

De transmisión de conocimientos a desarrollar habilidades de pensamiento. Segunda Parte: Segunda Ley de Newton

From knowledge transmission to develop thinking abilities. Second Part: Newton' Second Law

Recibido: 15/09/2020 | Aceptado: 03/11/2020 | Publicado: 19/12/2020

Dr. C. Fernando González Pérez ^{1*}

^{1*} Profesor Titular (Jubilado) Instec. fernangp6@gmail.com

Resumen:

El objetivo del presente trabajo es brindar a los profesores de Física en ejercicio, algunos ejemplos de cómo puede tomarse la enseñanza de la Física como una vía para desarrollar las habilidades de pensamiento. Esto es tan importante o aún más importante que aprender Física, téngase en cuenta que hay un numeroso grupo de alumnos que la estudian y sólo un grupo muy reducido de ellos que la aplican en su trabajo, sin embargo todos requieren que la escuela contribuya, y cada día más, al desarrollo de las habilidades de pensamiento. Se establece como método para estimular este desarrollo, la formulación de preguntas que hagan valorar las inferencias que se extraen de los experimentos y que se pueden utilizar para inducir de ellos, la Segunda Ley de Newton. El resultado que se obtiene es un conjunto de preguntas y de valoraciones que corresponden con el objetivo del presente trabajo, con la sugerencia de que se introduzcan en el curso, no necesariamente en las clases; pueden utilizarse medios alternativos para presentar estos contenidos. En este trabajo, además de los fundamentos teóricos presentados aquí y en la primera parte de esta serie de tres artículos, se tienen en cuenta la experiencia del autor en más de 40 años como profesor de Física General y de algunos como entrenador de alumnos para las Olimpiadas Internacionales de Física. En la bibliografía aparecen artículos del autor que constituyen raíces de las ideas presentadas en el actual.

Palabras clave: Habilidades de pensamiento, experimento mental, masa, fuerza, inconsistencia lógica, validez externa.

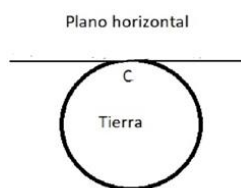
Abstract:

The aim of this paper is offer to acting Physics' professors; some examples of how the Physics' Teaching may be used with the scope of develop thinking abilities. This is as important as the learning Physics by itself but even more important. Take into account that a great number of scholars receive Physics courses and only a very few number of them applies Physics in their jobs, nevertheless all of them need that School contribute, and much more every day to develop thinking abilities. As a way to develop them, in this paper is established, the formulation of questions that incite the students to make valuations of the inferences, made from the experiments, that can be used to infer of them The Newton's Second Law. The result obtained is a group of questions corresponding to the aim of this paper, with the suggestion of include them in the course, not necessarily in lectures. Alternates ways may be used for the introduction of these contents in the courses. In this paper, in addition to the theoretical basis presented here and in the first paper of the sequence of three papers, are taken into account the author experience in more than 40 years as General Physics Professor and some years as trainer of students for the International Physics Olympiads. In the bibliography appear author'papers constitutive roots of the ideas presented in this paper.

Keywords: Thinking, abilities, mental experiment, mass, force, logical incoherence, external validity.

Introducción

Una idea que apoya este artículo la expresan (Pozo y Gómez Crespo, 1998), quienes señalan que: "El desarrollo de capacidades generales debe estar por encima del aprendizaje de contenidos específicos. Los contenidos específicos de las materias, más que justificarse por sí mismos, deben de concebirse más bien como un vehículo para el desarrollo de capacidades más generales en los alumnos, que les permitan dar sentido a esos contenidos".



Esta idea se amplía en una tendencia que se ha desarrollado en las últimas décadas y es la del desarrollo de habilidades de pensamiento. Para entender el significado de esta expresión debemos comenzar por las dimensiones del pensamiento: Metacognición, Pensamiento crítico, Resolución de Problemas y Creatividad. En la primera parte de esta serie de artículos en la que el autor trata estos temas se puede iniciar el estudio de ellos. (F González 2020). Ahí se encuentran las ideas teóricas esenciales que sustentan el presente trabajo. Estos temas en su generalidad se tratan con bastante frecuencia, pero no abundan los ejemplos prácticos de aplicación de estos conceptos a una disciplina específica. La concreción de algunas de estas ideas a la disciplina física es el aporte del presente trabajo.

Materiales y métodos

En el presente artículo se une, a los resultados de una revisión bibliográfica sobre el desarrollo de habilidades de pensamiento, la experiencia del autor en largos años como profesor universitario de Física General y como resultado se muestra el tratamiento de un tema específico en el que se muestra cómo puede procederse para que los estudiantes no asimilen acríticamente lo que se les explica, y como resultado de ello se desarrolle en ellos la profundidad de pensamiento y como consecuencia, se obtenga una contribución al incremento de sus habilidades de pensamiento.

Resultados y discusión

Los experimentos de Galileo marcan el inicio de la ciencia actual, por cuanto estableció el enunciado de la denominada Ley de la Inercia, a partir de la realización de experimentos e incluso introdujo la idea de experimento mental, que no puede realizarse, pero que significa una generalización muy hábil de los experimentos realizados. Se partirá de su conclusión fundamental y es que un cuerpo libre de interacción mantiene su velocidad constante, por supuesto en módulo, dirección y el sentido. En lo restante, se pondrán comentarios y preguntas, escritas con un tipo de letras diferente para incitar la reflexión y el cuestionamiento de los lectores.

El experimento mental al que se hace referencia consiste en concluir que si un cuerpo liso moviéndose hacia abajo en un plano inclinado que también es liso, aumenta su velocidad; y al hacerlo hacia arriba la disminuye, entonces en un plano horizontal mantendrá su velocidad constante, aunque el plano sea infinito; pero un plano horizontal infinito es absurdo. El siguiente esquema lo pone de manifiesto.

El sentido de plano horizontal sólo puede atribuirse a la vecindad del punto C, inclinado hacia arriba está cuando se aleja del punto C y hacia abajo cuando se acerca. Este experimento mental que tanto se alaba, ¿cree usted que sea una especulación afortunada; tal como la de Demócrito al hablar de átomos sin ningún apoyo experimental?

Por otra parte, la Ley de la inercia dice que un cuerpo sobre el que no actúa fuerza alguna se mueve con MRU. De hecho, el sistema de referencia en que esto se cumple no puede estar acelerado y se le denomina sistema inercial. Los experimentos los realizó Galileo usando la Tierra como sistema de referencia, pero se sabe que está acelerada y esto explica, entre otros fenómenos, el giro del viento en tornados y huracanes. ¿Es esta una inconsistencia lógica de su formulación?

La necesidad de introducir el concepto de fuerza, surge como consecuencia de los experimentos de Galileo, que demostraron que para que un cuerpo cambie su velocidad, es necesario que se aplique una fuerza sobre él.

Tomando como punto de partida una noción intuitiva, sensorial, de la magnitud que se pretende estudiar, se puede concluir que el efecto de cambiar la velocidad de un cuerpo, se puede lograr empujándolo con las manos y que con una acción del mismo tipo, se puede deformar otro cuerpo. De tal forma, se puede establecer que hay dos efectos producidos por la acción de una fuerza: una deformación o un cambio de velocidad. Si se quiere estudiar el efecto del cambio de velocidad, deberá establecerse un método de medición de fuerza que no dependa de él: es decir la deformación.

Podemos considerar un cuerpo que se deforme elásticamente, y que la deformación sea fácil de detectar. Ambas condiciones pueden satisfacerse, usando un resorte colocado junto a una regla, Figura 2 a.

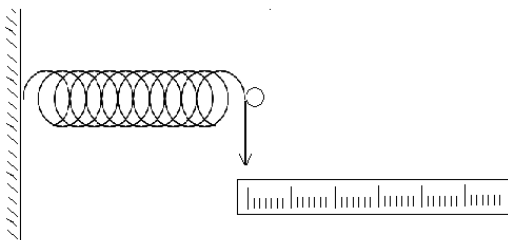


Figura 2 a



Figura 2b

Con una instalación como la descrita, se puede construir un instrumento destinado a medir fuerzas: el dinamómetro, Figura 2 b. Lo que se requiere es establecer una función $F = F(x)$, monótona creciente en sentido estricto, porque lo único que ha de reflejar es el hecho de que para aumentar el estiramiento del muelle, se requiere una mayor fuerza. Obviamente, si no hay otra condición, se escoge una función muy simple: la proporcionalidad directa. Por lo tanto, para medir la fuerza bastará usar una expresión:

$$F = -kx \quad (1)$$

Obviamente, en la ecuación anterior, el signo menos significa que la fuerza que ejerce el muelle es opuesta a la deformación

¿Qué consecuencia hubiese tenido escoger un valor para k numéricamente igual a uno?, Tenga en cuenta el grado de arbitrariedad que se tiene al introducir la definición de fuerza de esta manera.

Considere que se hubiese escogido alguna de las siguientes expresiones:

$$F = -kx^2 \quad (1a) \quad \text{o bien} \quad F = -kx^3 \quad (1b)$$

¿Hay alguna otra razón, además de la simplicidad para eliminar alguna de la dos anteriores, con los elementos que se tienen hasta el momento?

El método elaborado nos permitirá medir fuerzas en unidades “u”, por el momento, arbitrarias. Por supuesto que todos los experimentos siguientes deberán realizarse con el mismo dinamómetro.

¿Por qué cree Ud que deba cumplirse esta condición?

Ya en posesión de un método para medir fuerzas, se estudiarán sus efectos para provocar aceleraciones. Se realizará un experimento simple en el que se mide la aceleración que imprime a un cuerpo, la aplicación de fuerzas de varias magnitudes, Figura 3. Supongamos que el cuerpo desliza libremente sobre una superficie lisa, y supongamos además, que el dinamómetro es muy ligero en comparación con el cuerpo

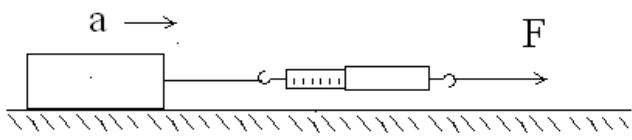


Figura 3

¿Será esta una inconsistencia lógica de la formulación de la mecánica? Parece razonable que deba hacerse la suposición de la ligereza del muelle, de modo que la acción de la fuerza se concentre en acelerar al cuerpo y no al muelle, pero para ello nos basamos en suponer que los cuerpos ligeros se aceleran con más facilidad que los pesados, y a esta conclusión es a la que queremos llegar con los experimentos, ¿se estará entonces incurriendo en una petición de principios? Es decir, ¿se estará utilizando como premisa la conclusión a la que debe arribarse?

No queda más remedio que usar una noción intuitiva, y apoyarnos en que todos van a entender el significado de la expresión comentada, aunque no pueda sustentarse en definiciones rigurosas. Esto no es algo exclusivo del orden que se ha escogido para introducir estos conceptos, sino algo consustancial a la mecánica, y que cualquiera que sea el orden de exposición, siempre aparecerá la necesidad de hacer algo intuitivo y poco riguroso para sentar las bases de esta disciplina.

Se determina la aceleración del cuerpo que corresponde a cada fuerza aplicada. Los resultados aparecen en la Tabla 1

Tabla 1

Fuerza (F)	F_1	F_2	F_n
Aceleración (a)	a_1	a_2	a_n

Se encuentra que la aceleración es directamente proporcional a la fuerza aplicada. La conclusión del experimento no es tan sencilla: en realidad, cuando se hacen las mediciones y se representan en un gráfico los valores obtenidos de las fuerzas, y de las aceleraciones, no se obtiene una recta que pasa por el origen, sino una cierta dispersión de los valores experimentales alrededor de ella, como se muestra en la Figura 4.

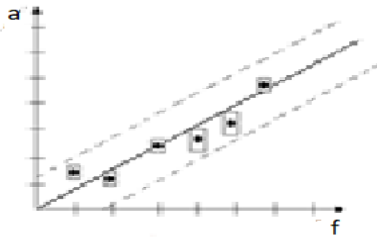


Figura 4

Para procesar los datos que se obtienen en el experimento, se ajustan los puntos a una curva, de acuerdo a algún criterio prefijado, y que fundamenta el método que se haya elegido. El resultado se obtiene en términos de un intervalo de confianza, que es lo que se indica en la Figura 4, con las dos rectas discontinuas que se muestran a cada lado de la continua, con el valor de la probabilidad de que la mejor recta esté incluida entre las líneas discontinuas.

Al igual que cualquier otro resultado científico, esto tiene carácter relativo (aun a pesar de expresarlo con la incertidumbre que se ha comentado), en tanto es una generalización de lo que se conoce mediante los experimentos que se han realizado. Si ocurriera que en posteriores experimentos se encontrara algo que contradice lo que se ha formulado, entonces habría que realizar una nueva generalización, que incluya el nuevo resultado experimental, pero que incluya también, como caso particular, a lo formulado antes para englobar todos los resultados experimentales en la nueva teoría.

En la situación que nos ocupa, lo dicho no es hipotético. Si en lugar de acelerar un cuerpo macroscópico, se acelerara una partícula subatómica, mediante una fuerza fija, la aceleración también sería constante en un rango muy amplio de velocidades, pero al llegar a valores muy altos de la velocidad (mayores que 30000 km/s), la aceleración comenzaría un descenso y la velocidad de la partícula tendería a ser constante. Esta anomalía la explica la teoría de la relatividad y permite una visión dinámica del problema, que incluye como caso particular (a velocidades bajas) lo que se obtuvo en el experimento de la Figura 3.

Lo comentado acerca de la incertidumbre en los resultados de los experimentos y de los límites de validez de sus conclusiones nos lleva a convencernos de que la Física no es una ciencia exacta, sino una ciencia con un control riguroso de la incertidumbre y de los límites de validez de sus conclusiones.

Podemos ahora realizar el experimento representado en la Figura 3 con dos cuerpos diferentes 1 y 2 y se encontrará que en general se obtienen aceleraciones diferentes, con lo cual se pone de manifiesto que dos cuerpos reaccionan de modo distinto ante la aplicación de una misma fuerza. Se puede introducir una magnitud que caracterice este hecho, que en particular mida la oposición de los cuerpos a ser acelerados, a partir de la relación de las aceleraciones que adquieren ante una misma fuerza, si llamamos masa inercial a esa magnitud y la representamos por m , se podrá escribir la siguiente expresión:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (3)$$

¿Qué característica de la expresión 3 pone de manifiesto que la magnitud m que se está introduciendo mide la oposición de un cuerpo a que sea acelerado por una fuerza que se le aplique?

La expresión anterior nos permite determinar el valor relativo de las masas inerciales de dos cuerpos, pero no el valor de la masa de uno de ellos. Para lograr esto, hay que elegir un cuerpo patrón y asignarle arbitrariamente el valor uno a su masa inercial, con lo cual, en principio quedarán determinadas las masas de todos los restantes, mediante el

experimento que se describe en la Figura 3. El patrón de masa se encuentra en un laboratorio en Francia, y se le asigna el valor de un kilogramo, en el Sistema Internacional de Unidades.

Esto pone de nuevo de manifiesto la necesidad de garantizar la validez externa de los resultados experimentales. Hay que garantizar que puedan usarse copias del patrón elegido, de manera que puedan efectuarse experimentos en cualquier parte, sin necesidad de que en todas ellas, se deba utilizar el mismo patrón, es decir el patrón debe ser reproducible, y la reproducibilidad debe permitir el control riguroso de la incertidumbre que es característica de la física. Existen normas rigurosas para construir patrones secundarios, de manera que no siempre haya que acudir a él para comprobar la validez de los que se construyan. De estos tópicos, se ocupa la Metrología, que es la ciencia de las mediciones y que tiene una gran importancia en el desarrollo de la ciencia y de la tecnología, y además una gran significación comercial.

La expresión (3) muestra que ante la aplicación de una misma fuerza, el cuerpo adquiere una aceleración que es inversamente proporcional a su masa. Los experimentos descritos hasta ahora, pueden resumirse en una sola expresión:

$$F = \alpha ma \quad (4)$$

La constante de proporcionalidad α que aparece en la expresión (4), es necesario introducirla dada la arbitrariedad con la que se han definido las magnitudes para medir las magnitudes que aparecen en ella, sobre todo la fuerza, cuya unidad de medida quedó pendiente en esta discusión. La otra razón es que aunque se hubieran definido bien todas las unidades de las magnitudes, es necesaria su introducción por cuanto lo único que han mostrado los experimentos es la proporcionalidad. La solución es escoger la definición de la unidad de fuerza, como si fuera un concepto derivado de los de masa y aceleración, que no es el caso porque de serlo, la expresión (4) no sería una Ley, sino una definición de fuerza. Como se sabe, esa expresión corresponde a la segunda Ley de Newton y se puede decir, casi con todo rigor, que ha quedado establecida como ley, inducida de los resultados experimentales que se han comentado. Se escoge $\alpha = 1$ (adimensional) y se construye así un sistema de unidades, en particular, el Sistema Internacional, para la mecánica, las unidades fundamentales, se completan con el metro, el segundo y el kilogramo, para la longitud, el tiempo y la masa respectivamente. La unidad de fuerza resultaría entonces el producto de las de masa y aceleración, es decir, kg m/s^2 , a esta unidad se le denomina Newton.

Debemos todavía dejar pendiente la determinación del valor de k en la ecuación (1), hasta tanto no dispongamos de una manera de establecer una medición estática para una fuerza de un Newton.

¿Qué experimento haría Ud para resolver la determinación del valor de k ?

Íntimamente ligada a la propiedad que tienen los cuerpos de oponerse a ser acelerados, está la de atraerse mutuamente. Esto puede conjeturarse a partir del hecho conocido de que todos los cuerpos caen sobre la superficie de la Tierra, en un mismo punto, con la misma aceleración. Esto último pudiera explicarse si la fuerza que ejerce la Tierra sobre un cuerpo fuese directamente proporcional a su masa inercial. En tal caso, sobre el cuerpo de mayor masa, la Tierra ejercería una fuerza mayor, pero que provocaría la misma aceleración por cuanto la dificultad para acelerarlo aumentaría en la misma proporción en que lo hace la fuerza. Esta conjetura puede comprobarse a partir de la ecuación (4), en la que si se hacen, la masa y la fuerza η veces mayor, la aceleración resultante es la misma:

$$\eta F = \alpha \eta m a$$

La base de esta conjetura puede comprobarse experimentalmente si se miden las fuerzas con que la Tierra atrae a dos cuerpos, cuyas masas son conocidas, a partir del procedimiento estudiado para medir masa. El esquema del experimento se muestra en la Figura 5. Se comprueba que:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad (5)$$

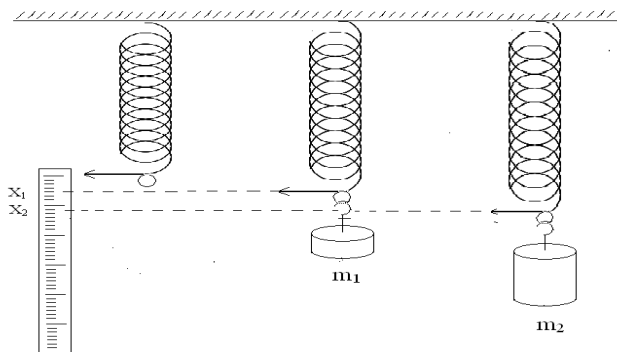


Figura 5

Las ideas anteriores quizás fundamenten el origen de la leyenda de que Newton comenzó a pensar en la gravitación universal, al observar la caída de una manzana.

Con estos resultados, sólo podemos concluir que una magnitud que caracterice a la fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un cuerpo, es proporcional a la masa inercial del cuerpo, si llamamos a esa magnitud masa gravitatoria, diremos entonces que la masa inercial y la masa gravitatoria son proporcionales.

Cabría preguntarse ahora si la propiedad de atraer otros cuerpos es exclusiva de la Tierra o si, por el contrario, la poseen todos los cuerpos. Veamos ahora un experimento, que puede respondernos esta pregunta. Históricamente este experimento se efectuó con una instalación más complicada que la que se representa en la Figura 6, pero la esencia es la misma. En el esquema se muestra un tubo de vidrio, en el interior del cual puede deslizarse sin fricción una esfera, que está unida a un resorte, con el extremo opuesto fijo. Se le colocan enfrente otras esferas, de diversas masas conocidas y se mide la fuerza de atracción en cada caso, a partir del alargamiento x del muelle.

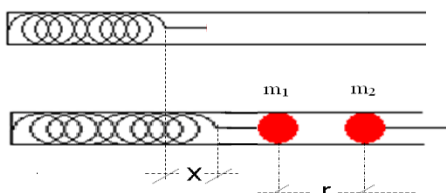


Figura 6

Se puede establecer, como consecuencia de los experimentos, que la fuerza de atracción es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. En símbolos, podemos escribir las dependencias anteriores de la siguiente manera:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (6)$$

Debemos recordar ahora que, cuando se estableció la ecuación (4), también se introdujo una constante. En aquel entonces, dijimos que se podía elegir un valor unitario y unidimensional para el valor de la constante. Podíamos pensar, en principio en hacer lo mismo con la constante G que aparece ahora, pero no es posible, aquí tenemos bien

definidas las unidades para la masa, la distancia y la fuerza, de tal manera que G tiene que tener un valor numérico que determine el valor real de la fuerza cuando se conocen las masas y la distancia.

A esta constante se le denomina Constante de Gravitación Universal, y toma el siguiente valor (Cohen E.R. y Taylor B. N., 1988):

$$G = 6.67259(85) 10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2} = (6.67259 \pm 0.00085) 10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2}$$

En el artículo citado, se da el valor de G , recomendado en 1986, por el

Comité de Datos para Ciencia y Tecnología, del Consejo Internacional de Uniones Científicas. Puede resultar curioso que en la actualidad se mida una constante, introducida en la Física en el siglo XVII, pero es frecuente que se haga esto y debe tomarse como apoyo a la afirmación de que la Física no es una ciencia exacta, pero tiene un control riguroso de la incertidumbre.

Mediante la aplicación de la ecuación (6), puede calcularse la fuerza que ejerce un cuerpo sobre su apoyo (peso), cuando está cerca de la superficie de la Tierra, y resulta ser:

$$F = mG \frac{m_T}{r_T^2} = mg$$

donde g es la aceleración de la gravedad y obviamente:

$$g = G \frac{m_T}{r_T^2}$$

Con esto podemos saber la masa de un cuerpo tal que, cuando se cuelgue de un resorte, le aplique una fuerza de 1N. Se puede colgar dicho cuerpo, medir el alargamiento que produce y determinar el valor de k (en N/m) que aparece en la ecuación (1). Con esto desaparecería la condición de que tenga que usarse siempre el mismo dinamómetro.

La Física que se explica en los cursos actuales, tiene más de 400 años de desarrollo y ha de comprimirse su exposición, para poder cumplir con el tiempo asignado en los programas de estudio. Esto conduce a privilegiar lo que se acepta por la comunidad científica en la actualidad, por encima de lo que puede concluirse a partir de los elementos experimentales que se presentan, lo cual implica establecer una violencia intelectual que es contraproducente para desarrollar el pensamiento crítico y en general las habilidades de pensamiento. Otra consecuencia es que se obra con superficialidad al exponer los contenidos y se pasan por alto aspectos que son imprescindibles para favorecer el pensamiento profundo. Esto último, es algo que esta secuencia de tres artículos contribuye a paliar. La idea no es hacer siempre análisis profundos, ni tampoco hacer todos los que se consideren útiles en las clases, sino añadir otras formas para poner en contacto a los alumnos con materiales elaborados y que favorezcan el desarrollo de las habilidades de pensamiento. Se presentan ejemplos y se recomienda usar algunos de ellos al menos una vez y con el resto de los contenidos dejar preguntas y a la vez, estimular a los alumnos a que ellos mismos las formulen. Algunas de las respuestas se pueden brindar en materiales que se elaboren y se pongan a disposición de los alumnos y en otros casos señalar fuentes en las que puedan profundizar. Es útil dejar algunas sin orientación para estimular a que algunos alumnos, por supuesto no todos, ni siquiera un número grande, se dispongan a realizar sus propias búsquedas de manera independiente.

Conclusiones

El presente trabajo constituye una interface entre los artículos teóricos de Psicología con el propósito de facilitar a los docentes en ejercicio, la aplicación de los resultados recientes en el tema del desarrollo de las habilidades de pensamiento, y algunas maneras de aplicar esos contenidos, Su valor radica en proponer un conjunto de preguntas y comentarios al tratar de inducir de resultados experimentales la Segunda ley de Newton, que contribuyen a desarrollar algunas habilidades de pensamiento. Lo próximo es poner en práctica estas sugerencias y medir el desarrollo de las habilidades de pensamiento antes y después de la intervención pedagógica en la que estas sugerencias se pongan en práctica. Por otra parte, es oportuno seguir elaborando otras sugerencias, referidas a otros temas del curso y que cubran una mayor cantidad de elementos de las dimensiones del pensamiento y sus correspondientes habilidades.

Referencias Bibliográficas

- Aznar I, Laiton I. (2017). Desarrollo de Habilidades Básicas de Pensamiento Crítico en el contexto de la Enseñanza de la Física Universitaria. *Formación Universitaria* Vol 10 (1) 71- 78
- Cohen E.R. y Taylor B. N. (2001). The 1986 recommended values of the fundamental physical constants. *J. Phys. Chem. Ref. Data* 17(4), 17951803
- González F. Análisis de la modelación en un experimento sencillo. *Revista Varona ISPEJV* (1990).
- González F. (1991). Metodología para el trabajo en la solución de problemas en las clases prácticas de Óptica para la especialidad de Física en los ISP Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Pedagógicas.
- González F. (1997). Algunas sugerencias para elevar la efectividad de los problemas de Física. *Revista Varona. ISPEJV*.
- González F. (2009). Algunas técnicas para desarrollar el talento en los cursos de Física. Primera parte: Relativa al contenido. *Revista Pedagogía Universitaria*. Vol. XIV No.5
- González F. (2010).Algunas técnicas para desarrollar el talento en los cursos de Física. Segunda parte: Relativa al método. *Revista pedagogía universitaria* Vol. XV No.1
- Pozo J. I., Gómez Crespo M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata S. L. Madrid España