

Enseñanza de la física experimental

EDVATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Héctor G. Riveros

*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,
Ciudad Universitaria, C.P. 01000, Ciudad de México.*

E-mail: riveros@fisica.unam.mx

(Recibido el 6 de febrero de 2020 aceptado el 10 de octubre de 2020)

Resumen

Resumen. Los fines de la enseñanza han evolucionado junto con la sociedad en que vivimos, para poder adaptarse al ritmo acelerado de cambio impuesto por la aplicación de los descubrimientos científicos en la industria. Se puede definir la calidad en la enseñanza como su capacidad para enseñar a razonar. Este enfoque cubre tanto la enseñanza por competencias como la centrada en el estudiante. Cada tema del programa es un pretexto para enseñar a deducir o a inducir. El profesor decide si lo deduce o lo induce a partir de una demostración o datos experimentales. Los experimentos permiten apreciar la capacidad de razonar de los estudiantes, ya que necesitan combinar todo lo que saben en la realización e interpretación de los mismos.

Palabras clave: Razonar, Inducción, Deducción, Solubilidad, Pelota.

Abstract

The objectives of education have evolved along with the society we live in, in order to adapt to the fast pace of change imposed by the application of scientific discoveries in the industry. You can define the quality of education as their ability to teach reasoning. This approach covers both teaching competencies and student-centered teaching. Each topic is an excuse to teach how deduce or induce. The teacher decides whether deduce it or induces it from a demonstration or experimental data. The experiments allow us to appreciate the ability to reason of the students because they need to combine everything that they known in the making and interpretation of them.

Keywords: Reasoning, Induction, Deduction, Solubility, Ball.

I. INTRODUCCIÓN

Tenemos una sociedad en aprendizaje continuo, lo que requiere capacidad de razonar para poder adaptarse con rapidez. Se habla mucho de calidad en la Educación, pero cada quien la define de manera diferente. Aquí estamos definiendo la calidad en la enseñanza como su capacidad para enseñar a razonar, lo que permite medirla mediante reactivos como los usados en la prueba PISA. En los últimos 50 años los instrumentos de laboratorio son completamente diferentes, cualquiera que enseñemos a usar, se hace obsoleto en poco tiempo. Las demostraciones y experimentos impactantes son los que ayudan a inducir los razonamientos. Es necesario preparar mejor a los futuros profesores [1] Presentaremos a profesores experimentos que permiten inducir el razonamiento en los estudiantes, haciendo énfasis en que lo que se enseña es un pretexto para enseñar a razonar. Importa más el como se enseña, que lo que se enseña.

II. INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Hasta mediados del siglo XX la investigación en Educación estaba en instituciones dedicadas a Humanidades y

Sociología, las que también se encargaban de la formación de profesores, con énfasis en estudios de Didáctica y Pedagogía. Con el tiempo, empieza a aceptarse la noción de que no se puede enseñar lo que no se sabe. Si va a enseñar Física el profesor necesita saber Física, condición necesaria pero no suficiente. De las Ciencias Naturales: Física, Química y Biología, la Física tiene el dudoso honor de ser la más odiada por la población en general; quizá debido a lo alto de su índice de reprobación, especialmente en el nivel Bachillerato. Tratando de revertir esta situación, hace años, se conjuntaron los esfuerzos de los mejores educadores con los mejores científicos en el *Physical Science Study Committee* PSSC, para escribir un libro de texto, libros para los profesores, equipos de laboratorio para los experimentos y materiales audiovisuales como complemento. Inicialmente el resultado fue excelente, pero en 10 a 20 años, se perdió el impulso inicial y la Física volvió a los índices anteriores de aceptación (o reprobación). Hubo otros intentos parecidos con resultados semejantes.

Con el tiempo se aceptó como campo de investigación valioso para los físicos, la Educación en Física (*Physics Education*), siendo muchas las universidades (en Estados Unidos) con departamentos de Física; que fundaron Institutos dedicados a investigar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física. Actualmente, se investigan todos los niveles de enseñanza y se cuentan con revistas

especializadas en el campo de la Educación en Física. Muchas de estas universidades tienen cursos cortos para que los profesores apliquen sus resultados de investigación en la práctica docente. Los resultados publicados suelen ser muy favorables a los nuevos procedimientos comparados con las clases tradicionales. A México han llegado como “enseñanza por competencias”, intentando que el estudiante sea competente en la aplicación de sus conocimientos a sus problemas. Otra versión muy popular es la enseñanza “centrada en el alumno”, enfatizando que si el alumno no aprende no hay aprendizaje. Podemos sintetizar ambas versiones en enseñar a razonar, aprovechando que “entender causa placer”; este placer es una muy buena herramienta didáctica. Todos los estudios sobre investigación en la enseñanza de la Física muestran que es necesario que el estudiante razone para producir un aprendizaje significativo. Demostraciones y experimentos ayudan a sacudir las mentes, induciendo a encontrar explicaciones a lo observado; aunque las hipótesis iniciales resulten falsas el razonamiento para verificarlas suele producir excelentes resultados en la mente de los estudiantes. Estrategias basadas en competencias, suelen ser muy eficientes [2]. El descubrimiento inducido se puede utilizar como recurso didáctico [3], así como el placer que causa entender [4, 5, 6].

III. METODOLOGIA

Revisando los programas de estudio mexicanos de Primaria, Secundaria, Preparatoria y Licenciatura en temas de Física encontramos ejemplos de actividades o experimentos que pueden realizarse en casa, con ayuda de una computadora conectada a Internet. La computadora llegó para quedarse y es un elemento de comunicación que permite la existencia de las redes sociales que actualmente convierten al mundo en una aldea global. Veremos ahora ejemplos de experimentos posibles en los diferentes niveles de las escuelas. Desde Primaria hasta Licenciatura.

IV. EXPERIMENTOS PARA PRIMARIA

Construir una balanza (dinamómetro) para ser utilizado en experimentos de solubilidad. La sal de mesa tiene una solubilidad de 36 g en 100 ml de agua a temperatura ambiente. Un dinamómetro con capacidad de 50 g y resolución de 1 g es suficiente. Se pueden usar ligas delgadas ya que soportan fuerzas de más de 50 g.

Construcción de la Balanza de Ligas. Ligas de 7-8 cm de longitud y de 2 mm de ancho y grueso, se estiran cerca de 5 mm con un peso de 50 g. Con 10 g se estiran 1 mm, pero queremos una sensibilidad de 1 g; por lo que se requiere usar 10 ligas en serie, que se pueden amarrar fácilmente como muestra la fotografía. Para calibrar la balanza podemos usar agua limpia, si tenemos un recipiente calibrado con 10 cm³. Las monedas mexicanas de 1 peso

tienen un peso cercano a 4 gramos y las de 10 pesos pesan 10.2 g. Como recipiente de los objetos a pesar, se usa una botella de plástico colgada de un estambre con un clip para papel. La longitud de las ligas se mide con una cinta métrica. Agregando 1 moneda cada vez, se obtuvo la recta de calibración mostrada en la figura 1.

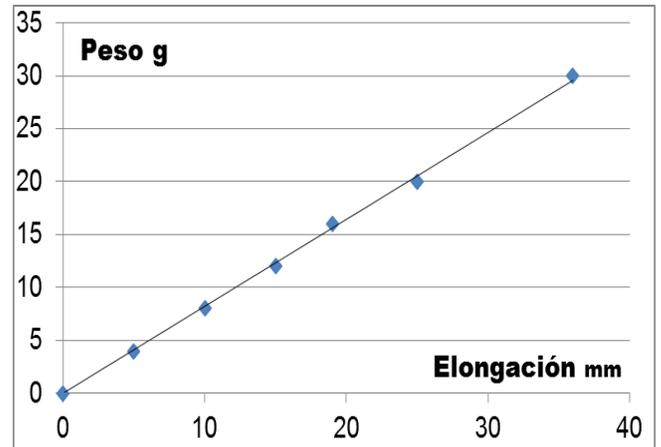


FIGURA 1. Curva de calibración de las ligas como balanza.

Problema 1.-Medir la solubilidad de la sal. Encontrar cuantos gramos de sal se disuelven en 50 ml de agua.

Materiales:

Recipiente liviano de fondo plano. Diámetro de 8-10 cm para que tenga mucha área para evaporar. Puede ser envase desechable de yogurt o crema.

Agua 50 cc

Sal 20 g en 4 paquetes de 5 g

Vaso para disolver la sal.

Cuchara

Procedimiento: Se colocan los 50 cc de agua en el vaso. Se agregan los primeros 5 g de sal y se agita con la cuchara hasta que desaparezcan. Se agregan otros 5 g que también desaparecen. Se agregan otros 5 g que también desaparecen. Al agregar los últimos 5 g de sal ya no se logra que desaparezcan, por más que se agite la solución. El agua disolvió la máxima cantidad de sal que pudo a la temperatura del agua. Video10. Solubilidad NaCl https://youtu.be/15A-2gq_N2g:

¿Cómo podemos medir cuanta sal está disuelta en la solución?

Dejamos en reposo el vaso con la sal disuelta por 5 minutos, para que el exceso de sal no disuelta se asiente en el fondo del vaso. Pesamos el recipiente de fondo plano, en la balanza. En el recipiente de fondo plano, vaciamos sin agitar la solución, sin llevarnos nada de la sal asentada en el fondo. Pesamos el recipiente con la solución recuperada. Dejamos el recipiente medio tapado, para que no le caiga polvo y se evapore en 1 o 2 días. Al evaporar, solamente el agua sale como vapor, la sal precipita de la solución en

forma de cristales. Mientras más lenta es la evaporación más hermosos son los cristales de sal recuperados. Pesando el recipiente seco con sal, podemos calcular el peso del agua evaporada y el peso de la sal disuelta. El agua a temperatura ambiente disuelve cerca de 0.36 g de sal por gramo de agua.

Experimento colectivo. Estimar el contenido de sal en caldos de pollo de diferentes marcas. Se consiguen en cubitos de cerca de 5 g o en polvo, de donde se pueden tomar 5 g. Se pide a los niños que lo hagan con el caldo de pollo utilizado en su casa.

Problema 2.- ¿Estimar que marca de cubitos de caldo de pollo tienen más sal?

Materiales: Los mismos del problema 1.

Cubito de caldo de pollo o 5 gramos de polvo de cubito de pollo.

Un filtro de cafetera o un trapito compacto para filtrar la solución.

El caldo de pollo contiene sustancias insolubles y solubles en el agua. Para separarlas se disuelve el caldo de pollo en 30 cc de agua en el vaso para disolver. Se puede calentar a 40 °C para facilitar la disolución. Primero se pesan el filtro o trapo y el recipiente de fondo plano. La solución filtrada contiene los materiales solubles, incluyendo la sal de mesa. El filtro se deja secar para pesar cuanta materia insoluble contiene el caldo de pollo. Se pesa el recipiente de fondo plano con la solución y se deja evaporar el agua por uno o dos días. Mientras más lenta sea la evaporación más grande serán los cristales blancos de sal, Figura 2. Las sustancias verdes oscuro son los componentes nutritivos del caldo de pollo. Compáren sus resultados con los de sus compañeros que usaron otras marcas.

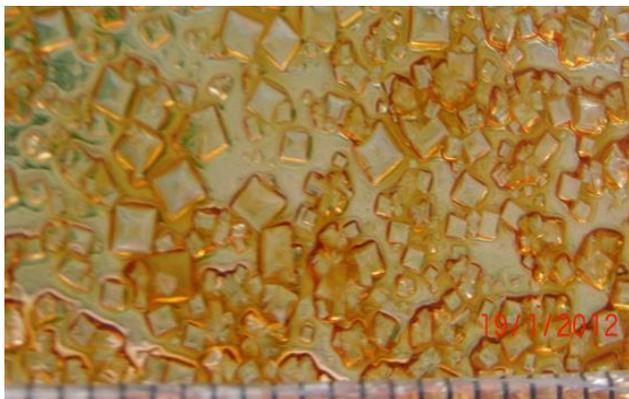


FIGURA 2. Cristalitos de sal de mesa obtenidos evaporando cubito caldo de pollo disuelto. Las rayas negras son milímetros de una regla.

V. EXPERIMENTO PARA SECUNDARIA

Principio de Arquímedes. El principio de Arquímedes se puede inducir colocando una probeta graduada semillena

con agua sobre una balanza. Introduciendo un objeto cilíndrico en la probeta, se puede verificar que los centímetros cúbicos desplazados son iguales al cambio de peso en gramos medidos por la balanza. Se puede deducir considerando un volumen de agua, marcado en blanco dentro del agua. El agua que la rodea debe ejercer una fuerza igual a su peso estando en reposo, si fuera mayor o menor, subiría o se hundiría.

El peso del agua en la zona marcada, debe ser igual y de sentido contrario a la fuerza ejercida por el agua azul.



FIGURA 3.-Diagrama para deducir el Principio de Arquímedes. Video Arquímedes <https://youtu.be/TO33TiBdPsU>.

VI. EXPERIMENTOS PARA BACHILLERATO

Analizador de Sonido. Un analizador de sonido es un dispositivo que por medio de un micrófono graba el sonido, midiendo su volumen en decibeles a una cierta frecuencia de muestreo. La computadora es una herramienta de laboratorio, que requiere transductores que midan las variables de interés, en este caso un micrófono. Audacity es el nombre de un editor y grabador digital de sonido gratuito que se puede bajar del sitio [//audacity.sourceforge.net](http://audacity.sourceforge.net).

Puede servir en muchos experimentos, pero pensemos en dos:

1.- Medir la velocidad del sonido en una varilla de aluminio Si la soportamos por su centro de masa, y le damos un golpe en un extremo para excitar ondas longitudinales de presión, oímos que se produce un sonido que cambia un poco de frecuencia, y su intensidad disminuye lentamente con el tiempo.

2.- Medir la disipación de energía en el rebote de una pelota

1.-Varilla de aluminio
Haciendo el experimento con una varilla de aluminio de ½ pulgada de diámetro y 1.216 m de longitud, obtuvimos que la intensidad del sonido del modo fundamental bajo 15 decibeles en 30 segundos. Haciendo un análisis en frecuencias en un intervalo de 2 segundos cercanos al golpe (inicial) y 30 segundos después (2 segundos al final) se obtuvo la figura 4.

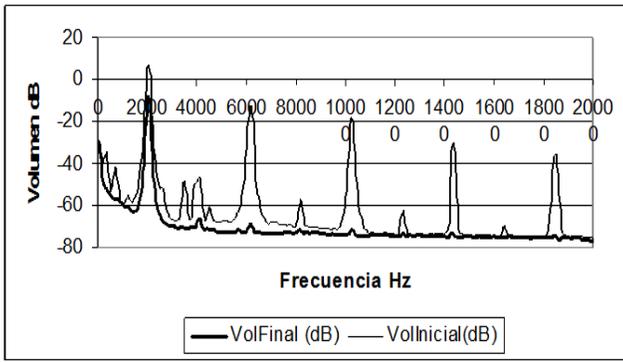


FIGURA 4. Análisis en frecuencia del sonido de la varilla inicialmente y transcurridos 30 segundos. Para los 30 segundos la varilla vibra en su modo fundamental, las otras frecuencias ya se amortiguaron.

Calculando varias veces para estimar la incertidumbre se obtiene una frecuencia fundamental de 2057 ± 10 Hz, que coincide con los 2060 dado por el análisis de frecuencia. Suponiendo que el modo fundamental hace que la longitud de onda/2 ($\lambda/2$) sea igual a lo longitud de la varilla se obtiene una velocidad de propagación (onda longitudinal) de 5003 ± 25 m/s. Podemos comparar este valor con el de 5000 m/s reportado para varillas delgadas de aluminio en el Handbook of Physics and Chemistry publicado por Rubber Company.

2.- Rebote de una pelota

Las pelotas al rebotar producen un sonido cada vez que chocan con el piso. Midiendo el instante en que empieza el pulso sonoro asociado al choque con el piso, se puede medir la duración de cada rebote (si se desprecia el tiempo que dura la pelota en contacto con el piso). Si no hay desplazamiento lateral durante los rebotes, el tiempo de vuelo es dos veces el de la caída libre equivalente. Para caída libre $x = gt^2/2$, si llamamos A a la altura máxima alcanzada y T a la duración del vuelo, entonces $t = T/2$ y $A = gT^2/8$.

Podemos medir con el cursor en la pantalla normal de Audacity el tiempo de inicio de cada rebote y escribirlos en una columna en una tabla de Excel. Calculando la diferencia entre dos tiempos consecutivos, obtenemos una segunda columna con los tiempos de vuelo T. En la tercera columna podemos calcular $A = gT^2/8$ que nos calcula la altura despreciando la fricción con el aire (que ya hemos encontrado despreciable con medidores de posición o cámaras de video). Dado que la energía potencial máxima se tiene al máximo de altura y es igual a la energía total, si calculamos el cociente $A2/A1$ obtenemos la razón de la energía antes y después de cada choque, lo que nos indica la cantidad de energía disipada en cada rebote.

Midiendo con una pelota de plástico duro hueca se obtuvieron los datos de la figura 5 en donde se observa la disminución en la altura en 39 rebotes consecutivos. Los cambios en altura muestran poco ruido o desviaciones de la curva suave que los une.

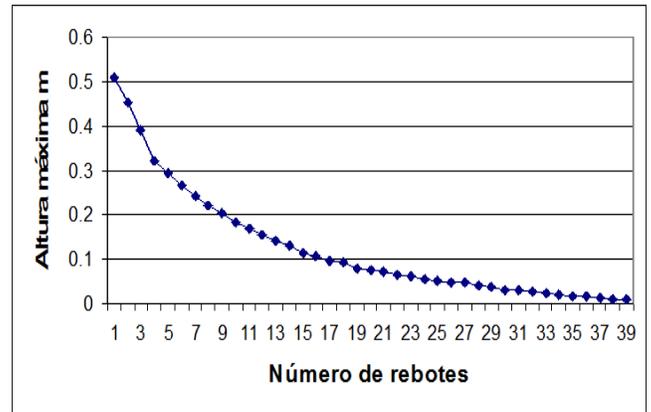


FIGURA 5. Alturas sucesivas para 39 rebotes consecutivos. La medida tiene poco ruido, la curva suave no muestra desviaciones al azar.

La figura 6 muestra que la pérdida de energía en cada choque es casi constante. y cercana al 10% de la energía inicial, o sea que rebota con el 90% de la energía inicial.

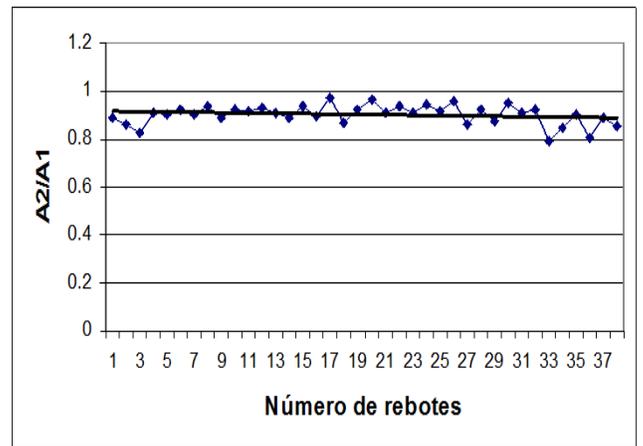


FIGURA 6. Cociente de la energía final entre la energía inicial para los choques de la pelota de plástico duro. El valor promedio del cociente $A2/A1$ es 0.90 ± 0.04 .

En el caso de una pelota de hule macizo se observan resultados muy semejantes, aunque hay que evitar que haya piedritas en el piso, que le den una fuerza que no pase por el centro de masa, lo que ocasiona desviaciones laterales y giro de la pelota, reduciendo la altura máxima alcanzada y el tiempo de vuelo. Esta pelota no se queda vibrando como se queda la de plástico duro, lo que se nota como una prolongación en las vibraciones causadas por el rebote.

Nota: El coeficiente de restitución en el rebote de una pelota se define como el cociente de la velocidad después del rebote entre la velocidad inicial. En ese momento toda la energía es cinética y proporcional al cuadrado de la velocidad. Para calcular el coeficiente de restitución es necesario sacar la raíz cuadrada del cociente de alturas.

VII. EXPERIMENTO PARA LICENCIATURA

Cohete de aire. - Usando una botella desechable de dos litros y 30 cm de tubo PVC de media pulgada para agua, puede ensamblarse un lanzador de un cohete; aprovechando que el tubo ajusta en la botella (insertando 2 cm). El cohete se construye con un acetato o plástico flexible con el área de una hoja tamaño carta, enrollada sobre el tubo de PVC formando un tubo de 28 cm de largo y que puede cerrarse con una tapa de pegamento Pritt. Para que no se desenrolle puede pegarse con cinta canela o gris. Para dispararlo es necesario sentarse, colocar la botella entre las rodillas, sujetarla en posición vertical y cerrar con la máxima rapidez las rodillas para que adquiera una velocidad vertical. El tiempo de vuelo es una medida de la velocidad inicial con que sale despedido el cohete. Es un juguete que suele gustar a los espectadores.

1. ¿Podemos calcular el movimiento del cohete? Masa = 15 gr.
2. ¿Influye la fricción con el aire?
3. ¿Podemos medir con cámara de video de 30 cuadros/segundo.



FIGURA 7. Botella desechable con tubo de PVC y cohete color naranja.

Respuestas:

1. Calcular el movimiento. El modelo más sencillo es tiro parabólico, limitado a la vertical. Esto es despreciando la fricción con el aire, de un objeto largo (0.28 m) y de poca masa (0.015 kg). El siguiente modelo sería meter una fricción con el aire proporcional al cuadrado de la velocidad. Con un tiempo de vuelo de 2.8 segundos, la altura máxima es menor a 9.6 m.
2. ¿Influye la fricción con el aire? Dada la poca masa del cohete podemos esperar que la fricción sea notoria. Para determinar esto es necesario muchos datos de altura contra tiempo. Es posible obtenerlos con una cámara de video, a 30 cuadros/segundo.

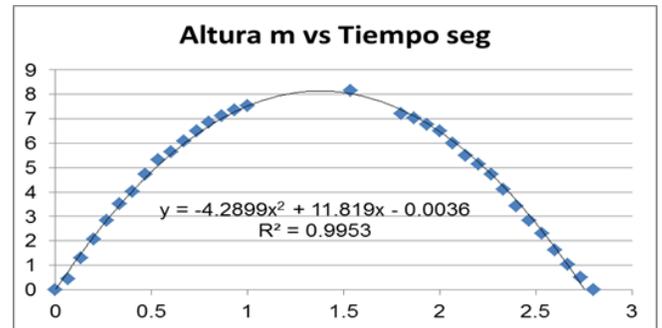


FIGURA 8. Los datos del video se pueden ajustar a una parábola en el tiempo ($x=t$).

De la ecuación en la figura podríamos deducir que en este ejemplo la fricción introdujo una fuerza constante, que redujo la aceleración de la gravedad de 9.78 a 8.58 m/s², valor calculado derivando dos veces la expresión para y . **ESTA INTERPRETACIÓN ES FALSA, LA FRICCIÓN CON EL AIRE NO REDUCE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD.** Los 5 primeros puntos definen una recta con pendiente $m = 11.6$ m/s (velocidad inicial) y los últimos 7 puntos quedan sobre otra recta de pendiente $m = 8.68$ m/s (velocidad final). Este resultado podría interpretarse como que se llegó a velocidad terminal, cuando el peso iguala a la fuerza de fricción. Se puede demostrar que todavía no se llega a velocidad terminal.

La fricción F con el aire se calcula con:

$F = \rho C_d A v^2 / 2 = b v^2$, en donde $\rho = 1$ kg/m³ es la densidad del aire en el Distrito Federal, C_d es el coeficiente aerodinámico que toma en cuenta la forma del objeto (para coche - 0.27 a 0.45), A es el área que presenta al fluido y b es el producto de las constantes. Inicialmente el cohete es impulsado por el exceso de presión P producida por la compresión de la botella, actuando en el área A .

Podemos resolver numéricamente la ecuación de movimiento en el aire, conociendo la velocidad y posición inicial del cohete. Dicha ecuación es: $m(d^2y/dt^2) = PA - b(dy/dt)^2 - mg = ma$ que permite calcular la aceleración a conociendo la velocidad v y la posición y y iniciales, escogiendo un incremento de tiempo Δt se calcula el incremento en velocidad $\Delta v = a \Delta t$, conociendo la velocidad media en el intervalo se calcula la nueva posición; repitiendo el proceso con Excel se obtiene la altura en función del tiempo. Ajustando los parámetros se puede encontrar acuerdo con los datos experimentales.

VIII. CONCLUSIONES

La realización de experimentos y su interpretación ayuda a los estudiantes a razonar, y a los profesores a mejorar sus métodos de enseñanza. El acuerdo entre el modelo teórico y el experimento ayuda a mejorar la creencia en la Física.

REFERENCIAS

- [1] Mendez, D., Slisko, J., *The influence of active physics learning on reasoning skills of prospective elementary teachers: A short initial study with ISLE methodology*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **7**, 3-9 (2013).
- [2] Rueda, G., Pérez, L., González, L., Méndez, A., Miramontes, R., Díaz, E., *Estrategia basada en competencias para la construcción natural del conocimiento en un curso de física experimental*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **7**, 58-62 (2013).
- [3] Abdisa, G., Getinet, T., *The effect of guided discovery on students' Physics achievement*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **6**, 530-537 (2012).
- [4] Riveros, H. G., *Como mejorar la enseñanza de las Ciencias*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **6**, Suppl. I, 497-502 (2012).
- [5] Riveros, H. G., *Pleasure as a Teaching Tool*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **6**, 59-62 (2012).
- [6] Roa, F., González, M. H. y Torres, Y. I., *Leisure as a tool for learning sciences*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **6**, Suppl. I, 256-259 (2012).