

## DISTINTOS TIPOS DE CONSTANTES EN FÍSICA Y APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LA DISCIPLINA

COLOMBO DE CUDMANI, L., SALINAS DE SANDOVAL, J. y PESA DE DANON, M.  
Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.  
Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

---

### SUMMARY

From teaching experience data, some problems referred to the learning of conceptualizations of constants that appear in the relation between physical magnitudes, are delimited.

Some significative problems are identified. Two general hypothesis and four derived hypothesis are formulated. In order to get more information some questionnaires are prepared. The students' answers are analysed in different groups. Some clues are identified trying to explain the observed behaviours. They are useful as a base for the proposal of teaching strategies.

---

### IDEAS PRELIMINARES

En los últimos años hemos venido trabajando sobre los problemas que genera el divorcio entre método y contenido en la enseñanza y en el aprendizaje de la física.

Hemos enmarcado el problema en un marco teórico que integra como ejes estructurales los aportes de:

- \* un modelo psicológico constructivista del aprendizaje;
- \* una concepción epistemológica de la disciplina acorde a los contenidos concretos que son objeto del proceso educativo encarado.

Y hemos investigado experimentalmente sobre algunas situaciones del aula en las que se ponen de manifiesto dificultades que pueden ser atribuidas a dicho divorcio.

En este trabajo abordamos, dentro de dicho marco, una problemática de aprendizaje de física vinculada a la dificultad de los estudiantes de ciclos básicos universitarios para comprender la naturaleza y el significado físico de constantes y parámetros que intervienen en las expresiones formales de las leyes y teorías científicas.

Cuando se establecen relaciones entre variables y se las simboliza en una ecuación matemática, aparecen las llamadas «constantes», cuyo significado físico no suele analizarse con suficiente cuidado, generándose así dificultades para su aprendizaje.

En muchas ocasiones el análisis realizado en los textos y en las informaciones de que dispone el estudiante se limita a expresiones tales como *donde K es una constante*, sin más. O, a lo sumo, con algún agregado al pasar, tal como *es una constante que depende del resorte o del medio*, que no aclara suficientemente la naturaleza y el significado físico de la relación bajo estudio.

Como resultado de la ausencia de una reflexión sobre los límites de validez impuestos a «la constancia de la constante», muchas veces los estudiantes le atribuyen, por ejemplo, un carácter «absoluto». Luego surgen las perplejidades y no comprenden por qué ese «n» (índice de refracción) que aparece como una constante característica del medio cuando estudia la ley de la refracción, aparece luego, en la dispersión, dependiendo de la frecuencia de la luz, o en la polarización, dependiendo del

plano de la polarización. No es habitual que libros y docentes se tomen el debido trabajo para mostrar cuándo (y por qué!) se cambió el modelo y, por tanto, los supuestos que validaban las relaciones funcionales. Situaciones como estas se repiten con frecuencia en distintos temas: con la resistividad y capacidad de un conductor, por ejemplo, para no hablar del coeficiente de autoinducción, una de las «constantes» menos constante de la física.

En la instrucción habitual no se favorece una discriminación entre las distintas categorías de constantes físicas. Para los estudiantes no parece estar claro que en física hay constantes de muy diversos tipos, ni, mucho menos, que es lo que las diferencia. Las funciones que desempeñan en el conocimiento físico la «constante de Planck» y la «constante de un resorte», por ejemplo, son sin duda distintas, y los estudiantes así lo reconocen. Pero la *naturaleza* de la diferencia parece escapar a su comprensión. Del mismo modo, los confunde que la amplitud de oscilación pueda ser una condición inicial impuesta externamente a un sistema, en el caso de oscilaciones libres, o un parámetro característico de un sistema oscilatorio dado, en el caso de oscilaciones forzadas. Constantes universales, propiedades intensivas, parámetros de un sistema, condiciones de borde... todas son «constantes». Para muchos estudiantes aparecen confusamente mezcladas.

Con alarmante frecuencia, los estudiantes realizan una lectura acrítica de las relaciones entre magnitudes, sin comprender su significado funcional. De ese modo, afirman que el coeficiente de tensión superficial depende del radio del tubo empleado para medirlo, que la resistencia de un conductor es inversamente proporcional a la corriente que circula, que el índice de refracción de un sólido varía con el ángulo del prisma, que la resistencia de un circuito RC es proporcional al tiempo de carga del capacitor, que la conductividad de una solución electrolítica disminuye cuando aumenta la superficie del electrodo, etc. Para muchos estudiantes, parece ser eso lo que se *deduce de las fórmulas*.

Observamos también frustración y perplejidad en los estudiantes cuando no comprenden por qué se definen diferentes constantes en relación con una misma propiedad: Frecuencia, período y frecuencia angular; coeficiente dieléctrico, permitividad y susceptibilidad dieléctrica... Son numerosos los estudiantes que no reconocen utilidad alguna a la definición de «tantas constantes si, conociendo una, se pueden *calcular* las otras».

En síntesis, en muchas circunstancias se pierde para los estudiantes el ropaje conceptual que acompaña a la fórmula matemática y que le otorga significados cualitativos. Cuando no se comprende la índole de la función que cumplen los valores «constantes», se producen falsas interpretaciones, confusiones, errores conceptuales del contenido teórico de la física. Queda sólo un simbolismo que se ha vaciado de la significación capaz de dar rigor conceptual a su aplicación eficiente. Y sin rigor conceptual, el rigor cuantitativo carece de sentido.

Desde hace muchos años, en nuestra práctica docente venimos detectando y tomando en consideración cuestiones como las mencionadas. Nos propusimos realizar un estudio más sistemático preparando instrumentos para recoger información específica a fin de controlar nuestras hipótesis. En este trabajo presentamos los primeros resultados obtenidos.

### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE TRABAJO

A fin de delimitar y precisar el problema que queremos investigar en relación con las observaciones y datos empíricos esbozados, lo encuadraremos en un modelo de aprendizaje sustentado en la psicología constructivista. En este marco, el cambio en la estructura cognoscitiva asociado a un aprendizaje significativo de la física clásica implica cambios conceptuales, actitudinales, metodológicos, axiológicos, epistemológicos, que permiten superar la «física del sentido común» elaborada espontáneamente en la interacción cotidiana con otras personas y con los fenómenos naturales (Cudmani, Salinas y Pesa 1994, Gil y Carrascosa 1985, Carrascosa y Gil 1985).

Muchas de las dificultades mencionadas podrían provenir de la incapacidad de las estrategias instruccionales para producir en los estudiantes cambios no conceptuales, en particular epistemológicos y actitudinales, que les permitan reconocer las grandes diferencias que existen entre los distintos tipos de leyes físicas. En otros trabajos (Salinas 1991, Salinas y Cudmani 1993) ya nos hemos ocupado de aspectos del aprendizaje en que esta discriminación crea dificultades.

Es fundamental que los estudiantes puedan reconocer los diferentes papeles que desempeñan, en las estructuras sintáctica y sustantiva de la física, leyes de nivel ontológico, lógico, pragmático, empírico y normativo, como bien destaca Bunge (1980) en su análisis sobre este tema. Cuando los enunciados legaliformes se traducen en símbolos matemáticos, se introducen parámetros, condiciones iniciales y de contorno, constantes universales, constantes que miden propiedades intensivas, etc. según el estatus de la ley en el sistema axiomático de la teoría.

Otra fuente de dificultades para una correcta comprensión de las constantes físicas podría provenir de que, en general, en la instrucción habitual no se favorecen la comprensión y el reconocimiento de los límites de validez del modelo referencial de las leyes en cuestión. Los estudiantes carecen de criterios para comprender la relación entre dicho modelo y la realidad fáctica que tiene como referente (Cudmani y Salinas 1991), y no comprenden entonces la medida en que la naturaleza de las constantes depende de los supuestos teóricos.

Podríamos resumir estas ideas en la siguiente hipótesis general:

H1. «Muchas de las dificultades de aprendizaje sobre las constantes físicas son consecuencia de una falta de reflexión epistemológica sobre el estatus de los distintos tipos de leyes en la física y sobre los límites de validez de los modelos teóricos referenciales.»

Es posible formular otra hipótesis general explicativa de comportamientos como los que estamos considerando:

H2. «Muchas de las dificultades de aprendizaje sobre las constantes físicas son consecuencia de haber vaciado de significado físico las relaciones matemáticas con que se simbolizan los enunciados de leyes y de un manejo de estas expresiones matemáticas como meros algoritmos de cálculo.»

Es probable que el problema metodológico identificado en la hipótesis H2 esté vinculado a los problemas epistemológicos y actitudinales mencionados en la hipótesis H1. Esta relación será objeto de futuras investigaciones.

A fin de poder encarar sistemáticamente una investigación preliminar que aporte información más objetiva y confiable, derivamos las siguientes hipótesis particulares a partir de H1 y H2:

\* Operativización de H1:

H1a. «Los estudiantes no comprenden que el término "constante" se emplea habitualmente para designar valores con muy diferentes categorías en la construcción de las teorías físicas». En la mayoría de los casos, no son capaces de discriminar entre:

\* las «constantes físicas universales», ese conjunto reducido de valores que intervienen en las grandes teorías con que la comunidad científica interpreta el comportamiento de los fenómenos naturales; y

\* valores constantes que representan propiedades específicas de un elemento o de una sustancia (densidad, viscosidad, índice de refracción...), o que pueden ser controlados por el experimentador (condiciones iniciales, o de borde...), o que caracterizan a un determinado sistema físico (resistencia de un conductor, constante de un resorte...), etcétera.

H1b. «Los estudiantes absolutizan el término "constante"». No hacen, en general, un análisis cuidadoso de los condicionamientos que imponen los supuestos del modelo con que se trabaja, ni los límites de validez del marco teórico de referencia. La dependencia que detectan es con las variables o en base a un análisis incorrecto de las relaciones matemáticas (ver hipótesis 2).

\* Operativización de H2:

H2a. «Los estudiantes no comprenden el significado del término "constante de proporcionalidad"». Realizan un análisis puramente formal de las relaciones matemáticas en que aparecen estas constantes, lo que los conduce a

cometer errores muy groseros en la interpretación y comprensión de las situaciones físicas.

H2b. «Los estudiantes tienen dificultades para comprender los significados de constantes diferentes que, sin embargo, pueden calcularse por meros pasos algebraicos». Se retiene sólo el algoritmo que las relaciona y se pierde el significado físico y la función que estas constantes desempeñan en distintos modelos y distintas situaciones problemáticas.

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue realizada durante el desarrollo regular de los cursos de ingreso a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología y de Laboratorio de Física Experimental por tres de los profesores responsables de los mismos.

Se trabajó con cuatro grupos de alumnos a los que designaremos como:

G1. Alumnos que realizaron el curso de ingreso a las carreras de Ingeniería o de licenciatura en Física (alumnos ingresantes).

G2. Alumnos que finalizaron un curso de Laboratorio de Física Experimental I y II donde la instrucción no estuvo específicamente orientada a clarificar el significado de las constantes, ya que los docentes a cargo de este grupo no participaron de esta investigación (alumnos con instrucción no-orientada).

G3. Alumnos que finalizaron un curso de Laboratorio de Física Experimental I y II donde la instrucción estuvo orientada a clarificar el significado de las constantes (alumnos con instrucción orientada).

G4. Alumnos de la licenciatura en Física que finalizaron dos cursos de Laboratorio de Física con instrucción orientada y que ingresaron como auxiliares docentes de trabajos prácticos (grupo experto).

El tamaño de los grupos G1, G2 y G3 era de aproximadamente 100 estudiantes. Fueron elegidos al azar de muestras más numerosas de alrededor de 500 estudiantes.

El grupo G4, grupo experto, era de 10 estudiantes. Si bien el tamaño de esta muestra es menor, puede considerarse significativa por el seguimiento continuo realizado y por la gran interacción que hemos tenido con esos estudiantes.

Nuestra principal fuente de datos proviene de las observaciones sistemáticas cotidianas de muchos años de labor con los alumnos de los ciclos básicos universitarios.

Con el propósito de obtener datos más objetivos se realizó una medición sistemática con cuestionarios por

escrito (ver el Apéndice) a los que los estudiantes debían responder justificando en cada ítem sus respuestas. Se adoptó un técnica de abordaje múltiple que permitía controlar mediante distintas preguntas la validez de nuestras conclusiones a cada una de las hipótesis planteadas.

Los datos de los cuestionarios se completaron con los correspondientes al análisis de textos de física básica.

### RESULTADOS OBTENIDOS AL CONTRASTAR LA HIPÓTESIS H1a DISTINTAS CATEGORÍAS DE CONSTANTES

A fin de contrastar esta hipótesis se elaboraron una serie de ítems de evaluación que aparecen en los problemas 1a, 2a, 3 y 4 del apéndice. Fueron respondidos por alumnos de los grupos G2, G3 y G4.

Los resultados del grupo G2 muestran que :

- El 100% de los estudiantes tiene dificultades serias para discriminar entre una constante característica de un sistema y un parámetro (por ejemplo, en oscilaciones libres afirman que la amplitud y la diferencia de fase son constantes características).

- Aproximadamente el 70% no tiene claro qué constantes pueden tabularse en un manual de constantes físicas (por ejemplo: «sabiendo de qué material está hecho el resorte, me fijo en una tabla y encuentro la constante  $k$ »; «la constante de un resorte es la única constante del sistema que se puede tabular»; «puede tabularse la frecuencia o el período en un movimiento oscilatorio»; «puede tabularse la amplitud para una oscilación libre»...).

- Más del 70% de los estudiantes no comprende cuáles magnitudes son impuestas externamente al sistema y cuáles son características del mismo (por ejemplo, «yo le impuse al sistema (oscilatorio libre) cualquier frecuencia»; «la amplitud depende de la masa que yo coloque en el sistema»; « $k$  del resorte es un parámetro porque nosotros elegimos con qué resorte trabajar»).

Los resultados obtenidos con el grupo G3 son más alentadores. Si bien persisten las dificultades en un número significativo de estudiantes, el porcentaje de respuestas correctas alcanza ahora el 50%.

Los resultados obtenidos con el grupo G4, con quienes la profundización es mayor, indica un 70% de respuestas correctas.

El análisis de las respuestas obtenidas parece mostrar cómo la *forma* de la ecuación matemática pauta el razonamiento del estudiante. Por ejemplo, es usual, para describir una oscilación, usar una expresión de la forma:

$$Y = Y_0 \text{ sen } (\omega t + \phi)$$

La igualdad formal entre esta relación y la ecuación de una onda, usada en muchos textos, lleva a confusiones entre estos dos fenómenos, que se identifican acríticamente. Creemos que parte de las dificultades al respecto se debe a que no se hace una discusión crítica sobre los significados físicos involucrados. Por ejemplo, no es común que se aclare que, en la ecuación de onda,  $\phi$  se vincula con la periodicidad espacial de la onda y depende, por lo tanto, de la coordenada  $x$  en la dirección de propagación de la onda. Estas consideraciones carecen de sentido cuando se trata de la descripción de un movimiento oscilatorio que *no* se propaga en el espacio.

Ejemplos de confusiones de este tipo son las respuestas de los estudiantes a los ítems 1a, 3a, 4a y 4b, donde consideran que el número de onda, o la longitud de onda, o la velocidad de propagación son característicos de un sistema masa-resorte.

El 100% de los estudiantes del grupo G2 comete este tipo de errores. En el grupo G3 lo comete el 50%. Y en el grupo G4, donde el grado de conceptualización es más profundo, prácticamente el 100% de los estudiantes responde correctamente.

Otro problema referido a la dificultad de comprender la importancia relativa de los distintos tipos de constantes se pone de manifiesto cuando preguntamos a los estudiantes sobre la importancia que tiene para las teorías científicas el conocer cada una de ellas con la mayor exactitud posible.

Los resultados obtenidos en el ensayo piloto con alumnos del grupo G2 que respondieron a problemas similares al número 9 del apéndice convalidan esta hipótesis. En efecto, las respuestas obtenidas eran totalmente acrticas, como lo muestran los siguientes resultados:

- El 90% considera que conocer  $g$  (aceleración de la gravedad) es más importante o fundamental que conocer algunas constantes físicas universales (por ejemplo, «la constante  $g$  es más importante que  $\epsilon_0$ », « $g$  es más importante que  $c$  o  $G$ »...).

- El 90% considera que  $g$ ,  $R$ ,  $\epsilon_0$  y  $c$  son constantes que deben conocerse con la mayor precisión y no mencionan  $G$ .

- El 50% considera importante o muy importante conocer  $\epsilon_0$  con la mayor precisión posible.

- Ningún alumno advierte que el valor numérico del índice de refracción del vacío y de la densidad del agua destilada en condiciones normales surge de enunciados analíticos; que estos valores no se miden, son convencionales, y se conocen con tantas cifras significativas como se quiera.

- El 50% de las justificaciones en la selección están basadas exclusivamente en un criterio de utilidad («es más importante conocer  $g$  que  $G$ , ya que  $G$  se usa sólo para estudiar los planetas»...).

De acuerdo con nuestra primera hipótesis general, estos resultados son interpretados dentro del marco teórico que proporciona la epistemología de la física cuando analiza el estatus de los distintos tipos de leyes. En las leyes del nivel nomológico aparecen las constantes universales, las llamadas «constantes físicas» por excelencia, tales como  $e$ ,  $G$ ,  $R$ ,  $h$ , etc. En las del nivel monoprágmatco aparecen las condiciones iniciales (velocidad inicial, diferencia de fase, temperatura inicial, temperatura final), las propiedades de un sistema físico particular (aceleración de la gravedad en el lugar, constante de restitución de un resorte), las propiedades intensivas de una sustancia (densidad, viscosidad), etc.

El estudiante no valora el importante papel que juegan en la física las constantes universales, ésas que aparecen en los grandes axiomas, puntos de partida de las teorías. Y por eso para él puede ser más importante, por ejemplo, medir con exactitud  $g$  (aceleración de la gravedad en el lugar), que  $G$  (constante de la gravedad universal). Lo pragmático se impone a lo teórico. El tiempo y el esfuerzo que los investigadores dedican a conocer con la máxima precisión las constantes universales, el importante papel que estos valores numéricos desempeñan en el comportamiento de las interacciones que describen el comportamiento del mundo físico, las especulaciones que los científicos hicieron sobre combinaciones de estas grandes constantes para encontrar longitudes o tiempos mínimos que puedan proporcionar pistas para interpretar el microcosmo, etc. son cuestiones que el docente muchas veces no menciona, y que el estudiante ni siquiera se plantea.

Esta falta de comprensión sobre las funciones de los distintos tipos de leyes y, por ende, de las constantes que aparecen en sus enunciados se traduce también en confusión o mala comprensión de enunciados tan importantes como el que establece que «las leyes de la física son invariantes cuando cambia el sistema de referencia». No hay claridad de que tal invariancia se refiere justamente a leyes de alto nivel, axiomas y principios.

Entendemos que esta incomprensión es la que genera las respuestas dadas al problema 10 del apéndice por los alumnos del grupo G2 durante la experiencia piloto. Los resultados mostraron:

- El 30% de respuestas incorrectas (por ejemplo «cambian  $v_0$  y  $c$ . Todas las demás permanecen constantes», «varían sólo  $g$  y  $R$ », «varían  $p_{agua}$  y  $g$ , pero  $G$  no»).
- El 70% de respuestas parcialmente correctas (por ejemplo, «si se cambia el sistema de referencia, cambia  $v_0$ », y no se dice nada sobre las otras constantes).

Si los estudiantes hubiesen comprendido e internalizado a qué tipo de leyes se refiere el enunciado de invariancia de las leyes físicas, es de esperar que las respuestas correctas se hubiesen incrementado.

En la tabla 1a presentamos los porcentajes globales obtenidos al controlar la hipótesis H1a.

Tabla 1a

Aspecto considerado	Porcentaje de respuestas correctas		
	G2	G3	G4
- Discriminación entre parámetro y constante característica de sistema			
- Posibilidad de tabular en un manual de constantes físicas	20%	50%	70%
- Discriminación entre magnitudes impuestas externamente y características propias del sistema			
- Influencia de la forma de la ecuación sobre el razonamiento	0%	50%	100%
- Comprensión del estatus de una ley y de las constantes que aparecen	entre 0 y 50%	—	—

### RESULTADOS OBTENIDOS AL CONTRASTAR LA HIPÓTESIS H1b. CARÁCTER ABSOLUTO DEL TERMINO «CONSTANTE»

Para controlar esta hipótesis se realizó en primer término un análisis de textos usuales en la instrucción. Tanto en la bibliografía como en la práctica docente, ante la preocupación por dejar claro el comportamiento de las variables, no se suelen analizar detenidamente los significados físicos de las constantes. Aunque pueda parecer paradójico, entender estos significados implica tener idea de qué magnitudes físicas *dependen* estas *constantes* y dentro de qué modelo y de qué límites de validez (ámbito, precisión, profundidad) son efectivamente constantes.

La revisión de textos usuales en la bibliografía proporciona numerosos ejemplos referentes a esa problemática. Algunos reducen el problema a una simple frase: «donde  $K$  (o  $R$  o  $C$ ) es una constante». En otros incluso se cometen errores como el de afirmar, por ejemplo, que  $K$  «es una constante para distintas situaciones», sin aclarar que cambiará de situación en situación.

Esto se traduce en comportamientos similares de los estudiantes en respuesta a situaciones problemáticas, evaluaciones, etc.

A fin de convalidar esta hipótesis se realizó una experiencia piloto con los grupos G1, G3 y G4, a los que se plantearon las cuestiones que aparecen en los ítems 5b, 7b, 7c y 8a del apéndice.

El análisis de las respuestas del grupo G1 mostró que del total de estudiantes,:

- \* El 50% no responden.

\* El 20% responde incorrectamente (por ejemplo, «la capacidad de un condensador no depende de la de las propiedades dieléctricas del medio, es constante»; «K no depende del material, es constante»...).

\* El 30% responden en forma incompleta (se menciona, por ejemplo, la dependencia de la constante K del resorte sólo con la temperatura, o con la sección, o con el material).

El análisis de las respuestas del grupo G 3 mostró que, si bien para algunos estudiantes la comprensión de algunas constantes mejoraba, para un grupo significativo las respuestas se basaban en el análisis acrítico de «la fórmula vacía de toda significación». Esta situación es consecuencia de confusiones a las que hacemos referencia al analizar la hipótesis 2a, pero que acá vale como ejemplo en que la dependencia se atribuye a la variable en juego y no a las magnitudes con las cuales la «constante» está relacionada. Se obtuvieron :

\* El 60% de respuestas correctas.

\* El 40% de respuestas incorrectas, en las que el análisis está centrado en la lectura acrítica de la fórmula y se dejan de lado dependencias fundamentales como la del coeficiente de viscosidad con la temperatura o la dependencia de la capacidad de un condensador con los factores geométricos (por ejemplo, «el coeficiente de viscosidad  $\eta$  no depende de T, como se ve en la fórmula», «si se trabaja con una esfera de diámetro doble, la viscosidad será mayor, ya que:

$$\eta = \frac{2 r^2 g (\rho - \rho_0)}{9 v}$$

entonces la viscosidad crecerá al aumentar r», «si g crece,  $\eta$  crece»; «si p crece  $\eta$  crece». Otro ejemplo: «la capacidad depende de factores geométricos y de la carga entre placas»).

Las respuestas del grupo G4 mostraron:

\* El 60% de respuestas con justificación correcta.

\* El 40% de respuestas correctas, pero incompletas (por ejemplo, dificultad para indicar si  $\eta$  aumenta o disminuye con la temperatura; dificultad para analizar la dependencia de la capacidad con el factor de forma del sistema).

Si bien el grupo G4 muestra resultados más alentadores, éstos revelan la persistencia de la dificultad para discriminar qué constantes caracterizan un determinado sistema físico, y de qué magnitudes dependen esas constantes, aun en estudiantes avanzados de la carrera de licenciatura en Física, quienes se supone que han llegado a conceptualizar con mayor profundidad los modelos citados.

En la tabla Ib presentamos los porcentajes globales obtenidos al controlar la hipótesis H1b.

Tabla Ib

Aspecto considerado	Respuesta	Porcentaje		
		G1	G3	G4
- El carácter «absoluto» de las constantes	No responde	50%	—	—
	Incorrecto	20%	40%	—
	Incompleto	30%	—	40%
	Correcto	0%	60%	60%

### RESULTADOS OBTENIDOS AL CONTRASTAR LA HIPOTESIS H2a SOBRE LAS RELACIONES DE PROPORCIONALIDAD

En datos experimentales que se recogieron y procesaron para un trabajo publicado en 1985 (Cudmani, Lewin y Pesa 1985) con otros objetivos, se encontró que más del 50% de los estudiantes no comprendían correctamente la relación funcional entre la tensión V y la intensidad de corriente I en la conducción en metales. Afirmaban que R (resistencia) crecía con V o decrecía con I.

Dificultades de este tipo se ponen claramente de manifiesto en las respuestas a los ítems 5a, 6a, 6b, 7a, 8a, 8b, 8c, de los problemas del apéndice. Durante la experiencia piloto realizada con los grupos G1, G3 y G4, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el grupo G1:

\* El 50% de respuestas incorrectas (por ejemplo, «la ley de Hooke establece que k es directamente proporcional a  $\Delta l$  e inversamente proporcional a F»).

\* El 30% no responde.

\* El 20% de respuestas correctas.

Para el grupo G3:

\* El 40% de respuestas incorrectas (por ejemplo, «si se trabaja con una esfera de diámetro doble, la viscosidad se hace doble»; «si la aceleración de la gravedad disminuye, la viscosidad disminuye como se observa en la fórmula»; «la capacidad depende de la diferencia de potencial entre placas y de la carga almacenada»; «las gráficas 3 o 4 del problema Ib no corresponden a un condensador ideal, pues, si mantengo V constante, Q varía»).

\* El 60% de respuestas con justificación correcta.

Para el grupo G4:

\* El 30% de respuestas incorrectas.

\* El 70% de respuestas con justificación correcta.

Estos resultados parecen mostrar que, por lo menos, el problema no es trivial. No basta «una clase» o una «clara

explicación sobre el tema»; es necesario construir significados con estrategias adecuadas. En caso contrario, para amplios porcentajes de estudiantes, del aprendizaje de la ley de refracción sólo queda la memorización de la ecuación  $\sin \alpha / \sin \beta = n$ ; del comportamiento elástico de un resorte queda  $f = k \cdot x$ , y así. Estas relaciones tampoco se entendieron bien desde el punto de vista matemático, pues el análisis sólo sería correcto para el caso de variables independientes, condición que no se da en estas situaciones.

En síntesis, los resultados obtenidos ponen de manifiesto serias incomprensiones de la situación fenomenológica que se está manejando y un aprendizaje que se ha reducido a la retención de relaciones matemáticas mal aplicadas.

Parecería que lo que se observa al contrastar la hipótesis 2a para las respuestas de algunos alumnos es contradictorio con los comportamientos analizados para estos mismos alumnos al controlar la hipótesis 1b: en un caso las constantes son consideradas como absolutamente constantes, y en el otro se considera que las constantes dependen de las variables que relacionan.

Sin embargo, la experiencia muestra que efectivamente se dan ambas situaciones en los mismos individuos. La contradicción es una evidencia más de la falta de coherencia y sistematicidad en las ideas y los razonamientos, clara muestra de que no se logró un aprendizaje significativo conforme a las características de la disciplina.

En la tabla IIa presentamos los porcentajes globales obtenidos al controlar la hipótesis H2a.

Tabla IIa

Aspecto considerado	Respuesta	Porcentaje		
		G1	G3	G4
- Comprensión de una relación de proporcionalidad	No responde	30%	—	—
	Incorrecto	0%	40%	30%
	Correcto	20%	60%	70%

**RESULTADOS OBTENIDOS AL CONTRASTAR LA HIPÓTESIS H2b DIFERENTES CONSTANTES VINCULADAS POR RELACIONES ALGEBRAICAS SIMPLES**

La experiencia piloto en este caso incluyó alumnos de los grupos G2 y G4.

Además de analizar los resultados obtenidos con la aplicación de cuestionarios de evaluación, se analizaron libros de texto usuales.

Situaciones relacionadas con esta hipótesis se ponen en evidencia, por ejemplo, para un conjunto de relaciones matemáticas tales como:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

( $T$  = período  $f$  = frecuencia,  $\omega$  = veloc. angular) relaciones que permiten calcular el valor de dos magnitudes (por ejemplo,  $\omega$  y  $f$ ), si se conoce la otra (por ejemplo,  $T$ ).

Ni los libros ni la instrucción se ocupan en general de aclarar en forma explícita cuál es la necesidad de definir tres valores «si uno solo basta» (*sic*). Los significados físicos diferentes que están involucrados son cuestiones que en general ni siquiera se plantean, aun cuando son éstos los que determinan que, según la índole del problema a resolver o el modelo que se use, sea más eficiente o apropiado trabajar con una u otra de esas constantes.

Analizamos 8 textos de la bibliografía más comúnmente usada en la docencia. Los resultados obtenidos en el caso de  $T$ ,  $\omega$  y  $f$  fueron los siguientes:

Sólo 5 de los 8 autores se detienen a explicar claramente los significados físicos de cada una de las constantes y ninguno da algún tipo de explicación de por qué se introducen estos distintos parámetros.

No es extraño que los estudiantes se limiten a memorizar las relaciones que les permitirán salir del paso en sus trabajos prácticos y evaluaciones.

De particular importancia es la situación que plantea  $\omega$ , al no quedar claro el significado físico de las relaciones con  $T$  y  $f$ . Cuando los estudiantes enfrentan situaciones problemáticas, tienen grandes dificultades: por un lado, olvidan que  $2\pi$  no es un número sino la medida de un ángulo en radianes; por otro, no comprenden cómo a  $\omega$ , y sólo a  $\omega$ , se le asocia un carácter vectorial.

Cuando estas relaciones se usen en el futuro en las ecuaciones que describen movimientos oscilatorios u ondulatorios, estas pérdidas de significado pueden inducir interpretaciones erróneas respecto al comportamiento del sistema.

No sorprenden entonces las respuestas dadas por estudiantes del grupo G2 al ítem 1b (ver apéndice) durante la experiencia piloto.

El 100% de los estudiantes señalan que  $T$ ,  $\omega$  y  $f$  miden la misma propiedad física, y la única justificación que dan para establecer la relación es el algoritmo matemático que las vincula.

Otro caso interesante se plantea con la constante  $k$  (constante dieléctrica),  $\epsilon$  (permitividad) y  $p$  (polarizabilidad) cuando se estudian las propiedades dieléctricas de la materia.

Un ejemplo de este caso son las respuestas al ítem 2b del apéndice. Los siguientes resultados fueron obtenidos con alumnos del grupo G4:

- El 10% de respuestas correctas con justificación correcta.

– El 60% de respuestas correctas cuya única justificación es el algoritmo matemático que vincula las constantes. Interpretamos éstas como respuestas incorrectas en el marco de la hipótesis que se está controlando.

– El 30% no responden.

Parece evidente que en este caso no se ha tomado conciencia de que hay modelos teóricos subyacentes diferentes, e incluso distintos grados de aproximación a la situación fáctica. La constante dieléctrica  $K$  y la permitividad  $\epsilon$  se definen con modelos de «caja negra», en tanto que la polarizabilidad  $p$  se emplea en un modelo de «caja translúcida» (Bunge 1980), donde se hipotetiza sobre propiedades atómicas del modelo.

Vaciar estas constantes de esos significados y reducir la relación entre ellos a un mero juego algebraico puede ser, sin duda, una fuente de incomprensión y falsas interpretaciones frente a problemas concretos y aplicaciones.

En la tabla 2b presentamos los porcentajes globales obtenidos al controlar la hipótesis H2b.

Tabla IIb

Aspecto considerado	Respuesta	Porcentaje	
		G2	G4
Necesidad de definir ctes. diferentes vinculadas por relaciones simples	No responde	—	30%
	Incorrecto	100%	60%
	Correcto	—	10%

**CONCLUSIONES**

Los resultados encontrados parecen mostrar que se está ante un núcleo de dificultad con características similares a las preconcepciones en lo que se refiere a su persistencia y resistencia a la instrucción. No basta la mera toma de conciencia y la instrucción explícita sobre el tema, hay que profundizar en sus causas para proponer estrategias superadoras.

Si bien los resultados que aquí se describen con relación a la investigación experimental pueden y deben profundizarse, parecen convalidar las hipótesis formuladas en base a los datos empíricos de muchos años de práctica docente.

Cabe destacar que las hipótesis se formularon sobre la base de abundante evidencia empírica, obtenida a lo largo de varios años en entrevistas docentes, interrogatorios, evaluaciones, exámenes, etc. Los cuestionarios específicos permitieron además explicitar con claridad nuevos aspectos sobre el tipo de razonamiento que generan las falsas concepciones de los estudiantes sobre este tema.

Es interesante señalar que los contenidos que hemos elegido abarcan un amplio espectro de temáticas, desde la mecánica hasta el electromagnetismo, y en todos ellos aparecen los mismos comportamientos, característicos de una forma de razonar.

El análisis de todos estos datos parece confirmar el modelo de aprendizaje de las ciencias con que trabajamos los autores, en el sentido de que un cambio conceptual realmente significativo está indisolublemente ligado a cambios en la metodología (cambio metodológico), en las valoraciones (cambio actitudinal), en las concepciones epistemológicas (cambios epistemológicos) de docentes y alumnos.

Así, en relación con la hipótesis 1b, el significado que se otorga al término «constante» muestra confusiones que podrían atribuirse a que estos significados no tienen un claro contexto teórico de referencia, no se identifican con precisión al modelo ni a sus límites de validez. No hay en general un claro análisis de los «supuestos» necesarios para que una «constante» lo sea en realidad, como tampoco está claro de qué propiedades del sistema físico que se estudia «dependen» esas constantes.

Parecería que el cambio epistemológico que debiera acompañar al cambio conceptual, de acuerdo al modelo del aprendizaje que se postula, no se ha logrado.

En lo que se refiere a la hipótesis 2a, parecería que es el cambio metodológico el que no tuvo lugar. La relación de proporcionalidad no se comprende, se entiende la relación a partir de un análisis puramente formal de una expresión matemática entre variables sin claros significados físicos. Este vaciamiento lleva a que también el análisis formal sea incorrecto, pues no tiene en cuenta que las variables que se relacionan no son independientes.

Además, las respuestas a los cuestionarios, aun cuando se refieren en forma específica a los significados de las constantes involucradas, permiten inferir hasta qué punto está comprendida toda la situación física en cuestión.

En el análisis de los resultados obtenidos para cada una de las hipótesis de trabajo ya se ha señalado cómo estas fallas del aprendizaje son favorecidas por:

\* metodologías que no enfatizan los significados de las concepciones en juego, reduciendo el aprendizaje a un manejo de algoritmos vacíos de contenidos;

\* descuidos de cuestiones epistemológicas fundamentales que se ponen de manifiesto cuando:

– no se explicita ni se enfatiza suficientemente cuáles son las características del modelo teórico que se está usando;

– no se presta la debida atención a un análisis sobre los supuestos, ni a los límites de validez de los modelos en cuestión, así como tampoco a su poder explicativo en términos de profundidad y exactitud (Bunge 1980);

— no se tienen en cuenta las diferencias epistemológicas entre los distintos tipos de leyes. Como ya dijimos, son diferentes los papeles que desempeñan, en la construcción de la disciplina, un principio o axioma y una ley de bajo nivel de generalidad (que se deriva de aquél por un proceso de deducción lógica, incorporando información fáctica específica para una situación problemática concreta).

Esto lleva a una incorrecta valoración de la importancia de las distintas categorías de constantes. No se las jerarquiza debidamente. En síntesis, no se produjo un cambio «extra conceptual» necesario para que el cambio conceptual sea significativo.

Parecería, pues, que posibles estrategias superadoras de los problemas señalados en este trabajo podrían apuntar a:

- \* mejorar la formación epistemológica de los docentes;
- \* implementar estrategias que pongan en juego las concepciones epistemológicas implícitas de estudiantes y docentes, para favorecer cambios epistemológicos como los ya señalados y permitir una permanente revisión crítica de estas concepciones;
- \* rescatar la importancia de la aproximación cualitativa a cada nuevo tema a fin de lograr una correcta comprensión de los significados de los conceptos en juego y de sus relaciones;

\* preparar materiales instruccionales aptos (bibliografía, apuntes, cuestionarios, etc.) para salvar estos obstáculos.

En el caso concreto analizado en la hipótesis 2a, hemos visto que la consideración explícita de la dificultad durante la instrucción mejora sensiblemente los porcentajes. Pero el cambio no se produce fácilmente. Requiere tiempo y profundización, pues es necesario modificar metodologías y hábitos de aprendizaje muy arraigados.

Resumiendo, entendemos que este trabajo pone de manifiesto una problemática importante en el aprendizaje de la Física. Las investigaciones expuestas son preliminares y esperamos seguir profundizando en cada una de las hipótesis en particular.

## NOTA

Una versión muy preliminar de este trabajo ha sido presentada en la Octava Reunión Nacional de Educación en Física (Rosario, Argentina, octubre de 1993) y aparece publicada en las Memorias. Los aportes recibidos en diversos congresos donde hemos presentado aquella versión, así como los comentarios y sugerencias de los árbitros de *Enseñanza de las Ciencias*, han conducido a una modificación de la estructura original del trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNGE, M., 1980. La investigación científica. (Ed. Ariel: Barcelona).
- CARRASCOSA, J. y GIL, D., 1985. La «metodología de la superficialitat» i l'aprenentatge de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2).
- CUDMANI, L.C. DE, LEWIN, A.M. DE y PESA DE DANON, M., 1985. Control experimental de la eficiencia de la prueba «de corrección fácil» en la evaluación del aprendizaje, *Revista de Enseñanza de la Física*, 1(2).
- CUDMANI, L.C. DE y SALINAS DE SANDOVAL, J., 1991. Modelo físico e realidade. Importancia epistemológica de su adecuación cuantitativa. Implicaciones para a aprendizagem, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8(3), pp. 181-192.
- CUDMANI, L.C. DE, SALINAS DE SANDOVAL, J. y PESA DE DANÓN, M., 1991. La generación autónoma de «conflictos cognoscitivos» para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la Física, *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 237-242.
- CUDMANI, L. C. DE, SALINAS DE SANDOVAL, J. y PESA DE DANÓN, M., 1994. El aprendizaje de las Ciencias no implica solamente un cambio conceptual, Memorias del II Simposio Nacional de Investigación en Educación en Física, Buenos Aires, agosto de 1994.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- SALINAS DE SANDOVAL, J., 1991. La unidad de método y contenido en la construcción histórica y en el aprendizaje de la Física, Partes I y II, Memorias de REF 7 (septiembre 1991, Mendoza), pp. 181-194.
- SALINAS DE SANDOVAL, J. y CUDMANI, L.C. DE, 1993. Los desencuentros entre método y contenido científicos en la formación de profesores de física, *Revista de Enseñanza de la Física*, Vol. 7(1).

## APÉNDICE

1. A continuación se da una lista de magnitudes:

período	velocidad angular
amplitud	longitud de onda
diferencia de fase	número de onda
frecuencia	velocidad de propagación

a) ¿Cuáles de esas magnitudes son **CONSTANTES CARACTERÍSTICAS** de un sistema oscilatorio libre sin amortiguamiento? Justifique en todos los casos.

b) ¿Cuáles de esas magnitudes **MIDEN LA MISMA PROPIEDAD FÍSICA** de un sistema oscilatorio? Agrúpelas entre sí, explique por qué miden la misma propiedad e indique cuáles son las relaciones que las vinculan.

2. A continuación se da una lista de magnitudes:

capacidad	permitividad dieléctrica
capacitancia	polarizabilidad dieléctrica
reactancia capacitiva	constante dieléctrica
susceptibilidad	permitancia capacitiva
inductancia capacitiva	

a) ¿Cuáles de esas magnitudes pueden **TABULARSE EN UN MANUAL DE CONSTANTES FÍSICAS**? Justifique en todos los casos.

b) ¿Cuáles de esas magnitudes **MIDEN LA MISMA PROPIEDAD FÍSICA** de un condensador? Agrúpelas entre sí, explique por qué miden la misma propiedad e indique cuáles son las relaciones que las vinculan.

3. A continuación se da una lista de magnitudes:

amplitud	frecuencia
longitud de onda	período
decrecimiento algorítmico	diferencia de fase
número de ondas	velocidad angular
constante del resorte	viscosidad

a) ¿Cuáles de las magnitudes son **CONSTANTES CARACTERÍSTICAS** de un sistema masa-resorte con oscilación amortiguada? Justifique en cada caso.

b) ¿Cuáles de las magnitudes **NO TIENE NINGUNA RELACIÓN** con un sistema masa-resorte con oscilación amortiguada? Justifique en cada caso.

c) ¿Cuáles de estas magnitudes representan **VALORES IMPUESTOS EXTERNAMENTE** a un sistema masa-resorte con oscilación amortiguada? Justifique en cada caso.

d) ¿Cuáles de estas magnitudes podrían **TABULARSE EN UN MANUAL DE CONSTANTES FÍSICAS**? Justifique en cada caso.

4. A continuación se da una lista de magnitudes físicas,

amplitud de oscilación	frecuencia de oscilación
velocidad angular	amplitud de la frecuencia exterior
viscosidad del medio	decrecimiento logarítmico
diferencia de fase	número de ondas
constante del resorte	período
longitud de onda	frecuencia de resonancia

## INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

- a) ¿Cuáles de esas magnitudes son CONSTANTES CARACTERÍSTICAS de un sistema masa-resorte con oscilación libre? Justifique en cada caso.
- b) ¿Cuáles de esas magnitudes son CONSTANTES CARACTERÍSTICAS de un sistema masa-resorte con oscilación forzada? Justifique en cada caso.
- c) ¿Cuáles de esas magnitudes NO TIENEN NINGUNA RELACIÓN con un sistema masa resorte oscilatorio? Justifique en cada caso.
- d) ¿Cuáles de esas magnitudes representan VALORES IMPUESTOS EXTERNAMENTE a un sistema masa-resorte oscilatorio? Justifique en cada caso.
- e) ¿Cuáles de esas magnitudes podrían TABULARSE EN UN MANUAL DE CONSTANTES FÍSICAS? Justifique en cada caso.

5A. Si quisiera cambiar la capacidad de un condensador, cambiaría:

- 1) ¿El valor del campo eléctrico aplicado entre las placas? ¿Por qué?
- 2) ¿La forma del condensador? ¿Por qué?
- 3) ¿La diferencia de potencial aplicada entre las placas? ¿Por qué?
- 4) ¿Las dimensiones del condensador? ¿Por qué?
- 5) ¿La densidad de carga en las placas? ¿Por qué?

5B. ¿Cuáles de las siguientes expresiones son válidas para la capacidad de CUALQUIER CONDENSADOR?

- 1)  $C = \epsilon \cdot S/d$
- 2)  $C = \epsilon F$
- 3)  $C = Q/V$

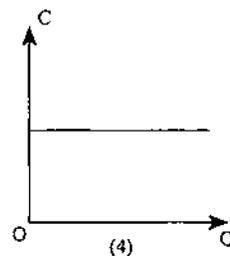
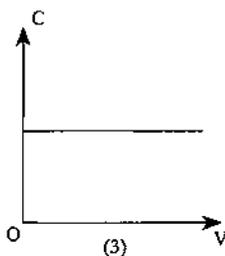
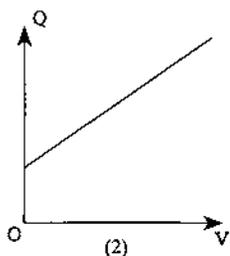
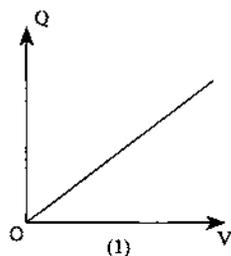
(C = capacidad;  $\epsilon$  = constante dieléctrica; S = Superficie de la placa; F = factor de forma; V = diferencia de potencial entre las placas; Q = carga en las placas).

6. Califique de «verdadera» o «falsa» a cada una de las siguientes afirmaciones, explicando el porqué en todos los casos:

A. La capacidad de un condensador depende:

- 1) Sólo de la diferencia de potencial entre placas y de la carga almacenada.
- 2) Sólo de las propiedades dieléctricas del medio entre las placas y de la geometría del condensador.
- 3) Sólo del campo eléctrico entre placas y de la densidad de cargas sobre ellas.

B. ¿Cuáles de las siguientes gráficas corresponden a un condensador ideal? Justifique en cada caso.



7. De acuerdo a lo obtenido por Robert Hooke en el siglo XVII, cuando un alambre se tracciona con fuerzas no demasiado grandes, los alargamientos son proporcionales a la fuerza aplicada:  $F = k \cdot \Delta l$ .

- a) Un alumno afirma que esta ley establece que  $k$  es directamente proporcional a  $7D11$ . ¿Está Ud. de acuerdo? ¿Por qué?
- b) Un alumno sugiere que posiblemente  $k$  depende del material con el cual está hecho el alambre (hierro, cobre, acero, etc.). Mencione Ud. otras variables, al menos tres, que pudieran afectar el valor de  $k$ .
- c) Considere una por una las variables que Ud. eligió en b) y responda para cada una la siguiente pregunta: ¿Cómo espera Ud. que cambie el valor de  $k$  si cambia la variable?

## INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

---

8. ¿En cuáles de los siguientes casos espera Ud. obtener un valor numérico diferente para la viscosidad en una experiencia similar a la realizada por Ud. para la determinación del coeficiente de viscosidad del aceite con el método de Stokes? Considere todas y cada una de las posibilidades y calcule el nuevo valor de  $\eta$  en los casos que pueda.

- Se trabaja con una esfera de diámetro doble.
- La experiencia se realiza en un lugar del espacio donde la aceleración de la gravedad es la mitad de  $g$  en la tierra.
- Se trabaja con bolillas de densidad mitad.
- Se eleva en un 10% la temperatura del líquido.

9. La mayor exactitud en el conocimiento de las constantes es una búsqueda importante en física. A continuación se da una lista de constantes que aparecen en las expresiones matemáticas de las leyes físicas.

- ¿Para cuáles le parece que esta búsqueda es importante?
- Justifique por qué.

Al costado de cada constante coloque un número de acuerdo a que usted considere que *conocer el valor de esta constante es*:

- fundamental o extremadamente importante
- muy importante
- importante
- poco importante
- nada importante

Las constantes a caracterizar son:

$\rho_{\text{agua}}$  = densidad del agua destilada en condiciones normales de presión y temperatura

$g$  = aceleración de la gravedad

$n_v$  = índice de refracción del vacío

$\epsilon_0$  = permitividad dieléctrica del vacío

$G$  = constante de gravitación universal

$R$  = constante de los gases ideales

$n_v$  = índice de refracción del vidrio

$c$  = velocidad de la luz

$v_0$  = velocidad inicial de un cuerpo que empieza a moverse

$\rho_{Fe}$  = resistividad del hierro

10. En mecánica Ud. estudió un principio que establece que «las leyes de la física no dependen del sistema de referencia con el cual se trabaja». En el enunciado de las leyes aparecen *constantes*. Para cada una de las constantes listadas en el enunciado del problema número 9, diga si su valor permanece constante o cambia cuando se cambia el sistema de referencia. Explique lo que ocurre en cada caso.