

LA CULTURA CIENTÍFICA Y LA DESFACTUALIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

THE SCIENTIFIC CULTURE AND THE DEFACTUALISATION OF PHYSICS TEACHING

F. A. HORTA RANGEL^{a,†} Y A. GONZÁLEZ ARIAS^{a,b,†}

a) Dpto. Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Guanajuato; Lascrain de Retana 5, CP 36000, México. anthort@hotmail.com[‡]

b) Facultad de Física, Universidad de la Habana. CP 10400, La Habana, Cuba. arnaldo@fisica.uh.cu[‡]

[†] autor para la correspondencia.

(Recibido 4/6/2012; Aceptado 2/8/2012)

Existe una diferencia esencial entre las ciencias formales y las factuales, por lo que los métodos de investigación de las primeras no son siempre aplicables a las segundas. Los enunciados formales consisten en relaciones entre signos; los de las ciencias factuales se refieren a eventos o procesos reales. De aquí que mientras a las ciencias formales les basta la lógica para demostrar sus proposiciones con rigor, las factuales necesitan además de la observación y el experimento. Junto a las ciencias coexisten las pseudociencias; todo campo de conocimiento que no es científico, pero se publicita como tal, es pseudocientífico. Una parte importante de la cultura científica y su divulgación es la de hacer énfasis en las diferencias entre ciencias y pseudociencias. La aplicación indiscriminada a las ciencias factuales de los métodos formales puede conducir a la pseudociencia. Aquí se presentan algunos ejemplos de cómo se puede afectar notablemente la enseñanza de la física en los niveles básicos –e incluso en algunas especialidades universitarias– al dar prioridad a lo formal en perjuicio de lo factual. También se analizan algunas proposiciones pedagógicas que no cumplen de forma adecuada los requerimientos esenciales de las ciencias factuales.

There is an essential difference between formal and factual sciences; as a result, research methods from the first ones do not always apply to the second ones. Formal proposals consist in relations between signs; those of factual sciences are referred to real processes or events. Hence, while in formal sciences the logic is enough to prove their propositions with all strictness; factual sciences need in addition observation and experiment. Together with sciences, pseudosciences coexist; any field of knowledge not being scientific, but proclaiming itself as so, is pseudoscientific. An important part of the scientific culture and its spreading is to emphasize the differences between sciences and pseudosciences. The misinterpretation of formal methods when applied to factual sciences may easily lead to pseudoscience. Here we present some examples of how physics teaching can be notably affected in the basic levels –and even in some university careers–, when giving priority to the formal features in detriment of the factual ones. In addition, we analyze some pedagogic proposals which do not suitably fulfill basic scientific requirements.

PACS: Teaching methods and strategies, 01.40.gb; Education, 01.40.-d; Computer use in laboratory, 01.50.Lc

LA CULTURA CIENTÍFICA

El tema de la cultura científica ha sido de interés creciente en los últimos años. La divulgación científica –y por ende, la promoción de la cultura científica– persigue fomentar un mayor conocimiento de nosotros mismos y del mundo que nos rodea, con el fin de:

- Crear mejores condiciones de vida en lo individual,
- Promover la toma de conciencia y la participación ciudadana en los problemas que afectan a la comunidad y a la sociedad,
- Facilitar la toma de decisiones de todo tipo, a cualquier nivel, sobre la base de criterios sólidos, e
- Instruir a todos en cómo diferenciar la ciencia de las pseudociencias y pseudotecnologías, con el fin de evitar posibles daños a la economía y a las personas.

Una mayor cultura científica también requiere de un mayor conocimiento de los profesionales sobre el lugar que ocupa cada ciencia particular en el panorama científico universal, así como su interrelación con las restantes ciencias. Éstos y otros aspectos generales de la cultura científica han sido analizados previamente en otro lugar [1].

En lo que sigue se aplican algunos de los criterios allí expuestos al tema de la enseñanza de la física, cuestión muy controvertida en la actualidad, tanto en los llamados ‘países desarrollados’ como en los que se encuentran en vías de desarrollo. Con este fin se presentan ejemplos de cómo se puede afectar negativamente la enseñanza de la física en los niveles básicos –e incluso en algunas especialidades universitarias– al dar prioridad a lo formal en perjuicio de lo factual. También se analizan algunas proposiciones pedagógicas que no cumplen de forma adecuada los requerimientos esenciales de las ciencias factuales.

La física es una ciencia factual. A diferencia de las ciencias formales como las matemáticas y la lógica, se basa en hechos. Los postulados de las ciencias formales son racionales y verificables, pero no son objetivos; por sí solas estas ciencias no son capaces de proporcionar información sobre la realidad, aunque es usual que construyan sus propios objetos de estudio haciendo abstracción de los objetos reales, tanto naturales como sociales. No obstante, su 'materia prima' fundamental no es lo material, sino lo ideal. Tenemos así una primera gran división de las ciencias: formales (basadas en ideas) y factuales (basadas en objetos materiales) que, pese a ser diferentes, persiguen un objetivo común: encontrar las leyes que rigen los sucesos estudiados, tengan o no representación material.

Cualquier ciencia se dedica a buscar las relaciones forzosas de causa y efecto entre diferentes acontecimientos; esa es su misión principal. Develar las leyes que rigen la interacción entre sucesos ideales o materiales es justamente lo que permite encontrar relaciones adicionales entre ellos –o con otros sucesos– aún no descubiertas. También posibilita el hacer predicciones válidas para el comportamiento futuro, posiblemente la característica más importante del conocimiento científico: si tal cosa sucede, invariablemente tal otra tendrá (o no tendrá) lugar.

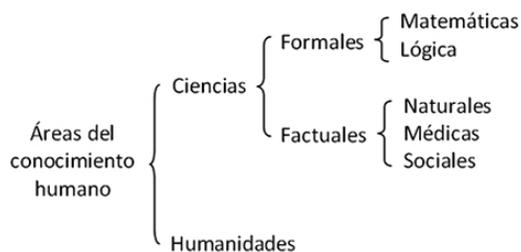


Figura 1. Áreas del conocimiento humano

Los enunciados formales consisten en relaciones entre signos, los de las ciencias factuales se refieren a sucesos y procesos. De aquí que mientras a las ciencias formales les basta la lógica para demostrar sus teoremas con toda rigurosidad, las factuales necesitan adicionalmente de la observación y el experimento para confirmar sus conjeturas [2]. A su vez, las ciencias factuales se dividen en naturales, sociales y médicas, según se refieran a eventos donde intervienen o no las personas o la salud de éstas. Las humanidades no son ciencias; se dedican a recopilar información sin pretender encontrar leyes o relaciones de causa-efecto entre los eventos, sucesos o procesos que estudian (figura 1).

Junto a las ciencias coexisten las pseudociencias. Todo campo de conocimiento que no es científico, pero se publicita como tal, es pseudocientífico. Una parte importante de la cultura científica y su divulgación es la de hacer énfasis en el método científico y en las características principales que diferencian a las ciencias de las pseudociencias [3,4,5]. Un breve resumen del método científico se puede consultar en [1].

De las asignaturas de física que se imparten en cualquier carrera de ciencias o ingeniería, la mecánica es sin duda la más importante [6]. En ella se introducen conceptos básicos que serán utilizados en otras asignaturas como la termodinámica o el electromagnetismo, amén de materias específicas de otras especialidades como la química, la biología y todas las ingenierías. Ejemplos sobran: los conceptos de velocidad o energía son muy afines a la química, la cinética y los enlaces químicos; la biología moderna requiere la medición precisa de diversas magnitudes que se introducen por primera vez en la física.

Es en los cursos de Mecánica donde se introducen las magnitudes fundamentales y los conceptos de medición e incertidumbre, que serán aplicados posteriormente en todas las carreras técnicas y de ciencias naturales, y también en las ciencias médicas.

La experiencia personal de los autores al impartir diversos programas de física general en diferentes carreras de ciencias e ingeniería, junto al intercambio o colaboración con profesores de otros niveles de educación, les ha posibilitado constatar lo siguiente. El desarrollo de la informática ha llevado a algunos a pensar que es posible sustituir el experimento y las mediciones con programas informáticos que los representen, obviando la realidad de que regular o ajustar un instrumento para hacer una medición y determinar su incertidumbre no tiene nada que ver con apretar una tecla en un ordenador. El sentido del tacto, el uso de las manos, la interacción de los músculos y la visión tridimensional del instrumental proporcionan una vía de aprendizaje muy disímil al de la simple visión. El mensaje llega al cerebro de forma muy diferente y las experiencias acumuladas también lo serán; no hace falta ser psicólogo para comprenderlo. La idea no es negar la utilidad de la informática como apoyo en el aprendizaje; es que resulta muy claro que apretar teclas y mirar dibujos o animaciones no puede sustituir a la experiencia que se obtiene del proceso de ensayo y error asociado al experimento y a la manipulación de los instrumentos y objetos reales. Son dos procedimientos totalmente diferentes, que sirven para entrenar habilidades también diferentes.

Otras veces se hace énfasis en las deducciones lógicas propias de las ciencias formales, prestando muy poca o ninguna atención al experimento y los aspectos factuales. Además de soslayarse por completo el carácter primordial de las mediciones, no se hace distinción entre mediciones directas e indirectas, no se menciona el criterio operacional para la definición de las magnitudes físicas fundamentales, o se altera el orden lógico que comienza en las mediciones intuitivas más simples y directas hacia las más complejas e indirectas. Tal proceder dificulta enormemente la asimilación de los cursos por parte del estudiante, pues se le transmite una visión deformada de la realidad y de la ciencia, que sólo será corregida posteriormente en aquellos estudiantes que logren pasar a la universidad a

estudiar alguna ciencia natural –y no siempre–.

El simple hecho de medir una longitud con una regla y el tiempo con un reloj proporciona al estudiante promedio una gran cantidad de nuevas ideas, interpretaciones e inquietudes legítimas traducidas en preguntas –a veces muy simples y aparentemente tontas para algunos– como cualquier profesor con experiencia ha podido comprobar alguna vez.

Existen cursos de Mecánica para ingenieros cuyo programa, con un enfoque eminentemente matemático, omite por completo el fundamento experimental y el proceso de inducción que acompaña a la leyes físicas (e incluso a veces el enunciado correcto de las propias leyes). Tales cursos hacen énfasis en la resolución de problemas, reduciendo las leyes a su mera expresión matemática, con muy poca o ninguna justificación del origen de su existencia y una muy pobre interpretación de lo que representan como descripción de la realidad. A esto se suma que el trabajo de laboratorio es prácticamente inexistente.

Al carecer de fundamento teórico y experimental, el curso de física básica se transforma en un curso de memorización de fórmulas y ejercicios matemáticos que en nada representan lo que en realidad se debería perseguir con esta disciplina. (Aunque después aparezca en el currículo que el estudiante aprobó un curso de física básica de tantas horas y el propio estudiante piense que ha aprendido Física y que está capacitado para opinar sobre ella).

MEDICIONES DIRECTAS E INDIRECTAS

Como su nombre lo indica, en una *medición directa* el valor de la magnitud se obtiene directamente mediante algún instrumento (i.e., una longitud con una regla, el tiempo con un reloj o la temperatura con un termómetro). La *medición indirecta* proporciona valores a partir de alguna expresión analítica como, por ejemplo, la energía cinética $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, cuyo valor se puede obtener sólo a partir de la medición directa de la masa (por ej., con una balanza) y la indirecta de la velocidad (longitud/tiempo), o a través de una igualdad con alguna otra expresión analítica.

Es por esto que los cursos tradicionales de mecánica comienzan por introducir los conceptos de longitud, tiempo, masa o fuerza (medida con un dinamómetro) y la determinación de esas magnitudes a partir de algún experimento sencillo, para que el estudiante aprenda primeramente el uso de los correspondientes instrumentos y el significado de la incertidumbre de la medición. Se establece así, de una manera lógica, el vínculo indispensable entre la teoría y la práctica, comenzando por lo más simple hasta llegar a lo más complejo.

Sin embargo, también es posible encontrar cursos de Física desligados totalmente del enfoque factual, en ocasiones motivados por el deseo de que los estudiantes aprendan física en un período de tiempo demasiado breve. Se toman en cuenta muchos criterios supuestamente ‘pedagógicos’, pero la variable

tiempo se soslaya, o simplemente se considera el tiempo que el profesor necesita para impartir un tema (bien, regular o mal) y no el que tarda el estudiante en asimilarlo.

Es obvio que los estudiantes no podrán aprender física si no se le dedica el tiempo suficiente a esas asignaturas. Si la escasez de tiempo va unida a la desfactualización, el resultado es sin dudas previsible y aciago. Puede que ésta sea una de las causas principales del rechazo que muestran muchos estudiantes a las asignaturas de física en la enseñanza media y universitaria, a pesar de sentir atracción por otras ciencias.

Otras veces se propone comenzar el estudio de la Mecánica por el concepto de energía, o la Termodinámica por el aún más complejo concepto de entropía, lo que aparte de los deseos del autor de presentar un enfoque didáctico “novedoso” –o quizás presionado por el escaso tiempo de que dispone– no parece aportar ventaja alguna para el estudiante, sino mas bien dificultades adicionales [7,8,9].

Energía	Expresión Analítica	Magnitudes a medir (directa o indirectamente)
Cinética	$\frac{1}{2}mv^2$	Masa (m) Velocidad (v)
Potencial gravitacional	$G \frac{m_1 m_2}{r}$	Masa (m) Longitud (r)
Potencial electrostática	$k \frac{q_1 q_2}{r}$	Carga (q) Longitud (r)
Del campo eléctrico (por u. de volumen)	$\frac{1}{2} \epsilon E^2$	Permitividad (ϵ) Intensidad de campo (E)
Del campo magnético (por u. de volumen)	$\frac{1}{2} \mu H^2$	Permeabilidad (μ) Intensidad de campo (H)
Energía en reposo (E_0)	mc^2	Masa (m), Velocidad de la luz (c)
Niveles energéticos (ΔE) a partir de la energía del fotón	$h\nu$	Frecuencia (ν)

EL ENFOQUE ENERGÉTICO DE LA MECÁNICA

La energía no es algo que se pueda definir en pocas palabras y es común que el concepto aparezca indefinido en muchos textos de física, o definido de forma deficiente. Unas veces se confunde el significado popular con el significado más preciso de la física. En otras no se hace distinción entre un nombre como ‘energía solar’ –que sólo posee valor nominal, sin valores numéricos ni expresión analítica asociada– y una energía física real asociada a una expresión analítica. Y otras más se echa mano a la filosofía –que la mayoría de los propios filósofos no consideran una ciencia– para tratar de definir algo que, por ser una magnitud, debe ser necesariamente expresado en números.

De aquí que, para definir correctamente la energía, tanto el concepto popular como el nominal o el filosófico resultan

valores numéricos a esos cambios, –o a ese ‘algo’ misterioso– olvidando por completo que las magnitudes físicas, por el solo hecho de ser magnitudes, son cuantitativas y mesurables.

Y a veces en ese mismo contexto se define la fuerza como una medida de la interacción, capaz de ejercer transformaciones, o empleando palabras semejantes. Como para que existan cambios tiene que haber algún tipo de interacción y transformación, ambas definiciones son demasiado parecidas (prácticamente idénticas, a nuestro modo de ver) haciendo imposible que el estudiante pueda diferenciar claramente el concepto fuerza del concepto energía. En la mencionada ref. [10] aparece una discusión bastante exhaustiva sobre este tema.

La definición de fuerza es menos problemática, pues las fuerzas se miden de forma *directa* con un dinamómetro, y de llevarse a cabo alguna demostración en el aula, el concepto quedará claro. Pero no ocurre así con la energía; como se reflejó en la Tabla I, no existen instrumentos para medir la energía en forma directa, su medición es siempre *indirecta*, a través de otras magnitudes.

Caída de los cuerpos. En ocasiones hemos escuchado en el aula expresiones como esta: “Si despreciamos la fricción del aire, todos los cuerpos caen hacia la Tierra con la misma aceleración de 9.8 m/s^2 ”. Este enunciado se emplea como justificación para introducir de inmediato las ecuaciones que describen el movimiento de caída libre, sin añadir detalles adicionales. Más adelante se hace énfasis en la resolución de esas ecuaciones, e inmediatamente se pasa a resolver ejemplos y ejercicios concretos, donde lo usual es hacer énfasis en los aspectos matemáticos del problema.

Las características físicas que influyen en el valor de g , mostradas en la figura 2, no se mencionan nunca más. Es decir:

- No se esclarece que el valor tomado $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ es sólo una aproximación promedio, válida para cuerpos que se encuentran cerca de la superficie de la tierra, y que ese valor se reduce con la altura.
- Tampoco se entra en detalles de que, a causa de la rotación del planeta, g es máxima en los polos y disminuye cuando nos acercamos al ecuador, ni se menciona su intervalo de variación.
- Algo similar sucede con la influencia de las condiciones locales, que pueden causar diferencias mesurables (por ej., cuando hay presentes grandes depósitos de minerales pesados). Y muchas veces se omite la mención de un caso muy cercano a la realidad cotidiana: si el cuerpo cae desde suficiente altura, la fricción del aire hará que la caída se vaya retardando hasta anular la aceleración. A partir de ese momento el cuerpo seguirá cayendo con velocidad constante, con un valor que depende de su masa y forma particular.

La situación es aún más grave en los cursos donde no se

incluyen ejercicios de laboratorio que indiquen cómo medir g experimentalmente, aunque sea por un método muy aproximado. Y, como era de esperar, al obviarse el aspecto factual del asunto, el aspecto formal deductivo pasa a primer plano.

En realidad, siempre que sea razonablemente posible, la presentación de cualquier suceso o evento en física debiera cumplir tres pasos esenciales: experimento \rightarrow explicación \rightarrow confirmación. Es decir, se debe: (1) Presentar el fenómeno tal como ocurre en la naturaleza aunque sea mediante gráficos o en la pizarra (experimento u observación); (2) Proporcionar una explicación diga por qué esto es así (teoría) y; (3) Mostrar algún resultado derivado de la teoría que verifique la justeza de la explicación que se da al fenómeno (confirmación).



Figura 2. Factores que afectan el valor de g .

Las leyes de Newton. Mucho se ha escrito sobre las leyes de Newton. Sin embargo, se obvia el carácter factual de las leyes cuando la 2^{da} Ley se presenta a partir de la ecuación $\vec{F} = m\vec{a}$ sin insistir en forma adecuada cómo se miden las fuerzas, o sin justificar que F es la resultante vectorial de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, resultado obtenido de forma empírica. También las leyes de Newton se mecanizan cuando no se enfatiza en cómo emplear la 3^{ra} Ley para diferenciar las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo de las que él ejerce sobre otros cuerpos al introducir el diagrama de fuerzas. Si faltan estos conocimientos, será imposible que el estudiante aprenda a interpretar esta ley correctamente. En todo caso, lo hará mecánicamente.

Otro aspecto que también se obvia a menudo es no insistir en que las leyes de Newton son válidas para partículas o puntos materiales, donde toda la masa del cuerpo se concentra en un punto (específicamente, en su centro de masa, aspecto que deberá ampliarse después al impartir los sistemas de partículas). Esto puede llevar al estudiante a tratar de aplicar sus conocimientos a situaciones donde no se pueden aplicar.

También es frecuente que se omita la discusión en detalle del origen físico de las determinadas fuerzas; quién o quiénes las ejercen, cuál es su causa, sus propiedades principales, etc., discusión que debería ser exhaustiva, porque justamente ahí está lo factual de la física. Y no es muy raro encontrar que ni siquiera se mencione cómo se miden las fuerzas, la masa o la aceleración, o la equivalencia entre masa inercial y gravitatoria, situación bastante común en cursos de enseñanza media o de física para no físicos donde el trabajo de laboratorio es mínimo, o no existe (figura 3).

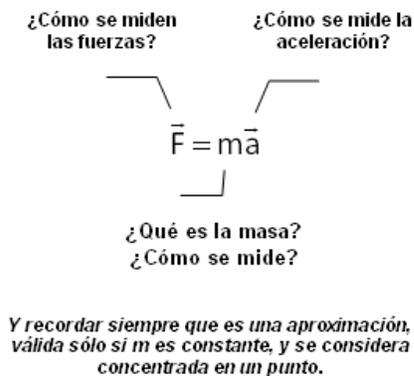


Figura 3. Aspectos factuales importantes a resaltar en los cursos básicos al impartir la 2^{da} ley de Newton.

Motivado por las preguntas usuales en los exámenes de física, donde es muy común que prime el aspecto de la deducción matemática y sean escasas las preguntas conceptuales, el estudiante memoriza la expresión analítica, –que de seguro le hará falta para resolver los problemas– sin atender bien a su significado. Si a esto se suma una pobre presentación previa en la clase de los aspectos físicos como los descritos con anterioridad, el resultado es muy previsible. Aunque el estudiante logre aprobar, su conocimiento de la física y de la realidad que lo rodea será muy deficiente, lo que sin dudas se reflejará en su formación general y en los cursos posteriores para los que la Física resulta básica.

Los autores han sido testigos repetidas veces, al evaluar los contenidos de diversos cursos de física, del desconocimiento de los aspectos factuales básicos por muchos estudiantes. También es común que en las evaluaciones se haga más énfasis en el aspecto matemático formal del problema (despeje de fórmulas, resolución de ecuaciones) que en su correcto planteamiento a partir de las leyes físicas.

En el caso específico de la Mecánica, los pasos lógicos a seguir para identificar y plantear correctamente un problema (no el cómo resolverlo) han sido descritos en otro lugar [13].

Sistemas de partículas. En la Mecánica existen currículos donde se pretende establecer la ley de conservación de la cantidad de movimiento sin introducir previamente el tema de los sistemas de partículas. Se extrapola la mecánica de la partícula a la de los sistemas sin previo aviso y sin introducir previamente el concepto de centro de masa o mencionar los correspondientes experimentos, lo que obviamente será fuente de desconcierto para el estudiante.

Es cierto que ecuaciones tales como la 2^{da} ley de Newton o el teorema del trabajo y la energía son isomorfas para la partícula y para el sistema de partículas; sin embargo, el significado difiere grandemente, pues ahora las leyes se cumplen para el centro de masa del sistema, aunque las partículas estén disgregadas. También es necesario diferenciar entre fuerzas externas e internas al sistema (conservación de la cantidad

de movimiento). Intentar extrapolar las ecuaciones de la mecánica de la partícula a los sistemas de partículas sin esclarecer previamente las diferencias de significado conduce de inmediato a la introducción de falsos conceptos y a la confusión del estudiante.

CARÁCTER ILUSORIO DE ALGUNAS PROPOSICIONES PEDAGÓGICAS

Mientras que las ciencias formales son deductivas, las factuales son esencialmente empíricas. Sin embargo, en el complejo mundo de la educación, no pocas veces se observa confusión entre uno y otro concepto y sus correspondientes métodos de estudio. A menudo se pretende sustituir la enseñanza de las ciencias en los niveles básicos con métodos deductivos propios de las ciencias formales, o incluso con conceptos filosóficos que ni siquiera pertenecen al ámbito de las ciencias, sino de las humanidades. A continuación algunos ejemplos.

Quizás la muestra más notoria e ilustrativa de lo expresado con anterioridad sea el texto de C. Álvarez “*La Escuela en la vida: didáctica*” donde se introducen unas supuestas ‘leyes pedagógicas’, aparentemente ‘descubiertas’ por el autor. Allí se les otorga categoría de leyes a los siguientes enunciados (hay otros parecidos, con ligeras variantes):

- Ley 1. Relación del proceso docente educativo con el contexto social. La escuela en la vida.
- Ley 2. Relación interna entre los componentes del proceso docente educativo. La educación a través de la instrucción.

Un breve análisis muestra de inmediato que no hay verbos en ambas expresiones; por tanto, ninguna de las dos puede indicar acción ni representar una relación de causa-efecto como exige cualquier ley; i.e.; *si tal cosa sucede, tal otra debe (o no debe) suceder*. Es obvio que tales ‘leyes’ no permiten predecir nada, como ocurre con las verdaderas leyes de cualquier ciencia. (Ejemplos: ley de Gresham: el dinero malo *expulsa* al bueno de la circulación. Leyes de Newton: La fuerza *ejercida*...). Sin embargo, en más de una ocasión tales ‘leyes pedagógicas’ han sido aceptadas sin reparo y promocionadas por otros de forma acrítica [14,15,16].

Otras veces se abusa de la semántica, y se altera a conveniencia el significado de los términos científicos. Entre los trabajos citados en uno de los artículos anteriores aparece el titulado “*Aproximación a la teoría pedagógica cubana*” de J. Chávez, donde el término ‘teoría’ aparece tergiversado [17]. La ciencia y sus teorías no son exclusivas de cada país. Una teoría debe abarcar los casos particulares, pero un resultado regional particular – que pudiera ser o no cierto– no constituye una teoría, aunque se base en la evidencia práctica. Para llegar a ser teoría debe ser capaz de mostrar resultados válidos universalmente [1]. Si no fuera así existiría una teoría pedagógica china, otra hindú, otra rusa, otra mejicana, etc., ninguna de ellas científica. Incluso se podría pensar en teorías pedagógicas regionales o municipales. Absurdo.

Una ilusión bastante extendida es tratar de hacer ciencia pedagógica sin números. Las leyes de las ciencias factuales son cualitativas y cuantitativas. Cuando se desea comprobar si cualquier proceso es mejor que otro, son imprescindibles las mediciones (instrumentales o estadísticas). Aún peor es considerar hacer ciencia sin interacción con el sujeto objeto de estudio (los estudiantes, en este caso), sino sólo revisando los resultados de otros, llevados a cabo en otro contexto y la mayoría de las veces sin resultados numéricos. Es bien conocido que los resultados de un determinado proceso docente dependen, en primer grado, de los conocimientos previos del estudiante. Por tanto, resulta bastante obvio que carece de fundamento intentar comparar la efectividad de medios o sistemas de enseñanza si se aplican a estudiantes con diversa preparación previa. Lo que puede ser muy adecuado para un sueco no tiene por qué serlo para un angolano, pues su historial será sin dudas diferente.

Pero note que comparar es sinónimo de medir. Para comparar con precisión hacen falta números. Luego, pretender investigar sin interactuar directamente con los estudiantes y, además, sin emplear estadísticas, no es más que la suma de dos absurdos que nunca podrá conducir a resultados accesibles al escrutinio y la verificación. Al no ser comprobables y verificables mediante el método científico, y por tanto imposibles de refutar, tales propuestas caerían de lleno en el ámbito de la pseudociencia. La imposibilidad de refutar afirmaciones supuestamente científicas es una de las características definitorias –aunque no la única– de las proposiciones pseudocientíficas [18,19]; (ver también ref. [1], p. 7).

La necesidad de hacer énfasis en los experimentos y aspectos factuales también puede conducir al absurdo, si es llevada al extremo. Ese es el caso de algunos sistemas de enseñanza que proponen que el estudiante ‘descubra’ por sí mismo, mediante ensayos y errores, el por qué del comportamiento de diversos eventos o procesos. Como si un adolescente escaso de conocimientos y experiencia, con información muy limitada y empleando un breve lapso de tiempo, pudiera llegar con facilidad a las mismas conclusiones que las mentes más preclaras de su época tardaron muchos años en alcanzar –la mayoría de las veces tras un intenso proceso de intercambios, discusiones y experimentos fallidos–.

CONCLUSIONES

No se debe confundir el enfoque lógico-formal de las Matemáticas con el factual-empírico de la Física y otras ciencias factuales. Las Matemáticas son deductivas y no necesitan de la interacción con la realidad, mientras que las ciencias factuales se dedican a describir las leyes que rigen diversos sucesos o procesos; son ciencias empíricas.

Las magnitudes que se miden directamente debieran estar siempre al inicio de los cursos junto a los correspondientes ejercicios de laboratorio que permiten medirlas. Es de esperar que comenciar un curso de mecánica por el concepto energía, sin presentar y explicar previamente los parámetros necesarios

para lograr medirla y asociarla a la realidad, resultará muy confuso y contraproducente para el aprendizaje.

Por razones análogas, algo similar sucede con la proposición de comenzar un curso de Termodinámica a partir del concepto de entropía –magnitud que se mide indirectamente a partir de otras que también se miden indirectamente– sin introducir previamente los conceptos de temperatura, calor y capacidad calórica, así como su determinación experimental.

Siempre que sea razonablemente posible, la presentación al estudiante de cualquier suceso o evento en Física debería cumplir tres pasos esenciales, 1. Experimento, 2. Explicación (Teoría) y 3. Confirmación.

En los sistemas educativos basados en ensayo y error, resulta bastante absurdo suponer que un adolescente escaso de conocimientos, inexperto y con información muy limitada pueda esclarecer con facilidad lo que las mentes más preclaras de su época tardaron muchos años en alcanzar.

Carece de fundamento tratar de comparar el efecto de diferentes sistemas de enseñanza en estudiantes con diversa preparación previa, más aún cuando no se usan valoraciones cuantitativas en la comparación. Tal proceder conduce a la pseudociencia, al proponer resultados que no pueden ser verificados, contrastados y refutados.

[1] A. González Arias y F. A. Horta Rangel, *Elementos* (Puebla) **87**, 3 (2012).

[2] M. Bunge, *La ciencia, su método y su filosofía*. <http://www.philosophia.cl/Escuela de Filosofía Universidad ARCIS>. Consulta 07/04/2012.

[3] A. González Arias, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **6**, 394 (2012).

[4] A. González Arias, en *VI Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria* (La Habana, 2012).

[5] A. González Arias, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **5**, 618 (2011).

[6] L. M. Lederman, *Rev. Cub. Fis.* **20**, 99 (2003).

[7] A. M. E. Figueroa de Lewin y T. Monmany de Lomáscolo, en *VIII Conferencia Interamericana Sobre Educación en Física* (La Habana, 2003).

[8] L. Ortigoza, J. Llovera González y H. Odetti, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **5**, 839 (2011).

[9] F. Herrmann, *Rev. Cub. Fis.* **27**, 113 (2010).

[10] A. González Arias, *Latin Am. J. Physics. Educ.* **2**, 275 (2008).

[11] A. González Arias, *Rev. Iberoam. Educ.* **37**, 1 (2005).

[12] D. P. Ausubel, Y. Novak y H. Hanesian. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*, (Editorial Trillas, México, 1963).

- [13] A. González Arias, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **3**, 403 (2009).
- [14] C. Álvarez de Zayas. *La Escuela en la vida: didáctica*, 3ra Ed. (Pueblo y Educación, La Habana, 1999).
- [15] A. García, I. Peñate y O. Paz, (http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.DescargaArticuloIU.descarga&tipo=PDF&articulo_id=8150).
- [16] A. L. Ruiz Ocaña, (<http://www.monografias.com/trabajos26/leyes-pedagogicas/leyes-pedagogicas.shtml>)
- [17] J. Chávez, en *Evento internacional de Pedagogía* (La Habana, 2003).
- [18] M. Bunge, *Las pseudociencias, ¡vaya timo!*, 1ra. Ed. (Editorial Laetoli, Pamplona, 2010), p. 130-132.
- [19] K. Popper, *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*, (Basic Books, New York, 1962).