

# Trabajo experimental: desarrollo del pensamiento y construcción de teorías científicas

Experimental work: development of thought and scientific theories construction

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Consuelo Escudero<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan, Av. Libertador 1109 (O). Capital. CP 5400, San Juan, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli. Rivadavia. CP 5400, San Juan, Argentina.

E-mail: cescudero@unsj-cuim.edu.ar

## Resumen

En este trabajo se presentan apretadamente elementos provistos por las contribuciones de Jean Piaget y Rolando García (1996), entre otros autores, en relación con la educación en ciencias naturales y la investigación en prácticos de laboratorio en particular. El interés central ha estado en el desarrollo de vínculos entre hechos, experimentación, metodología, adquisición del conocimiento, mecanismos de construcción de teorías científicas, desarrollo del pensamiento con vistas a mejorar la práctica educativa. Se han seleccionado sólo unos pocos aspectos, bajo nuestra óptica que cumplen con ser genuinos, fecundos y menos conocidos.

**Palabras clave:** Experimentación; Hechos y procesos; Aprendizaje; Investigación educativa.

## Abstract

This paper presents a succinct description of the contributions by Jean Piaget and Rolando García (1996), among other authors, concerning education in natural sciences and practical research in laboratories, in particular. The central interest revolves around the connection between facts, methodology, experimentation, knowledge acquisition, mechanisms for the construction of scientific theories and the development of thinking, with the purpose of improving educational practice. Only a few aspects have been selected which, in the authors' view, are more genuine, more fruitful and have been less developed.

**Keywords:** Experimentation; Facts and processes; Learning; Research in education.

## I. INTRODUCCIÓN

Las nociones físicas tienen la particularidad de aunar la colaboración de la razón y de la experiencia. A la hora de la enseñanza esta característica puede ser tan beneficiosa como desfavorable, dado que la construcción de los conceptos físicos está muy ligada a la subjetividad de las experiencias personales. Es en esa intersección de objetividades y subjetividades donde nos situamos para analizar y describir distintas producciones y perspectivas.

Algunas de las razones de esta particularidad tienen que ver con la amplia cantidad de oportunidades que ofrece para combinar esquemas de trabajo (íntimamente vinculados a las competencias) con el bagaje de conocimientos que se hayan construido a lo largo de la formación.

Entonces vemos que son las situaciones las que contribuyen a configurar los sentidos, a conceptualizar, es decir, a constituir una relación dialéctica entre situaciones y conceptos. Desde nuestra perspectiva en el aula se aspira a formar ciudadanos y/o profesionales del mañana buscando el desarrollo del pensamiento, tanto de la causalidad como del pensamiento analítico.

Frecuentemente a las ciencias naturales se las considera ciencias que tienen una asociación estrecha con la medición y el modelado. En física se acepta en forma prácticamente unánime que las leyes se ba-

san en observaciones experimentales donde la medición es fundamental; uno de los problemas es que siempre que se mide se provoca una perturbación en el sistema.

Sin embargo, no es completamente cierto que la Ciencia comience con la observación. No existe la posibilidad de neutralidad en las observaciones, ni siempre es posible pensar que sean libres de presupuestos. Las observaciones están cargadas de teoría o se realizan a la luz de una o más teorías. Varios de los experimentos que se realizan actualmente en física como en el Large Hadron Collider (LHC) del CERN y en el experimento LION están diseñados para poner a prueba teorías físicas existentes, en este caso las teorías preceden y guían el experimento.

En líneas generales cuando se está aprendiendo también se observa con alguna “teoría en mente”, consciente o inconscientemente, llevando –a veces– a deformaciones o interpretaciones alternativas, pasando desapercibidos determinados aspectos. El punto de partida del conocimiento no es la sensación, es la acción de conjunto, de la cual la percepción es parte. En las fases iniciales –las formas y el contenido– constituyen una totalidad.

Por tanto, se necesita progresar hacia un análisis más fértil a partir de elementos teóricos con mayor potencial. Las actividades experimentales precisan ser organizadas considerando que es crítico aprender a observar, de modo que dicha observación pueda mostrar, y más aún, desagregar la “teoría” de quien la hace. De este modo es importante que la elección de la(s) actividad(es) se instituya en un aspecto relevante en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Durante los últimos años, hemos ampliado nuestro conocimiento acerca de las circunstancias que inhiben y promueven el aprendizaje conceptual en las clases de ciencias y en el aula-laboratorio en particular. Podría decirse que la experimentación facilita la comprensión de los fenómenos y las transformaciones que ocurren en el mundo, pero esto no sucede espontáneamente. Nos podríamos preguntar: ¿Se construye conocimiento físico desde la experimentación siguiendo una prolija línea metodológica que va articulando relaciones lógicas? La intención del presente trabajo ha sido la de hacer una revisión teórica que aporte a la fundamentación de la práctica experimental. Busca contribuir a las relaciones que avizoraron trabajos de base piagetiana aunque de mirada enraizada en el paradigma de la complejidad y con potencial en la formación de recursos humanos en ciencias empíricas.

Abordaremos en primer lugar la noción de hechos como fundante en el área.

## II. LA NOCIÓN DE HECHOS Y LOS OBJETOS DE CONOCIMIENTO

De acuerdo con de la Torre (2000) y dejando de lado las discusiones acerca de la existencia de la “realidad”, podemos *“definir el sistema físico como una abstracción de la realidad que se hace al seleccionar de la misma algunos observables relevantes. El sistema físico está compuesto entonces por un conjunto de observables que se eligen en forma algo arbitraria”*.

Como lo real consiste, en el punto de partida, en *observables* directamente obtenidos por la percepción, cada uno de nosotros cree conocerlos; y puesto que se repiten con cierta generalidad, son concebidos como necesarios y únicos posibles en su dominio. Para tener necesidad de verificar que son realmente como parecen, la condición previa sería “sobrepasar” lo real e imaginar otros posibles y, por consiguiente inventar problemas allí donde parecería que no hay ninguno. A la vez un observable tiene asociadas una o más propiedades. A cada propiedad se le asigna un símbolo. Posteriormente se establecen relaciones entre esos símbolos (relaciones que tienen un origen conceptual). En ese nivel de desarrollo lo que se está efectuando es una formalización matemática.

Un observable, por elemental que sea, supone ya mucho más que un simple registro perceptivo, puesto que la percepción como tal, está subordinada a los esquemas de acción, estos involucran una logización por el juego mismo de sus puestas en relación, superposición, etc.

Mientras el *hecho* –ya sea una propiedad, una acción o un evento cualquiera– se considera como un observable recién a partir del momento en que es “interpretado”. Es decir, desde una significación relativa a un contexto más amplio. Así, un hecho es, siempre, el producto de la composición entre una parte provista por los objetos de conocimiento y otra construida por el individuo.

La intervención del individuo es tan importante, que puede llegar hasta una deformación, o más aun a una represión o rechazo del observable, lo cual desnaturaliza el hecho en función de la interpretación. Hay allí una deformación del observable en función de una falsa interpretación. Un claro ejemplo es el de alumnos de universitario básico trabajando en grupo que concluyen –tras experimentar lanzando un cohete– que “un proyectil no puede llegar a su blanco a menos que sea lanzado según la recta que une a quien lanza el proyectil con dicho blanco”. Al buscar el acuerdo de los resultados del experimento con la teoría o modelo –después de que deja de actuar la fuerza de propulsión– representan el movimiento analizándolo por regresión lineal. Sin embargo, no es tan fácil ya que representa una relación potencial con relación lineal y cuadrática a la vez en “t”. El objetivo es encontrar –si la hubiese– la relación que liga la

variable “y” con la “t”. Pero como interpretan que la función  $y = f(t^2)$  es una recta construyen falsos observables. Esto dependerá de si la velocidad inicial es:  $v_{0y} = 0 \text{ m/s}$ . Sólo en ese caso será válida la conjetura de función lineal. En general y en símbolos, si

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a \cdot \Delta t^2 \quad \rightarrow \quad y = y_0 + v_{0y} \cdot \sqrt{x'} + \frac{1}{2} a \cdot x'$$

Aunque la única interacción presente para ese caso es la fuerza peso, puesto que ellos mismos la explicitan, esta posible identificación los deja indiferentes en presencia de las modificaciones perceptuales, a las que centran en una u otra de las relaciones en cuestión sin efectuar una composición completa de relaciones.

Su metodología no es sino que una lógica aplicada a los datos de la experiencia. ¿Por qué no llegan a construir una explicación física de lo que está pasando? La implementación de medios inapropiados para controlar las actividades cognitivas puede ser una causa del error, a pesar de que los individuos ya hayan comenzado a adquirir herramientas de conceptualización más adecuadas.

*En la Historia de las Ciencias se encuentra una actitud análoga cuando un investigador, antes de aceptar un hecho que desmiente sus teorías, trata por todos los medios de atenuar su alcance: el mismo Planck, habiendo descubierto su primer ejemplo de cuanto, buscó durante algunos años dónde podría encontrarse el error, antes de decidirse a reconocer el hecho. (Piaget y García, 1996)*

El objeto de conocimiento se constituye entonces en interacción con los hechos, es decir, en el mismo nivel, pero según una dualidad de significaciones. Se trata, ante todo, de un problema de adecuación entre las *formas de razonamiento* –como son el pensamiento numérico (aditivo, multiplicativo), geométrico, algebraico y/o el funcional– y las *fenomenologías* identificadas en los respectivos procesos o transformaciones como control interno y con *formas de representación* que dan lugar a un enriquecimiento de los significados. La complejidad del campo específico es importante –agregado a que están en construcción los modos de pensamiento– debido a las dificultades para trascender los distintos modos de pensamiento en el área. Esta última categoría de dificultad aparece menos en la literatura didáctica, quizás porque a nuestros alumnos se les da raramente la responsabilidad de seleccionar los modos de pensamiento que deben utilizar. Sin embargo, su dificultad es esencial. Se puede buscar con la enseñanza que los conceptos físicos cambien de status, pasen a ser objetos de pensamiento con propiedades.

### III. ESTADO DEL ARTE

Es variada y prolífera la bibliografía que aborda el rol del trabajo experimental en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Especialistas como Barais y Vergnaud, 1990; Salinas y Cudmani, 1992; Séré y otros, 1993; Hodson, 1994; Salinas, 1996 advierten sobre el papel asignado a los trabajos prácticos de laboratorio y señalan diversas limitaciones, entre las que destacamos la visión “*desproblematizada*” y científica de la labor de los estudiantes en el laboratorio y la naturaleza limitada e inadecuada del proceso y del producto del quehacer científico.

La complejidad manifestada por la experimentación en la actualidad se viene señalando también desde distintos ángulos (Séré, 2002; Kwon, 2002; Testa, Monroy y Sassi, 2002; Sassi, Monroy y Testa, 2005; Andrés Zuñeda y otros, 2006; Jaime y Escudero, 2008; 2011; Dorrío y otros 2013). Ha llevado a docentes e innovadores a la propuesta de un variado número de actividades relacionadas con ella. Frecuentemente tanto el laboratorio experimental neto como el asistido con tecnologías han sido concebidos como espacios ausentes de enseñanza intencional. Ante la utilización de nuevos y distintos dispositivos (sensores, interfaces, software) para adquirir datos en tiempo real, cambió el aula-laboratorio, además de posibilitar el procesamiento y el graficado conlleva la incorporación de nuevas ideas a los laboratorios de Física. Siendo la elección de la(s) situación(es) un punto crucial ya que posibilitarían el ingreso o no del individuo al campo conceptual.

### IV. ÉNFASIS EN LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA

Hace 2300 años Aristóteles defendía que el ser humano que tuviese la noción del saber sin la experimentación ignoraba las particularidades de esos saberes, siendo, en consecuencia la experimentación imprescindible para que se tuviese un conocimiento amplio. ¿Cuál es la diferencia entre la postura defendida por Aristóteles y una perspectiva más actual; por ejemplo, la newtoniana o la einsteniana? Es que aquella fue una postura puramente especulativa e intelectual, enraizada sobre todo en la fe. Por cierto que con el mérito de reflexionar con una profundidad asombrosa.

Si bien la constitución de una ciencia experimental supone una metodología, ésta no es suficiente per se (una metodología es condición necesaria pero no suficiente en la constitución de una ciencia experimental), agregado que su aplicación es función de los problemas que se plantea el individuo y, correlativamente, de la búsqueda de posibles que él mismo es capaz de imaginar.

El método científico era cosa consolidada en el siglo XVII, tenía ya una larga tradición y había logrado un notable grado de desarrollo. La revolución científica contribuyó a un considerable avance de dicha metodología científica, su principal aportación no se encuentra en la metodología, y no es tampoco la metodología la que constituyó la fuente de esta evolución. Así el método científico permanece subordinado a la concepción de mundo y a la naturaleza de los problemas formulados.

El problema es mucho más amplio, tanto más que, si acabamos de considerar la metodología como una lógica “aplicada”, psicológicamente no podemos interpretar las relaciones causales sino como fundadas en las operaciones del individuo, pero –en este caso– “atribuidas” a los objetos y a sus interacciones materiales. El pasaje de la aplicación a la atribución parecería fácil, pero no lo es por razones que nos conducen nuevamente a las relaciones entre lo real, lo posible y lo necesario.

La distinción que hacen Piaget y García (1996) entre una metodología científica apropiada y el marco epistémico ponen de relieve un notable paralelismo entre los procesos históricos y el proceso psicogenético de desarrollo de las explicaciones de los fenómenos empíricos. Tanto en la psicogénesis como, por ejemplo, en la evolución de la mecánica pregalileana, el paralelismo tiene que ver a la vez con el contenido del pensamiento y con los mecanismos que actúan en la elaboración de los conceptos.

Si el individuo es englobado en lo real por su organismo de naturaleza físico-química, las actividades de éste, gracias a procedimientos o metodologías prácticas o científicas, son fuentes de estructuras lógico-matemáticas que engloban lo real integrándolo en el seno de lo posible y lo necesario.

Este trabajo constituye una significativa discusión de un marco teórico que puede acompañar la interpretación de procesos de aprendizajes sustentados en el trabajo experimental. Plantea, desde el principio, una problemática no sólo fascinante, sino que de suma importancia como la formulación de preguntas, el rol de la observación en la Física, el diseño de situaciones “*problematizadoras*” y “*conceptualizadoras*” fundado en el modelado.

Aceptar una teoría física supone una puesta en relación entre un marco teórico; es decir, una estructura formal y un conjunto de situaciones objetivas (conjunto de hechos) o de objetos con sus relaciones, parafraseando a Piaget y García (1996).

## V. REVISIÓN TEÓRICA

En la actualidad se puede estrechar un consenso bastante pronunciado sobre la necesidad de abordar aquellos procesos desde una mirada interdisciplinaria y que contemple rasgos propios de la complejidad. Tras una observación integral del camino trazado por los estudios psicogenéticos, es posible advertir de cuál manera se fueron complementando con la perspectiva funcional y posteriormente completando con los hallazgos recientes provistos por las neurociencias. Nos encontramos en un momento histórico en el que se puede afirmar con suficiente sustento que el aprendizaje no es un proceso lineal, sino que conlleva aportes provenientes desde las diferentes capacidades desarrolladas a lo largo del crecimiento y en el que tanto los avances como los retrocesos constituyen piezas fundamentales en la construcción del mismo.

Rolando García interpreta los trabajos piagetianos y formula muy justificadamente “El principio de continuidad funcional de los procesos constructivos” que consideramos uno de los ejes de la fundamentación de la experimentación aquí tratada.

Reconocemos que en ocasiones sea confundible el progreso del pensamiento lógico-matemático con la adquisición de pensamiento físico. Sin embargo, no son reductibles y, el proceso se explica como un haz de líneas muy complejas que interactúan entre sí y que se van definiendo también recíprocamente, como es cierto que cuando uno adquiere dominio sobre el pensamiento físico modifica de hecho su pensamiento lógico-matemático. De la misma forma sabemos que cuando uno adquiere dominio sobre la lengua escrita modifica de hecho su lengua oral. Por tanto esta relación es tan estrecha que –a veces– nos es tan difícil discriminar estos componentes.

Por un lado es importante tener en cuenta que los diversos tipos de aprendizaje se apoyan mutuamente, sobre todo los esquemas de tipo teórico vinculados deliberadamente con procedimientos de carácter marcadamente práctico. Aquí es donde comienza a cobrar sentido el concepto de esquema, al que sintéticamente Franchi (1999) define como “*una forma estructural de la actividad*”.

Cuando un conocimiento ha sido estabilizado y probado, lo máximo es que consiga automatizar la organización invariante en que se basa. Aun así, es altamente probable que procure mantener el control sobre él, adaptándolo de acuerdo con la situación a enfrentar. No habría una automatización absoluta.

Por otro lado cuando un estudiante entiende que un esquema no le está resultando eficiente para resolver ciertas clases de situaciones, es muy posible que procure modificarlo o cambiarlo, con lo que se demuestra el lugar central de los procesos de asimilación y acomodación en la adaptación de las estructuras cognitivas (Piaget, 1987; Piaget y García, 1996).

A su vez la evolución de la abstracción empírica (a partir de los objetos) y la de la abstracción reflexiva (a partir de las acciones y operaciones del individuo) están lejos de ser paralelas o simétricas: mientras que la segunda de estas dos formas tiende a liberarse de toda comprobación de hechos y a orientarse en la dirección de verdades lógicas y matemáticas “puras”, la primera crece en precisión y en eficacia sólo en la medida que recibe de la segunda instrumentos de registro o de elaboración. Esto ocurre desde las lecturas más elementales de la experiencia, de tal manera que esta subordinación se acentúa progresivamente con el desarrollo. Resulta interesante desentrañar estas relaciones desde el comienzo mismo, es decir, desde la constitución de los hechos y aún de los observables en la medida que éstos (aun cuando parezcan reducirse a simples verificaciones que no poseen todavía significaciones) implican ya el empleo de cuadros asimiladores vitales para toda “lectura”, siempre parcialmente interpretativa.

En este contexto vale la pena tener en cuenta que los conceptos tienen un dominio restringido de validez, que varía con la experiencia y el desarrollo cognitivo (Vergnaud, 1994).

Conviene analizar algunos hechos entre los cuales el papel desempeñado por las relaciones inferenciales es considerable. Ante una situación experimental, en una primera etapa ligada a un único observable plantea dos problemas: el de las condiciones de lectura de este observable (típico parámetro mientras el resto permanece constante), del cual el individuo toma conciencia, y el de las relaciones igualmente en juego hasta que una abstracción reflexionante las ponga en evidencia en una segunda etapa.

Los conceptos básicos de longitud de onda, frecuencia, velocidad de propagación que forman parte de la mecánica clásica ondulatoria, son construcciones teóricas muy complejas. En Escudero y Jaime (2016) por ejemplo discutimos las respuestas de los estudiantes ante un trabajo experimental sencillo. Como sabemos el movimiento aunque tangible y fundamental, no es típicamente trivial, menos el ondulatorio. La situación diseñada permite poner en juego la continuidad del movimiento ondulatorio a través de las cantidades  $v$ ,  $f$  y  $\lambda$  al paso de una onda de un medio a otro, así como la relación con la fuente de dicho movimiento a partir de situaciones problemáticas de lápiz y papel. Si bien algunos estudiantes logran importantes cuantificaciones otros expresan dificultades al identificar las condiciones de contorno (dicen que  $v_1$  y  $v_2$  se modifican a pesar de que el medio sigue siendo el mismo: premisa falsa) y/o al examinar la nueva relación entre variables.

La materialidad del “cotidiano” también funciona para algunos estudiantes como un punto de partida (o una referencia) para pensar en términos más abstractos. Se avanza acercando teoría (modelos científicos) y fenómenos que se traducen en una mejora en las capacidades de los estudiantes.

A pesar de la complejidad del proceso hay una gran regularidad y uniformidad en los mecanismos de construcción de teorías. Por muy elevada que sea la abstracción, el pasaje de un nivel a otro se efectúa de la misma manera a través de los dos tipos de abstracción mencionados constituyendo el método de construcción de todos los conceptos físicos, y al mismo tiempo, el hilo conductor que vincula entre sí los distintos niveles de construcción y sucesión de las teorías. Piaget y García (1996) describen mecanismos de construcción de teorías físicas proponiendo un conjunto de criterios que permiten examinar las características de una teoría del conocimiento que extrapolamos a los mecanismos necesarios en la construcción de ideas científicas en la mente de los individuos y el rol que la experimentación tiene en dicha construcción.

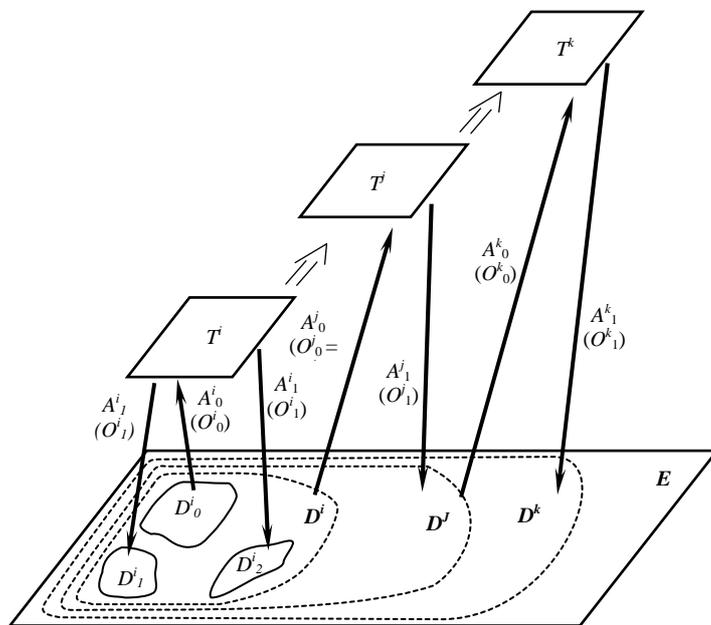
El punto de partida de una teoría física  $T^i$  es siempre un fenómeno o acontecimiento acerca del cual se busca una explicación. La elección de este fenómeno (o conjunto de fenómenos) *recorta* una parte de la realidad. Es decir, que en la descripción de este acontecimiento se consideran ciertos individuos o elementos, ignorando otros, y se hace referencia a ciertas relaciones entre ellos, ignorando otras. Hay desde un comienzo, un proceso de abstracción que designamos con la notación  $A^i$ . Es por este proceso de abstracción  $A^i$  que definimos una situación  $S$  (ciertos individuos o elementos y ciertas relaciones entre ellos), situación que pone en evidencia el fenómeno  $F$  que intentamos explicar.

La descripción de  $S$  y de  $F$  supone en general ciertos conceptos  $O^i$  que corresponden a “experiencias directas” de fenómenos del tipo  $F$ . Algunos de estos conceptos son definidos en forma vaga, aun cuando supongan niveles de abstracción muy complejos [por ejemplo, el concepto de masa, absorbido hoy en el racionalismo complejo de la Relatividad, encuentra en la mecánica de Dirac una dialéctica clara y curiosa (Bachelard, 2001); la idea misma de “interacción” admitida en sus comienzos entre partículas, ampliada a radiaciones]. Es posible luego analizar estos conceptos para caracterizar el proceso de abstracción que ha conducido a ellos. Sin embargo, tal análisis no es necesario desde el punto de vista de la teoría física, puesto que la teoría misma se va a encargar de definirlos o de caracterizarlos con precisión.

El mecanismo propuesto al respecto por Piaget y García es:

- (a) Hay ciertos conceptos de tipo  $O^i$  que, contrariamente a otros, constituyen los *datos* que la teoría acepta como suficientemente bien definidos. Los conceptos de espacio y tiempo, con sus escalas

respectivas, así como el concepto de “posición” que definen constituyen un ejemplo válido para la física clásica. En otros términos, del conjunto de los  $O^i$ , la teoría en cuestión acepta un subconjunto  $O^i$  y reconstituye los otros  $O^i$  que llamaremos  $O^i_1$ . Esta división de los  $O^i$  en  $O^i_0$  y  $O^i_1$  es siempre relativa a la teoría en cuestión, por ejemplo, el espacio y el tiempo, con sus escalas respectivas, son  $O^i_0$  cuando  $T^i$  es la mecánica clásica, pero son  $O^i_1$  para la mecánica relativista. Llamaremos *observables*, con respecto a una teoría  $T^i$ , los  $O^i_1$  aceptados por esta teoría. Éstos observables son “extraídos” del plano de la experiencia por un proceso de abstracción empírica que designaremos  $A^i_0$ .



- D = Dominio
- E = Plano de la experiencia en el cual S (Situación) y F (Fenómeno) están dados. Este plano es la sede de los “observables”.
- $T^i, T^j, T^k$  = Teorías sucesivas.
- $A^i_0, A^j_0, A^k_0$  = Abstracciones del tipo empírico con respecto a las teorías  $T^i, T^j, T^k$ .
- $A^i_1, A^j_1, A^k_1$  = Abstracciones reflexivas con respecto a las teorías.
- $O^i_0$  = “Observable” con respecto a  $T^i$ .
- $O^i_1$  = Construcción teórica con respecto a  $T^i$ , pero “observable” con respecto a  $T^j$ .

**FIGURA 1.** Representación esquemática compleja de los mecanismos de construcción de las teorías físicas donde destaca la no sucesión de estructuras subsumidas unas dentro de otras (Piaget y García 1996).

- (b) A partir del conjunto de los  $O^i$  relativos a un cierto tipo de fenómenos F, la teoría comienza por establecer una distinción entre los  $O^i_0$  y los  $O^i_1$ . Este proceso consiste, en general, en una caracterización precisa de los  $O^i_1$  en el interior de un cierto dominio de aplicación de la teoría  $D^i_1$ . El dominio de aplicación está definido por un subconjunto de objetos, eventos, etc. ya aceptados como tales en las situaciones S que constituyen el punto de partida. Este dominio está caracterizado por el hecho de que los  $O^i_1$  están determinados de manera unívoca por los  $O^i_0$  en el interior de este dominio. Se llama proceso de abstracción  $A^i_0$  relativo a una teoría  $T^i$  al proceso de construcción de los  $O^i_1$  a partir de los  $O^i_0$  en el interior de un dominio preciso.
- (c) Una teoría que se detenga aquí reviste poco interés. Las teorías –en la medida en que las aceptamos como “explicativas”– se vuelven interesantes cuando logran aplicar a *otros* dominios por lo menos uno de los  $O^i_1$  caracterizados de una manera completa en el interior del dominio  $D^i_1$ . En los nuevos dominios ( $D_2, D_3$ , etc.) los mismos  $O^i_0$  siguen siendo válidos, pero el tipo de abstracción  $A^i_0$  no es ya aplicable (si fuera así se trataría del mismo dominio  $D^i_1$ , y no de otro dominio) para llegar a los  $O^i_1$ . Es necesaria una *construcción teórica*. El proceso que conduce a la construcción de un  $O^i_1$  en dominios  $D_2, D_3, ..D_n$  es un *proceso de abstracción reflexiva* que será designado  $A^i_1$  (en la medida en que el nuevo  $O^i_1$  es reductible al anterior cuando la construcción teórica es aplicada al  $D^i_1$ , puesto que solamente en dicho caso podemos continuar hablando del  $O^i_1$ ).
- (d) El pasaje de una teoría  $T^i$  a otra  $T^j$  es tal que: (i) los  $O^i_1$  de  $T^i$  (o por lo menos alguno de ellos) son considerados como  $O^j_0$  con respecto a  $T^j$ ; (ii)  $T^j$  es aplicable a todos los  $D^i$ , incluyendo tam-

bién otros dominios (es decir:  $D^i C D^j$ ). Resulta de aquí que el proceso de abstracción que conduce a los  $O_1^i$  (abstracción de nivel  $A_1$  con respecto a  $T^i$ ) es considerado ahora como un  $A_0$  con respecto a la nueva teoría.

- (e) La  $A_0$  de una teoría son *abstracciones de tipo empírico* con respecto a los  $O_0^i$  que han servido para caracterizar los  $F_0$  de esta teoría. Las  $A_1$  son *abstracciones reflexivas*. El producto (resultado) de una abstracción reflexiva con respecto a una teoría se vuelve la *base observable* (el punto de partida observable) de una abstracción empírica con respecto a la teoría de orden superior.

La conceptualización física no se limita a la comprensión de relaciones y propiedades como instrumentos y con instrumentos, abarca también la transformación de esos instrumentos en objetos de pensamiento. La teoría aporta un marco que permite llegar más allá que la mera observación. El experimento no se agota en la observación sino que precisamente la trasciende. Una combinación fértil resulta de una dosis de observación y análisis acompañado de un buen diseño. Por ejemplo, una experiencia sencilla con materiales de bajo costo como es hacer girar en un tubo una tuerca unida con un hilo a otras tuercas que lo atraviesan permite trabajar conceptos básicos que suelen no estar consolidados tales como frecuencia, velocidad lineal, velocidad angular, periodo para que la novedad pueda colaborar con los alumnos a que puedan hacer las preguntas que logren responder su curiosidad.

Si bien este proceso se encuentra atravesado por el aporte teórico de disciplinas afines a la educación tales como la Psicología y la Sociología, entre otras; los criterios fundamentales son orientados por las lógicas disciplinares, tal y como lo propone la Teoría de los Campos Conceptuales. La adhesión a esta teoría se basa en este principio básico, que el autor señala como uno de los pilares inexcusables. En tanto la vertiente cognitiva piagetiana contribuye con la noción fundante de ‘esquema’, ahora ampliada y con una nueva dirección – siempre dentro de una concepción pragmática –, donde los invariantes operatorios se constituyen en poderosas herramientas de análisis que, al igual que una sonda, proveen información factible de ser analizada, e inferir posibles procesos de aprendizaje a través de ella.

La intervención de la acción del individuo – no es en sí ni favorable ni perjudicial desde el punto de vista del conocimiento – puede falsear los hechos, cosa que hace generalmente al principio en una medida bastante amplia, pero puede restablecerlos en sus relaciones e incorporar la acción en estas mismas relaciones, lo que lo lleva a la objetividad.

## VI. A MODO DE CIERRE

No haber enfrentado genuinamente situaciones diversas que permitan interpelar oportunamente a la naturaleza; o bien, a la tecnología; ha impedido y/o impide fortalecer los esquemas más débiles que se poseen.

Los individuos siempre van a presentar concepciones y deben considerarse como precedentes de los conceptos a adquirir. “*La activación de esos precedentes es una etapa preliminar hacia los procesos de generalización, la cual debe ser guiada*” (Barais y Vergnaud, 1990).

Los procedimientos que acompañan al trabajo experimental en relación con la problematización son los que luego se constituyen en unidades de acción, con posibilidades de configurarse como microestructuras, factibles de ser empleadas ante una multiplicidad de desafíos.

A la experimentación se la puede considerar una actividad cognitiva compleja. Decíamos de la importancia en las edades más tempranas de la experimentación física y colocamos el proceso de medición en el centro como factor desequilibrante para la comprensión de una temática nueva o parcialmente nueva.

Por tanto, se trabaja y se aspira a seguir trabajando, no solo con el objetivo de indagar acerca de los procesos que siguen los estudiantes para resolver problemas experimentales, sino también para proponer caminos alternativos que ofrezcan la posibilidad de generar articulaciones con la diversidad de pensamientos, propia de jóvenes insertos en una sociedad heterogénea y demandante desde varios puntos de vista.

## REFERENCIAS

Andrés Zuñeda, 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), 129-142.

Bachelard, G. (2001). *La Filosofía del no*. Buenos Aires: Amorrortu.

Barais, A.W. & Vergnaud, G. (1990). Student´ conceptions in physics and mathematics: biases and help. En Caverni, J. P., Fabre, J.M. & Gonzáles, M. (Eds.) *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers, 69-84.

Escudero, C.

De la Torre, A. (2000). *Física Cuántica para Filo-Sofos*. México: Fondo de Cultura Económica.

Dorrío B.V., Vijande J., Piñeiro M.M., Blanco J., Soto R. (2013). Mini-proyectos de Física en los Grados de Ingeniería. En Membiela P., Casado N., Cebreiros M. I. (Eds.) *Retos y perspectivas en la enseñanza de las ciencias*. Ourense: Educación Editora, 181-185.

Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En Alcântara Machado, S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução* (155-195).

Escudero, C., González, S. y Jaime, E. (2016). El papel de las situaciones problemáticas en el desarrollo de capacidades. *IV Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería: ECEFI 2016.U.T.N.* Facultad Regional Mendoza.

García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. España: Gedisa.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3).

Jaime, E. y Escudero, C. (2008). *Experimentos en física básica y su conceptualización con NTICs*. En IDI 2008. *Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería*, Mendoza (Argentina), 207-214. ISBN: 978-967-22880-4-4.

Jaime, E. y Escudero, C. (2011). El trabajo experimental en enseñanza de la física como generador de conocimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 371-380.

Kwon, O. (2002). The effect of calculator-based ranger activities on students' graphing ability. *School Science and Mathematics*, 102(2), 57-67.

Piaget, J. (1987). *Introducción a la epistemología genética. 2. El pensamiento físico*. México: Paidós.

Piaget, J y García, R. (1996, 1ª ed. 1982). *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. México: Siglo XXI ed.

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), 10-17.

Salinas, J. (1996). Tesis doctoral. Las prácticas de Física básica en Laboratorios Universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*, Volumen Extraordinario.

Sassi, E., Monroy, G. & Testa, I. (2005). Teacher training about real-time approaches: Research-based guidelines and training materials. *Science Education*, 89(1), 28-37.

Séré, M. G. (2002). Towards renewed research Questions from the Outcomes of the European Project Lab work in Science Education. *Science Education*, 86(1), 624-644.

Testa, I., Monroy, G. & Sassi, E. (2002). Students' reading images in kinematics: the case of real-time graphs. *International Journal of Science Education*, 24(3), 235-256.

Vergnaud, G. (1994). Multiplicative Conceptual Field: what and why. In Harel, Gershon, and Jere Confrey, (eds.). *The Development of Multiplicative Reasoning in the Learning of Mathematics*. Albany, NY: State University of New York at Albany Press.