

EL TRABAJO EXPERIMENTAL COMO POSIBLE GENERADOR DE CONOCIMIENTO EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

JAIME, EDUARDO ADRIÁN¹ y ESCUDERO, CONSUELO²

¹ Universidad Nacional de San Juan-Argentina, Facultad de Ingeniería

² Universidad Nacional de San Juan-Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Facultad de Ingeniería

ejaime@unsj.edu.ar

cescudero@unsj-cuim.edu.ar

Resumen. En este trabajo se presentan los primeros resultados de una investigación sobre los conocimientos que manifiestan los alumnos (de primer año de ingeniería) durante la realización de actividades experimentales en laboratorios de Física básica bajo dos modalidades: innovadora y tradicional. Se analizan algunos logros y dificultades sobre movimientos en el plano vertical desde la teoría de campos conceptuales (TCC) de Vergnaud. Se utiliza una metodología de investigación bajo el paradigma interpretativo, donde los datos se agrupan en categorías que no son previstas a priori por el marco teórico. El corpus está formado principalmente por registros de observación participante y la producción de informes de laboratorio en trabajo colectivo. Su análisis ha permitido detectar invariantes operatorios y esquemas asociados a las principales dificultades e interpretar los aportes a favor de la TCC de Vergnaud en el campo de las ciencias Físicas. Las conclusiones muestran, aun en su carácter incipiente, la potencialidad de este marco teórico.

Palabras clave. Trabajo experimental, esquemas, invariantes operatorios, modelización, forma operatoria, forma predicativa.

The experimental work as possible generator of knowledge in teaching of Physics

Summary. In this work the first findings on the knowledge of first year Engineering students are presented. The research has been carried out during the realization (by the students) of experimental activities in laboratories of basic Physics under two modalities: innovative and traditional. Some achievements and difficulties are analyzed, and they show more than enough movements in the vertical plane from the theory of conceptual fields (TCC) of Vergnaud. An investigation methodology is used under the interpretive paradigm, where the data group in categories that are not provided a priori by the theoretical framework. The corpus is formed mainly by registers of participant observation and the production of laboratory reports in collective work. Their analysis has allowed to detect operative invariants and outlines associated to the main difficulties and to interpret the contributions in favor of the TCC of Vergnaud in the field of the Physical Sciences. The summations show, even in their incipient character, the potentiality of this theoretical framework.

Keywords. Experimental work, outlines, operative invariant, modelisation, operative form, predicative form.

INTRODUCCIÓN

La Física es una ciencia cuyo conocimiento resulta imprescindible para la formación de distintos profesionales aportando a la construcción de competencias básicas relacionadas tanto con la aplicación de conceptos como de procedimientos necesarios en muchas de las tareas propias de la profesión.

Dado su carácter de ciencia experimental existe consenso en el hecho de que los trabajos prácticos de laboratorio son fundamentales para su enseñanza. Su impor-

tancia radica no sólo en la posibilidad de observación y experimentación sobre la realidad y de desarrollo de habilidades experimentales, sino también, y quizás más fuertemente, en la posibilidad que brindan para relacionar las teorías y modelos con la experiencia y suministrar una oportunidad para que los alumnos conozcan cómo se construye el conocimiento científico (Hodson, 1994).

La tarea de los futuros profesionales en los laboratorios de Física se suele hacer como una ilustración o verifi-

cación de contenidos teóricos previamente introducidos. Por lo general los alumnos cuentan con guías que marcan los pasos a seguir en un único sentido y que implican la aprobación del trabajo práctico solo cuando se obtiene el resultado previsto. En estos trabajos prácticos pautados, las oportunidades de poner en relación conceptos y modelos teóricos con resultados experimentales resultan limitadas no habiendo prácticamente lugar para la formulación de hipótesis ni para la toma de decisiones por parte de los alumnos, entre otros.

Los laboratorios de Física I de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan atienden por cuatrimestre aproximadamente a 350 alumnos. Un drástico cambio en el estilo de los trabajos prácticos implicaría tener en cuenta aspectos tales como: la realización de una investigación sobre el actual perfil de esos trabajos para decidir sobre su continuidad, cambio o sustitución; la incorporación de nuevos trabajos; el análisis y la adquisición del material necesario; la capacitación del personal; el rediseño de la gestión.

Ante las dificultades que este tipo de cambio implica, el camino elegido es la paulatina incorporación de las nuevas ideas a los laboratorios de Física –no sólo de nuevas tecnologías–, lo que permite una modificación sustancial en algunos trabajos prácticos. Por ejemplo, la utilización de distintos dispositivos (sensores, interfases, software) para adquirir datos en tiempo real u obtener mediciones que no se podían hacer de esta forma, permitiendo un tratamiento rápido mediante programas informáticos.

En Argentina, en 1992, Salinas y Cudmani advierten sobre el papel asignado a los trabajos prácticos de laboratorio y presentan una propuesta que pretende insertarlos en una orientación constructivista y operacionalista sobre el aprendizaje de la Física. Salinas (1996) señala diversas limitaciones, entre las que destacamos la visión desproblematizada y acientífica de los enunciados destinados a guiar la labor de los estudiantes en el laboratorio y la naturaleza limitada e inadecuada del proceso y del producto del quehacer científico, y Petrucci et al. (2006) destacan –entre otros– los siguientes objetivos: agregar significado a las abstracciones; mejorar el recuerdo de información; intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos; asistir a un aprendizaje con profunda comprensión de hechos y explicaciones.

Nuestro objetivo es estudiar en detalle las decisiones que toman los alumnos cuando participan en las primeras situaciones problemáticas experimentales en la universidad y, consecuentemente, la búsqueda de conocimientos-en-acción sobre los que sería importante intervenir para poder ayudar a mejorar los procesos de aprendizaje en relación con el modelo científico consensuado, trascendiendo la mera manipulación de instrumental y el seguimiento acrítico de rutinas y reglas, buscando avanzar en las relaciones entre forma y contenido (Escudero, 2008). En este estudio el referencial principalmente utilizado es la teoría de los campos conceptuales (TCC) de Vergnaud (1990, 1994, 1998). En el apartado siguiente se describen algunos elementos teóricos relevantes para el siguiente análisis.

MARCO TEÓRICO

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos (Vergnaud, 1990), una teoría cognitivista del proceso de conceptualización de lo real. Se trata de una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias (Vergnaud, 1994). Además es una teoría de la complejidad cognitiva, que contempla el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden eficazmente representar esos conceptos y operaciones para el individuo, dependiendo de su nivel cognitivo.

Gérard Vergnaud amplía y redirecciona, en su teoría, el foco piagetiano de las operaciones lógicas generales, de las estructuras generales de pensamiento hacia el estudio del funcionamiento cognitivo del «sujeto-en-situación». Además de eso, Vergnaud toma como referencia el propio contenido del conocimiento y el análisis conceptual de dominio de ese conocimiento (1994; Franchi, 1999). Dirige así el centro de atención hacia la comprensión del funcionamiento cognitivo de los sujetos en situación, considerando también las variables que afectan a dicha situación.

Dado que es la actividad del sujeto la que se adapta, se hace necesario un cuadro teórico para analizar dicha actividad. Esto es lo que ha conducido a Vergnaud a retomar y a desarrollar el concepto de esquema y a definir mejor aquello a lo que se dirige un esquema: las situaciones¹. Vergnaud (2007) ha redefinido el concepto de esquema de manera más rigurosa y analítica como: «totalidad organizada que permite generar una clase de comportamientos diferentes en función de las características particulares de cada situación». Estamos interesados en mirar cómo y en qué condiciones el sujeto intenta comprender objetos y fenómenos nuevos.

En general, los esquemas pueden contener varios componentes (Vergnaud, 1990):

- objetivos y anticipaciones, que permiten identificar situaciones,
- invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas-en-acción) mediante los cuales se pueden reconocer los elementos pertinentes de la situación y la información relevante de la misma,
- reglas-de-acción del tipo «si...entonces» que permiten generar una secuencia de acciones,
- inferencias o razonamientos que se efectúan durante la actividad frente a la situación.

Los invariantes operatorios (o conocimientos-en-acción) son los conocimientos contenidos en los esquemas; es decir, los elementos cognitivos que determinan la activación de los esquemas. Este conocimiento-en-acción pue-

de ser o estar explícito o implícito (o ser explicitable), y está constituido por los conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción, los cuales tienen un estatus diferente a los conceptos y teoremas científicos. Los conceptos-en-acción son categorías para obtener información relevante, son los que llevan a buscar la información necesaria para resolver la situación, y los teoremas-en-acción son proposiciones a partir de las cuales se hacen inferencias. Las reglas-de-acción son también proposiciones, pero a diferencia de los conceptos-en-acción, no expresan algo acerca del mundo de los objetos o de la realidad, sino acerca de la conveniencia de las acciones que pueda tomar el sujeto (Vergnaud, 1996).

La teoría de Vergnaud es una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias (Vergnaud, 1994). Es decir, que por medio de su resolución es cuando un concepto adquiere significación. En este sentido, hace un aporte que multiplica las posibilidades de conocer la génesis y la comprensión de los conceptos. Considera que un concepto es un triplete de conjuntos:

$$C = (S, I, L)$$

donde:

- las situaciones, **S**, dan sentido al concepto (el referente). En ellas el concepto resulta útil y significativo;
- los invariantes operatorios, **I**, son las propiedades específicas del concepto (el significado), que permiten analizar las diferentes clases de situaciones y actuar frente a las mismas;
- las representaciones lingüísticas y no lingüísticas utilizadas en Física (simbólicas, gráficas, gestuales, equipos y materiales de laboratorio²), **L**, que se emplean para hacer explícitos los invariantes operatorios. Representan las propiedades, funciones, situaciones a las que él se aplica y los procedimientos que de él se nutren (el *significante*).

Entre los individuos lo que se desarrolla son formas de organización de la actividad. El problema de la enseñanza suele ser en gran parte el de llevar al aprendiz a desarrollar sus competencias; siendo el primer acto de mediación de la enseñanza –en efecto– la elección de la situación a proponer a los alumnos. En la zona de desarrollo próximo existen filiaciones y rupturas. Si no se desestabiliza a los alumnos no tienen ninguna razón para aprender. También es verdad que si se los desestabiliza demasiado, no aprenden más. La sensatez es el criterio a poner en juego. Además, la idea misma de desarrollo próximo incita a la moderación.

Por otro lado, y en forma más elemental, rescatamos la tesis epistemológica de Piaget que actualiza Samaja (1999): «los organismos vivientes son sujetos activos que a lo largo de sus transformaciones evolutivas han constituido dispositivos de acción (coordinaciones disponibles) con los cuales “observa” e interpreta el sentido de los hechos

que debe enfrentar para poder asimilarlos a sus necesidades. En esta remota, y aun enigmática, capacidad de “reconocimiento de imágenes” está contenida la prehistoria del problema lógico del concepto» (132). Expresando, más adelante, que «el proceso por el cual se expande el saber preexistente no es el de la generalización sino (...) por extrapolaciones y juicios comparativos» (139).

Por otro, las múltiples referencias al concepto de modelo en disciplinas como Física son una clara expresión de su papel fundamental en este campo de conocimiento. Adúriz-Bravo y Morales (2002) expresan: «Los modelos científicos en Física constituyen una representación teórica de la realidad que es de segundo orden. El llamado sistema físico es una representación de primer orden que da estructura al mundo de los fenómenos, transformando los datos crudos en evidencias dentro de un padrón. El modelo, a su vez, respeta la estructura sintáctica de este sistema físico, modelándolo con términos teóricos y planteando relaciones funcionales y estructurales entre ellos».

En un mundo en perpetuo cambio, es necesario identificar bien objetos y propiedades que permanezcan estables. Por ello Vergnaud le da al concepto de invariante operatorio un sentido más amplio a como fue entendido por Piaget. Esto es muy importante para el estudio del aprendizaje de las matemáticas y de las ciencias, ya que la ciencia, en efecto, busca comprender las transformaciones de lo real, considerando sistemáticamente lo que varía y lo que no y en qué condiciones ocurren dichos cambios.

INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

El trabajo de laboratorio se puede considerar una actividad cognitiva compleja ya que la solución de una situación problemática experimental implica la utilización de una variedad de concepciones y modelizaciones. Entre ellas, podemos mencionar el interés de la situación problemática, el estudio también cualitativo de ella, la generación de predicciones, formulación de hipótesis, selección de métodos, planificación de la experiencia, recolección de datos, procesamiento y análisis de datos, análisis y contrastación de resultados, elaboración de conclusiones, por citar algunas; además de las concepciones teóricas específicas que requiere la tarea y de los modos del quehacer científico.

Las actividades de la *modalidad innovadora* están planeadas como resolución de problemas desde el inicio. 34 estudiantes trabajaron divididos en 7 comisiones y concurren en una oportunidad al laboratorio. No contaron con una guía experimental escrita. Se les solicitó la elaboración de un informe grupal, bajo un formato flexible, que incluyera conclusiones, respuestas a preguntas surgidas, justificaciones y otros aspectos oportunos. El trabajo práctico seleccionado en este análisis en profundidad trata sobre el movimiento bidimensional. Las actividades diseñadas para la modalidad innovadora fueron:

1. *Determinación del (o de los) posible(s) ángulo(s) respecto de la horizontal al que deberá inclinarse un lanza-*

proyectiles para impactar en un blanco ubicado en una posición fija y al mismo nivel. Dicha determinación incluye la estimación de la velocidad inicial con la que se lanza un proyectil midiendo en el laboratorio.

2. Determinación del movimiento de un móvil sobre un plano inclinado que se desplaza en una trayectoria rectilínea.

En la posibilidad de interacción que el laboratorio de modalidad innovadora permite, se ha visto que se podrá responder a preguntas, tales como:

¿Puede tener la misma velocidad inicial (v_i) para distintos ángulos?

¿Es siempre el alcance máximo a 45° tanto para partícula (o cuerpo), como para distintas alturas de lanzamiento?

¿Podría utilizarse el mismo lanza-proyectiles para un blanco que está a 2 m como para otro a 1 km, o a 700 km?

¿Se podría seguir considerando la pelotita como partícula a velocidades mayores a 20 m/s?

¿Es válida esta última condición para este modelo teórico?

Mientras, en el *laboratorio tradicional* consistía en la verificación de las ecuaciones que describen un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado a partir de mediciones de posición y tiempo. Se les provee una guía que contiene un breve marco teórico sobre la temática, metodología del trabajo experimental y un cuestionario a responder. Los 30 alumnos distintos fueron distribuidos en 6 comisiones y concurren en una oportunidad al laboratorio.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se presentan los primeros resultados de una investigación tras la implementación de una intervención que busca el desarrollo de procesos de aprendizaje a través del trabajo experimental. En este caso, sobre movimientos en el plano vertical. La investigación fue realizada en situación real de aula durante el segundo semestre de 2007 con un total de 64 estudiantes de primer año de ingeniería que se encontraban cursando Física I.

Ésta es una investigación de tipo interpretativo donde los agrupamientos se definen durante las sucesivas miradas al corpus (Glaser y Straus, 1967). Las observaciones y los informes elaborados por las comisiones han permitido analizar concepciones implícitas (y explícitas) de los estudiantes, más precisamente algunos aspectos ignorados por ellos, u objeto de imprecisiones. Esto supone un trabajo de inmersión que posibilita conocer por comparación constante una o más cualidades que describan (lo más fielmente posible) los efectos del trabajo en el laboratorio. Se trata de entender cómo el alumno va construyendo sus conceptos a través de la observación participante y el análisis de la organización de la acti-

vidad frente a las distintas instancias de aprendizaje y evaluación.

En función del marco teórico de la investigación, se consideraron fuentes de información a los discursos (oral y escrito) que provienen de producciones individuales, grupales y de procesos de interacción social en el aula. Para ello se recolectaron los siguientes registros a través de observación: registros escritos de consultas que realizan los alumnos durante el desarrollo del trabajo experimental; informes grupales sobre las actividades realizadas; registros escritos de las dificultades manifestadas al realizar las correcciones de los informes.

Se encuentran regularidades y anomalías en el uso convencional y funcional que hacen los alumnos de la noción de modelo físico, de determinados aspectos de la metodología y del quehacer científico y sobre qué sucede cuando un contenido específico interviene matizando y particularizando un tópico relativamente desconocido, en relación con una situación específica.

Análisis y presentación de resultados

Un estudiante para resolver esta situación problemática experimental necesita captar que el movimiento de un objeto en el plano vertical bajo aceleración constante evoluciona en el tiempo y cómo evoluciona. Por un lado, el movimiento parabólico puede desglosarse en dos movimientos ortogonales independientes; y, por otro, permite cambiar parámetros fácilmente, como posición y ángulo de tiro. Además, cumple la función de hacer de nexo entre cinemática en una y dos dimensiones.

El análisis del corpus ha permitido identificar y clasificar datos, construir categorías y explicitar las concepciones y competencias de los alumnos. Remontándonos a los aspectos analizados en la bibliografía consultada y dada la complejidad del trabajo experimental con intenciones de aprendizaje, los aspectos principalmente tenidos en cuenta para elaborar las categorías han sido:

1. contenidos locales específicos,
2. la noción de modelo físico y
3. aspectos de la metodología y del quehacer científico que los estudiantes advirtieron.

Los conocimientos que ponen en acción grupos heterogéneos de alumnos cuando experimentan en el laboratorio pueden ser:

A. En el caso de haber participado del Laboratorio Innovador

Categoría A-1. *Escasa conceptualización y modelización de movimientos bidimensionales en relación con la experimentación.*

Los estudiantes agrupados en esta categoría muestran logros y dificultades asociados a esquemas elementales. Pri-

vilegian la «forma» de la solución en situación experimental en relación con la idea de tarea terminada. En términos de invariantes operatorios el esquema puede contener:

Conceptos-en-acción: partícula, magnitud incipiente³, sistema de referencia, situación física⁴, problematización incipiente, exactitud, equivocación, velocidad incipiente, aceleración incipiente.

Teoremas-en-acción:

1. «En el movimiento de proyectil, la velocidad inicial y la velocidad final (al mismo nivel) siempre son iguales». «Se obtiene el mismo alcance con dos ángulos distintos cuya suma es 90°». «A mayor ángulo de lanzamiento, el objeto permanece en vuelo durante un tiempo mayor».
2. «La “realidad” es el modelo cinemático (físico-matemático)».
3. «Si algo ya está estudiado busco la ecuación que me vincula sus variables». «Comparo la medición efectuada con el cálculo para discernir si el resultado es exacto». «El error es una debilidad de la experimentación». «La autoridad del otro (la mayoría, o bien el profesor) es un criterio de científicidad».

Una de las comisiones en su informe escribe:

A-1. Comisión N.º 2
 (...) Hay una ecuación que relaciona estos términos:
 La fórmula del alcance: $x = \frac{v_0^2 \cdot \text{sen}(2\theta)}{g}$
 Despejamos θ : $\theta = \text{arsen}\left(\frac{v \cdot g}{v_0^2}\right)$
 (...) Como es aproximadamente el mismo tiempo, podemos deducir que el ángulo de inclinación que debe tomar el pelota es de 14° 56' 31" y que por trigonometría básica obtenemos el mismo alcance con un ángulo complementario (Juntos forman 90°) 75° 3' 31", pero con este ángulo el tiempo de vuelo es mayor 1,24 s.

Categoría A-2. Débil conceptualización y modelización de movimientos bidimensionales en relación con la experimentación.

Conceptos-en-acción: partícula, magnitud incipiente, sistema de referencia, situación física, vector incipiente, problematización, velocidad instantánea, alcance, precisión, error de medición incipiente, pluralidad incipiente de lenguajes, reproducibilidad⁵ incipiente.

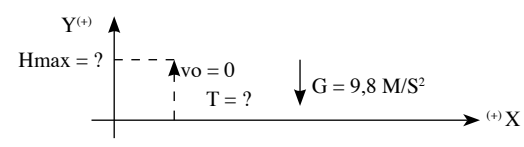
Teoremas-en-acción:

1. «La “realidad” es el modelo cinemático (físico-matemático)».
2. «Si algo ya está estudiado busco la ecuación que me vincula sus variables». «Si obtengo un resultado experimental, para robustecerlo trato de respaldarlo averiguando por otro camino (método) independiente».

- «El error es una búsqueda de precisión en la medida».
- «Visualizo más de una solución en la situación problemática planteada».
- «La autoridad del otro es un criterio de científicidad».

Llama la atención una ausencia notable de teoremas en el aspecto 1. Preocupados, tal vez, por «incluir» en el informe aspectos más novedosos (desde la perspectiva de los estudiantes), tales como, medición, error, precisión, método experimental, contrastación, no incorporaron aspectos teóricos ni sus relaciones. Una de las comisiones de esta categoría en su informe escribe:

A-2. Comisión N.º 6
 Dado un lanzamiento vertical, determinar la velocidad inicial del proyectil.
 Planteo de la situación problemática:



(...)
 Esto implica que para calcular la velocidad del proyectil: 1.º hay que calcular el tiempo de vuelo del proyectil o bien la altura máxima que alcanza el proyectil.
 (...)
 Conclusión: Teniendo en cuenta el error cometido en la medición del tiempo y las comparaciones con los resultados de otras comisiones, concluimos que el valor de Vo que más se aproxima al real, es 6,38 m/s

Categoría A-3. Conceptualización y modelización en vías de logro para movimientos bidimensionales en relación con la experimentación.

Estos alumnos han avanzado en la identificación de la pertinencia de contar con un pensamiento propio en el grupo (a diferencia de estar pendientes del saber del otro), incluyen detalladamente las demostraciones en el informe valorando y validando el conocimiento científico, y efectúan mediciones bajo diferentes condiciones buscando concordancia.

Conceptos-en-acción: magnitud, modelo cinemático incipiente, sistema de referencia, situación física, estado de movimiento incipiente, problematización, predicción incipiente, espacios vectoriales, estimación, precisión, error de medición, medición, reproducibilidad, pluralidad de lenguajes.

Teorema-en-acción:

1. «En el tiro vertical, la velocidad final es igual a la velocidad inicial al mismo nivel». «Cuando sólo la aceleración de la gravedad actúa sobre un proyectil lanzado oblicuamente, la componente horizontal de su velocidad no cambia».
2. «El modelo cinemático es un “predictor” en situación real». «Una misma posición final conocida se puede relacionar con más de un estado inicial».

3. «Desde lo sabido trato de “demostrar” la situación específica a la que me enfrento».
 «Si obtengo un resultado experimental, para robustecerlo trato de respaldarlo averiguando por otro camino (método) independiente».
 «Se comienza a cuestionar la naturaleza de los errores».
 «El error como búsqueda de precisión en la medida».

Una de las comisiones en su informe escribe:

A-3. Comisión N.º 3
 (...) Sabemos que en la circunferencia trigonométrica, el seno de un ángulo es igual al seno del suplementario de ese ángulo. Pero como en la ecuación usada el ángulo está multiplicado por dos, el ángulo que tiene el mismo seno es el complementario.
 (...) Se trata del movimiento bidimensional de una partícula lanzada oblicuamente en el aire, suponiendo que la fricción del aire es despreciable.
 (...) Ya que no hay una componente horizontal de la aceleración, la componente horizontal de la velocidad retiene su valor durante todo el vuelo.
 (...)

Categoría A-4. Conceptualización y modelización para movimientos bidimensionales en relación con la experimentación.

Ya comienzan a incorporar otras relaciones más. Hacen uso de la posibilidad de contrastar distintos resultados y métodos de trabajo, de la identificación de varios estados iniciales para movimientos físicos posibles y una misma posición final, individualización de límites de validez del modelo cinemático de la partícula, de la aplicación de criterios propios para decidir si dos valores distintos pueden considerarse iguales (error).

Conceptos-en-acción: magnitud, problematización, modelo cinemático, predicción, sistema de referencia, situación física, estado de movimiento, espacios vectoriales, estimación, precisión, incertidumbre⁶ de medida, medición, reproducibilidad, pluralidad de lenguajes, variables (in)dependientes.

Teoremas-en-acción:

1. «La forma de la trayectoria de un proyectil lanzado al aire es parabólica».
 «Para un mismo alcance, a mayor ángulo de lanzamiento, el objeto permanece en vuelo durante un tiempo mayor».
 «La pelotita en vuelo (tiro parabólico) no tiene nunca velocidad nula».
 «Cuando sólo la aceleración de la gravedad actúa sobre un proyectil lanzado oblicuamente, la componente horizontal de su velocidad no cambia».
2. «El modelo cinemático se constituye en predictor en situación real».
 «Ni la masa del proyectil ni las fuerzas actuantes forman parte del modelo (cinemático) de la partícula».

3. «Una misma posición final conocida, se puede relacionar experimentalmente con más de un estado inicial».
 «Desde lo sabido trato de “demostrar” la situación nueva a la que me enfrento».
 «Si obtengo un resultado experimental, para robustecerlo trato de respaldarlo averiguando por otro camino (método) independiente».
 «Se comienza a cuestionar la naturaleza de los errores».
 «El error como búsqueda de precisión en la determinación de la exactitud de una medida.»

A-4. Comisión N.º 4
 (...) $t = (v_{iy} - v_i \cdot \sin\theta)/g$
 (...) $x(t) = v_x \cdot t$
 $x(t) = v_i \cos\theta \cdot (2 \cdot v_i \sin\theta)/g$
 (...) **Conclusión:**
 Tomando cualquiera de estos dos ángulos, θ_1 , o θ_2 el alcance es el mismo, lo que varía es el tiempo de vuelo; en θ_2 el tiempo de vuelo es mayor que en θ_1 .
 La aceleración de g sólo actúa en el sentido del eje y , cuando la pelotita sube, $A = g$ se opone y cuando baja va a favor, por lo tanto el movimiento es retardado y luego es acelerado. En x $a = 0$ ya que g no tiene componente en x , por lo tanto el movimiento es uniforme, la velocidad es constante.
 (...)

Resumiendo, en todas las agrupaciones construidas se avanza en los contenidos alcanzados y en las relaciones llevadas a cabo, sobre todo, en aspectos tales como:

- Identificar la situación problemática planteada.
 - Problematizar fenómenos físicos sencillos.
 - Trascender la mera sintaxis (forma) en busca de una mayor significación (contenido).
 - Discutir en el laboratorio la posibilidad de utilizar caminos distintos para resolver:
 - Unos midieron el tiempo, otros la altura; o ambos parámetros y contrastaron.
 - Todos utilizan g como dato.
 - Observar que la pelotita no cae en el lugar que la teoría predice. Antes, predecir dónde caerá al ser lanzada oblicuamente al aire.
 - Discutir y analizar razones de ello.
 - Realizar el cálculo según supuestos y comparar.
- Además, mejora notablemente la comunicación en el aula con el profesor y entre pares.

B. En el caso de participación en el Laboratorio Tradicional
 Para la descripción de la producción de las 7 comisiones (30 estudiantes) se necesitó de la construcción de una sola categoría. La variabilidad mostrada ha sido escasa. En el siguiente recuadro se han sintetizado los conocimientos-en-acción advertidos:

Conceptos-en-acción: número, repetibilidad⁷ incipiente, exactitud, error, medición directa; rapidez promedio; valor promedio...

Teoremas-en-acción:

1. «La rapidez instantánea como rapidez media».
«La velocidad instantánea inicial es el valor que corta la curva de mejor ajuste al tiempo $t = 0$ ».
2. «La “realidad” tiene existencia en el modelo físico-matemático».
«Mido y calculo errores dando escasa importancia al significado físico».
3. «El error es una debilidad de la experimentación».
«Sigo trabajando con la nube de datos, a pesar de haber obtenido la función de ajuste».

Los alumnos caracterizados en este grupo –a pesar del despliegue efectuado– manejan las nociones de incertidumbre en la medida y velocidad instantánea⁹ en una forma muy elemental. La ausencia de conceptos-en-acción como magnitud, valor asignado, desvío, propagación de errores, curva de ajuste, reproducibilidad, velocidad variable, derivada, error sistemático, entre otros, impide centrar la atención en aspectos críticos de la situación experimental, y por tanto, en captar el objetivo mismo de la actividad. Este último parece ser un elemento determinante para la activación de esquemas.

Los invariantes operatorios que subyacen a la actividad de trabajar en este laboratorio introductorio a los fenómenos son: valor exacto, equivocación, repetibilidad, nube de puntos. Mientras que los contenidos a los que se apuntaba desarrollar eran: valor de referencia, incertidumbre de la medida, reproducibilidad y función de ajuste.

DISCUSIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Puede decirse que los conceptos y teoremas que los estudiantes ponen en juego al participar en un laboratorio e informar sobre lo actuado y reflexionado, están fundamentalmente en construcción. Eso nos ha llevado a otorgar grados en el uso hecho de los mismos. ¿Qué nos indican acerca de concepciones y competencias de los jóvenes sobre la construcción de la conceptualización y modelización de movimientos bidimensionales en relación con la *experimentación*?

Informar sobre un trabajo experimental para los estudiantes de la Categoría A-1 significa todavía desvincular su naturaleza física, bajo la creencia extendida de que experimentar se limita a operar con las formas, es decir, omitiendo supuestos y limitaciones del modelo cinemático y sobrevalorando el saber del otro y desconociendo que las formas operatorias también evolucionan y que están indisolublemente relacionadas con las formas predicativas en términos de la teoría de los campos conceptuales. Es notable la escasa información específica del campo conceptual respectivo incluida en los informes.

En la segunda categoría los estudiantes acuden a nociones aisladas de medición, error, precisión, método experimental, contrastación, e incorporan unos pocos aspectos conceptuales. Se avizora una convivencia de al menos dos lenguajes (gráfico y algo de algebraico) que enriquecen inicialmente la comunicación y un principio de cuestionamiento a la na-

turalidad de los errores; desconociendo aún supuestos y limitaciones del modelo cinemático y subestimando el saber propio del grupo. En cambio, en la categoría A-3 han avanzado, sobre todo, en la valoración de la construcción del saber propio a partir del pequeño grupo, en la búsqueda de concordancia en las mediciones efectuadas, en la capacidad predictiva de un modelo y en la convivencia de variados sistemas de signos que enriquecen la comunicación y significación del conocimiento científico. Por su parte, los estudiantes de la categoría A-4 han ganado en los tres aspectos identificados en el análisis y en la oportunidad de relacionar los tres conjuntos. Conciben la incertidumbre asociada a la medición; predicen y estiman el alcance en función de otras variables. La equivalencia-en-acción de métodos y la noción de incertidumbre asociada a la medición modificarían sustancialmente la significación.

Este primer trabajo experimental no se ocupó de la propagación de errores, aunque se discutió sobre el significado de la incertidumbre en las mediciones. Este tema podría profundizarse en trabajos posteriores, a medida que los estudiantes vayan teniendo más experiencia en el laboratorio, en el conocimiento del marco teórico disciplinar y, más en general, comprendiendo la disciplina. En pocas palabras, se ha buscado crear la necesidad de tratar más rigurosamente la Teoría de Errores y, sobre todo, se ha intentado ir al fondo de la cuestión: enriquecer vínculos entre forma y contenido. En nuestro caso, la utilización del laboratorio experimental no sólo con fines de aprendizaje sino –sobre todo– como mediación¹⁰ de aprendizaje.

En síntesis, se avanza en la integración de la experimentación a la interpretación de la realidad. Los estudiantes realizan un acercamiento entre la teoría (modelos científicos) y los fenómenos, ya que el problema experimental es comprensible, y no es irreal o intrascendente. La resolución está a su alcance. Por un lado, la incorporación de la novedad a través de la problematización (una pregunta es una forma de ello); y por otro, la construcción de criterios propios a diferencia de lo que suele encontrarse en los formatos tradicionales.

En cambio, en el tradicional queda la duda. Para los estudiantes de la categoría B experimentar, al parecer, se reduce a proveer los valores y los errores que den el resultado previsto. No se integra la experimentación a la interpretación de la realidad. Se quedan en los aspectos sintácticos, no avanzan hacia los significados. El trabajo de laboratorio se torna, entonces, inaccesible; y desde la perspectiva de los estudiantes se constituye en inmotivado, fútil y arbitrario. Localmente, siguen confundiendo rapidez media y rapidez instantánea y el error es concebido como equivocación.

A MODO DE CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES

Las conclusiones muestran, aun en su carácter incipiente, la potencialidad de este marco teórico en dos direcciones: para interpretar la construcción del significado de conceptos aislados que comienzan a integrarse en estructuras más abarcativas y para el diseño y mejoramiento

de propuestas instruccionales tendentes a un aprendizaje significativo crítico.

En el análisis de la producción se ha mostrado relevante la noción de *realidad* asumida y/o construida por los estudiantes. Cuando se busca generar condiciones para producir conocimiento, se advierte cierta movilidad en esta dirección. Se avanza en la construcción de relaciones entre la «realidad» de la vida cotidiana y la «realidad» de los modelos científicos que incluyen conceptos, leyes y teorías y los distintos sistemas de signos necesarios para su representación externa. El concepto de laboratorio y el énfasis puesto en juego han sido muy diferentes en ambas modalidades.

La realidad es siempre infinitamente compleja, y no se puede pasar directamente desde la percepción común y del comportamiento práctico espontáneo a la descripción científica y a la «visión teórica». Pero el trabajo científico comienza confrontando la experiencia espontánea con ciertas otras realidades, cuya relación de analogía hace posible obtener una primera visualización de la estructura posible, la cual hubiera sido, de no mediar ese *modelo*, invisible (Samaja, 1999). La experimentación ha aportado en ese sentido, proveyendo herramientas para el modelado y criterios para buscar las variables significativas.

Lograr la realización de trabajos prácticos de Física en los que el futuro profesional pueda, a partir de una situación problemática, en principio abierta (o parcialmente abierta), desarrollar la tarea experimental y avanzar en su modelización en forma personal y/o grupal con más tiempo interactuando con los materiales, docentes y compañeros parece ser una importante oportunidad para el buen aprendizaje.

Hacen suyo el objetivo de la situación experimental planteada desde el inicio de la tarea, organizan el trabajo en función de las decisiones que toman y eligen; es decir, activan esquemas más consolidados. Si nos remontamos a Dewey (1950), a las ideas se les adjudica la operación de inspirar y dirigir la búsqueda de nuevos hechos; y a los hechos, la operación de producir hallazgos, además de «servir de prueba». Es este primer sentido dado a los hechos el que parece ser una buena oportunidad para la incorporación de la novedad en el sistema cognitivo.

Hemos visto a lo largo de este estudio, una vez más, cómo los conceptos se construyen apoyándose unos en otros, y cómo los sistemas de signos permiten –mejor que cualquier otro proceso– la identificación de los objetos que se corresponden indirectamente con alguna percepción. Apoyándonos en el punto de vista de Vygotsky nuevamente se puede decir que la mediación a través de los sistemas de signos es un proceso ineludible en la enseñanza de las ciencias. La enseñanza es irremplazable. Hay que enseñar a trabajar en el laboratorio experimental. Frecuentemente ha sido concebido como un espacio ausente de enseñanza intencional.

Para Galileo la experimentación era importante, pero sólo como una exhibición y confirmación *ex post facto* de lo que para él ya había sido descubierto por la razón (Hanson, 1977:25). Pero, cuando la razón no los ha descubierto, ¿qué hacer?

Cuando se busca la conceptualización y la modelización el trabajo experimental se convierte en fuente de conocimiento frente a situaciones nuevas o relativamente nuevas. Se concibe así la experimentación como una forma de favorecer el establecimiento de relaciones entre tres conjuntos: el de las situaciones experimentales¹¹, el de los invariantes operatorios y el de las representaciones externas utilizadas en Física (distintos lenguajes y simbolismos).

Quedaron pendientes para una próxima experimentación dos aspectos:

- El trabajo sobre un teorema en acción detectado particularmente muy persistente: «A mayor número de mediciones compenso los errores, incluso los sistemáticos.»
- El trabajo sobre los límites entre la región alcanzable e inalcanzable para un proyectil con una velocidad inicial determinada.

NOTAS

1. Se entiende una *situación* como una tarea compleja, o combinación de subtareas, a las cuales se enfrenta el sujeto.
2. Comprender el objetivo desde el comienzo del trabajo experimental contribuye a que el equipo e instrumental de laboratorio se «vea»; por un lado, como un medio de comunicación (mediación) que sirve para responder al planteo generado y, por otro, como sistema de signos que refleje la conciencia organizada de una cultura (Escudero, 2008).
3. Por ejemplo, una magnitud se considera incipiente cuando se expresa sólo el número (sin la unidad).
4. La situación física, o sistema físico, es una representación de primer orden de la realidad siguiendo a Adúriz-Bravo. Como analizamos en otro trabajo (Escudero y Jaime, 2007) una escasa identificación de la situación física es frecuente fuente de incomprendiones en la resolución de situaciones problemáticas.
5. Grado de concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo efectuando las mediciones bajo diferentes condiciones de medida (Lobbe, 2006).
6. Parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurado.
7. «Grado de concordancia entre los resultados de sucesivas mediciones del mismo mensurando, efectuando las mediciones con la aplicación de la totalidad de las condiciones de medición» (Lobbe, 2006).
8. Sólo estuvo presente en algunas comisiones.
9. Nuestros datos muestran esta confusión muy arraigada en los cursos introductorios de secundaria y universidad. La confusión se centra más en rapidez promedio asociada con la rapidez instantánea, y nos enseñó la gran dificultad que tenían los estudiantes para relacionar velocidad media con el espacio-tiempo (Escudero, 2005).
10. El empleo de mediaciones capaces de provocar una «organización sustitutiva» de las funciones superiores le llevó a Vygotsky a proponer la posibilidad de proporcionar al individuo *recursos metacognitivos*, dicho en términos actuales. Podemos ver cómo, a partir de esta visión, fueron materializándose los fundamentos de conceptos tales como autorregulación, mediación, metacognición, que circulan en el contexto educativo. En Escudero (2007) pueden consultarse sustentos teóricos en este sentido.
11. El mundo «real» transformado por los procedimientos y las técnicas. Estas situaciones permiten el ingreso al campo conceptual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉS, M.M. (2006). Diseño del trabajo de laboratorio con bases epistemológicas y cognitivas: caso carrera de Profesorado de Física. Tesis de doctorado. Universidad de Burgos. Resumen en *Revista de Enseñanza de la Física*, 19(1), pp. 87-88.
- ANDRÉS Z., M.M., PESA, M.A. y MOREIRA, M.A. (2006). El trabajo de laboratorio en cursos de Física desde la teoría de campos conceptuales. *Ciência e Educação*, 12(2), pp. 129-142.
- ANDRÉS, M.M. y PESA, M.A. (2004). Conceptos-en-acción y Teoremas-en-acción en un Trabajo de Laboratorio de Física. *Revista Brasileira Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(1), pp. 59-75.
- ESCUADERO, C. (2005) Inferencias y modelos mentales: un estudio deresolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. Tesis doctoral. Universidad de Burgos-Universidad Federal de Rio Grande do Sul.
- ESCUADERO, C. (2007) Interacción y actividad instrumental vigotskiana en una perspectiva ausubeliana de aprendizaje. *Revista de Enseñanza de la Física*, 20(1), pp. 41-54.
- ESCUADERO, C. (2008) El trabajo experimental como fuente de conocimiento en un CC, como parte de un CC. Enviado a publicación.
- ESCUADERO, C. y JAIME, E. (2007) La comprensión de la situación física en la resolución de problemas: Un estudio en dinámica de las rotaciones. *REEC*, 6(1), pp. 1-19.
- FRANCHI, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais, en Alcântara Machado, S.D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*, pp. 155-195.
- GARCÍA, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. España. Gedisa.
- GLASER, B. y STRAUSS, A.L. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Chicago: Aldine.
- GRECA, I., MOREIRA, M. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre.
- HANSON, N.R. (1977). *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*. Madrid: Ed. Alianza.
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3).
- LOBBE, E. (2006). *Metrología. Calidad de las mediciones. Requisitos de las normas internacionales*. Curso en FI (UNSJ).
- MOREIRA, M.A. (2002) A teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Investigações em Ensino de Ciências*. Brasil, 7(1). Site: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
- PETRUCCI, D., URE, J. y SALOMONE, H. (2006). «Cómo ven los trabajos prácticos de laboratorio de Física los estudiantes universitarios». *Revista de Enseñanza de la Física*, 19(1).
- SALINAS, J. y CUDMANI, L. (1992). «Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida». *Revista de Enseñanza de la Física*, 5(2), pp. 10-17.
- SALINAS, J. (1996). Tesis doctoral (Versión abreviada). Las prácticas de Física básica en Laboratorios Universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, Volumen Extraordinario.
- SAMAJA, J. (1999). *Epistemología y metodología*. Bs. As.: Eudeba.
- SÉRÉ, M. (2002). «La enseñanza en el Laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?» *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 357-368, Barcelona, España
- SÉRÉ, M., COELHO, S. y DIAS NUNES, A. (2003). O papel da experimentação no ensino da Física. *Cad. Bras. Ens. Fis.*, 20(1), pp. 30-42.
- VERGNAUD, G. (1983). Actividad y conocimiento operativo, en Coll, C. *Psicología genética y aprendizajes escolares*, pp. 91-104. (Madrid, Siglo XXI).
- VERGNAUD, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), pp. 133-170.
- VERGNAUD, G. (1994). *Multiplicative Conceptual Field: What and why*, Ghershon and Jere Edit. State University of New York Press.
- VERGNAUD, G. (2007). *Campos conceptuales. Minicurso en 1er Encuentro Nacional de Educación en Matemática (IENEM)*, Tandil (Bs. As.).
- VIGOTSKY, L. (1979a). *Pensamiento y Lenguaje*. La Pléyade. Buenos Aires.
- VIGOTSKY, L. (1979b). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona. Crítica.

[Artículo recibido en febrero de 2009 y aceptado en abril de 2011]

The experimental work as possible generator of knowledge in teaching of Physics

JAIME, EDUARDO ADRIÁN¹ y ESCUDERO, CONSUELO²

¹ Universidad Nacional de San Juan-Argentina, Facultad de Ingeniería

² Universidad Nacional de San Juan-Argentina, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Facultad de Ingeniería

ejaime@unsj.edu.ar

cescudero@unsj-cuim.edu.ar

Summary

The task of future professionals in the laboratories of physics is often done as an illustration or verification of previously introduced theoretical content. Usually students have guides that mark the steps in one direction and involve the adoption of practical work only when you get the expected result. Practical work in these guidelines, opportunities to link theoretical concepts and models with limited experimental results are practically having no place to formulate hypotheses or for student decision-making, among others.

This paper presents some evidence found in the analysis of an intervention that consisted of the experimental activities in physics laboratories in two basic forms: traditional and innovative.

We have discussed in detail the decisions taken by students when they take part in the first experimental problem situations in college and, consequently, the pursuit of knowledge-in-action which would be important to intervene to help improve the learning processes in relation to the consensus of the scientific model, beyond the mere manipulation of instrumental and uncritical following of routines and rules, seeking to advance relations between form and content.

The theory of conceptual fields Vergnaud provides appropriate methodological tool for analysis and a focused look at how and under what conditions the subject attempts to understand new objects and phenomena. This is a pragmatic theory in the sense that presupposes that the acquisition of knowledge is shaped by situations, problems and actions of the subject in such circumstances.

The research was conducted under real classroom situations during the second half of 2007 with a total of 64 freshman Engineering students of the Physics I class.

Regarding the development of the proposal, one of our main concerns were the activities of the innovative modality as resolution of problems from the start. 34 students divided into 7 committees worked and attended the laboratory on one occasion. A guide did not have experimental writing. They requested a report group, under a flexible format, including conclusions, answers to questions raised, justifications and other relevant aspects. Practical work selected in-depth analysis on the motion is two dimensional. The activities were designed to engage students in a committed way in the handling of resources.

Meanwhile, the traditional laboratory was the verification of the equations that describe a uniformly accelerated rectilinear motion from measurements of position and time. They provide a guide that contains a brief theoretical framework on the subject, experimental methodology and a questionnaire to answer. The 30 students were divided

into 6 commissions, and attended the laboratory on one occasion.

The first results of this investigation, and its interpretation, have allowed the identification and classification of data, the building of categories and explanation of the concepts and skills of students. The aspects taken into account when developing the categories were:

1. local, specific content
2. the notion of physical model
3. aspects of scientific methodology and the students warning.

It was possible to define four categories in the group participating in the innovative lab, ranging from sharply lack to a very good achievement in the conceptualization and modeling of two-dimensional movements in relation to experimentation.

To describe the production of the traditional lab, fees are required for the construction of a single category. Shown variability was low.

One aspect that emerged was the need to address more stringently the theory of errors. Very good results get to the bottom of the issue: enhance links between form and content.

In short, advances in the integration of experimentation to the interpretation of reality have taken place. Students have made a rapprochement between theory (scientific models) and phenomena, since the experimental problem is understandable, and it is unreal or unimportant. The resolution is within reach. On the one hand, the incorporation of novelty through the problematization and on the other, building their own criteria as opposed to what usually found in traditional formats.

In contrast, the traditional students left wondering. Experimentation in this group tends to decline to provide the values and errors that give the expected result. Experimentation does not integrate the interpretation of reality. They stay in the syntactic aspects, without moving toward meaning. Laboratory work becomes, then, inaccessible, and from the perspective of students it is in unmotivated, futile and arbitrary.

Throughout this study we have seen, once again, how concepts are built relying on each other, and how systems of signs allowed, better than any other process, the identification of objects that correspond indirectly to any perception. Building on the perspective of Vygotsky again, it must be said that mediation through sign systems is an inevitable process in the Teaching of Science. Working in the experimental laboratory should be taught. It has often been conceived as a teaching space intentionally absent.