, *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- Gil Pérez, D., 1983, Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las ciencias*, 1(1), 26-33.
- Gil Pérez, D., 1986, La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas, *Enseñanza de las ciencias*, 4(2), 111-121.
- Jódar, B., 1981, *Análisis estadístico de experimentos* (Ed. Alhambra, Madrid).
- Millar, R. y Driver, R., 1987, Beyond Processes, *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. y Gertzog, W.A., 1982, Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Salinas de Sandoval, J., 1989, La búsqueda de relaciones entre magnitudes en el aprendizaje significativo de la Física, *Memorias de REF 6*, Bariloche, Argentina, 210-221.