

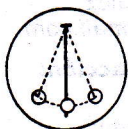
EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN:0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay



**Asociación de
Profesores
de Física**



del Uruguay

Revista EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 8, Nº 5

Setiembre, 2015

EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 8, Nº 5

Setiembre, 2015

Depósito Legal: 299222/15

Redactor Responsable:

Gustavo González
revistaapfu@gmail.com

Consejo de Redacción:

Pablo García
Alejandro Villamil
Ismael Núñez

Colaborador:

Guzmán Trinidad

Educación en Física es una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, que se distribuye gratuitamente entre sus socios.

Comisión Directiva de la APFU:

Eduardo Bonda, *Presidente*
Gustavo González, *Vicepresidente*
Marco Pereira, *Secretario*
Verónica Laluz, *Tesorera*
Lidia Díaz, *Vocal*

Dirección de la Revista:

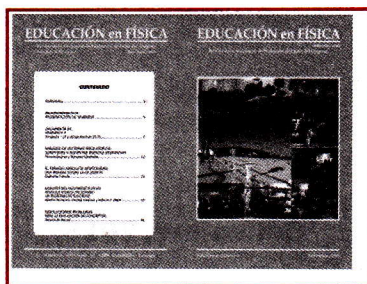
Av. 18 de Julio 1559 - Apto. 401
Montevideo CP 11200
Telefax: (+598) 2400 1258
E-mail: revistaapfu@gmail.com
apfu@adinet.com.uy

Publica:

Ediciones IDEAS | Mercedes 1786
11200 Montevideo-Uruguay
Telefax: (+598) 2408 6985
E-mail: edideas@adinet.com.uy

M.E.C.:

Ed. amparada por Decreto 218/996



Portada

Es un dato histórico que la evolución de la Ciencia ha sido siempre un trabajo en equipo. Como le dijo Newton a Hooke en una carta en 1676: «Si he visto más lejos es porque estoy sentado sobre los hombros de gigantes». Y los gigantes estaban compuestos no solamente por la pléyade de pensadores anteriores a él, sino por sus propios contemporáneos filósofos y científicos. Esto, que es indiscutible para el progreso de la investigación científica, hoy lo es igualmente para la investigación y divulgación de la enseñanza de la Ciencia, en el particular que nos interesa, de la Física. Cada uno de nosotros tiene una experiencia docente, un resultado teórico o experimental que le parece interesante, un método de encarar tal o cual tema (que probó, vió o leyó por ahí), algo que le parece un enfoque erróneo o incompleto, un comentario de acuerdo o desacuerdo con ciertas opiniones o hábitos predominantes sobre la enseñanza de la asignatura, etc, etc. En fin, miles de cosas que a uno le pueden parecer de poca importancia, pero que a otros seguramente les servirán como semillas de ideas, de aportes complementarios, o de desacuerdo y discusión.

Sobre la temática de los artículos, es enormemente variada. No olvidemos que la revista de la APFU tiene tres niveles de difusión: la enseñanza de temas de Física en la Escuela Primaria, en la Secundaria, y en el nivel terciario (Formación Docente y Universidad). Así que hay cintura suficiente como para que se mueva todo el mundo. Además de que, el elaborar algo para publicar es tremendamente agilizadora de la actividad neuronal. Nos saca de la rutina de ir a dar clases todos los días, corregir escritos, tomar exámenes o vivir discutiendo sobre tópicos totalmente ajenos a la ciencia.

En fin, cambiando de tema completamente: ¿cuándo vas a enviarnos algún artículo?

Saludos del Consejo de Redacción

PROCEDIMIENTO DE PRESENTACIÓN DE TRABAJOS

Pueden ser enviadas para su publicación contribuciones de diverso tipo: trabajos teóricos, experimentales, de investigación, tesis, comentarios de libros, trabajos de divulgación, sugerencias de sitios web, comentarios acerca de software, y todo artículo que promueva el conocimiento o la enseñanza de la Física o ciencias afines.

Estos trabajos pueden enviarse impresos, manuscritos o en formato electrónico; por e-mail a:

*apfu@adinet.com.uy o
revistaapfu@gmail.com,*

por fax al (598) 2400 1258 o entregados personalmente en el local de la Asociación (18 de Julio 1559 Ap. 401), días hábiles de 14.00 hs a 19.00 hs) en forma impresa o manuscrita y si es en formato electrónico en CD, DVD, pendrive o tarjetas de memoria, debidamente identificados adjuntando una carta donde se solicita la consideración de dicho trabajo para ser publicado en la Revista.

En general no se aceptarán trabajos que ya hayan sido publicados, o estén en consideración de publicación, por otro medio diferente a esta Revista. El Consejo de redacción podrá autorizar en forma extraordinaria la publicación de trabajos que se encuentren en la condición anterior atendiendo a razones justificadas.

Cuando la APFU recibe un trabajo para su publicación en la Revista asume que:

- a. dicho trabajo puede ser publicado en la Revista o reimpresso, como considere el Consejo de Redacción. Para su publicación en un medio diferente a la Revista,

la APFU requerirá de los autores una autorización por escrito.

- b. es responsabilidad de los autores, no de la APFU, requerir el consentimiento de otras partes para la publicación de dicho material, como ser por ejemplo, imágenes o datos previamente publicados.

El contenido de los trabajos publicados en la Revista es de exclusiva responsabilidad de sus autores, no de la APFU.

Los trabajos serán arbitrados en forma anónima y del informe de este arbitraje se decidirá si dicho trabajo amerita ser publicado en la Revista. Durante el arbitraje se puede requerir de los autores explicar, ampliar o reescribir parte de su trabajo. Si se decide publicar el trabajo, se les comunicará a los autores la aceptación y se les pedirá, si aún no lo han hecho, de enviar el trabajo en formato electrónico y con el estilo fijado por la Revista.

Para su publicación los trabajos deben ser presentados en formato electrónico susceptible de ser editado. Se prefiere que lo hagan en formato .doc ya sea con MS Word, Writer de OpenOffice.org u otro editor de texto que genere archivos .doc. No se aceptan en formato .pdf. Los trabajos deben ser enviados a la Asociación o la Revista en la forma descripta anteriormente.

Estos trabajos deben ser presentados siguiendo ciertas reglas de estilo. Estas reglas, así como una plantilla que sirve de modelo para la presentación de los trabajos, se encuentran en la página web de la APFU:

apfu.uy

DOCUMENTO DE TRABAJO # 4

Piriápolis - 25 y 26 de Abril de 2015

Los profesores de Física nucleados en APFU tenemos una vasta tradición de crítica y evaluación permanente de nuestro papel como educadores. Una vez más, y atentos a la realidad actual, creímos necesario convocar a una nueva instancia colectiva de diagnóstico, discusión y reflexión que nos permitiera generar insumos significativos para la presentación de propuestas y líneas de trabajo con vistas al perfeccionamiento de la enseñanza de la Física en Uruguay. Fue con este espíritu que nos reunimos los días 25 y 26 de Abril en las Jornadas de trabajo #4, luego de las cuales surge este nuevo documento, emanado de un colectivo numeroso y representativo de docentes de distintas edades, subsistemas y lugares del país.

Breve diagnóstico de la situación actual

La Educación es un acto social y por ende político situado en un espacio y en un tiempo concretos. Vivimos en una etapa que algunos caracterizan como «globalización», la cual dicta una ética de la felicidad basada en el consumo, en la inmediatez de lo fácil y del ahora, del menor esfuerzo, del escaso compromiso. Se pierde el tesón y el control de la voluntad que son imprescindibles en los procesos de enseñanza y aprendizaje, generando obstáculos que hacen crisis en todo el mundo. Estas características sociales, que poco alientan un proceso de por sí complejo, se constituyen en un elemento agregado que los educadores deben confrontar como profesionales que son.

En particular, en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física, este nuevo factor agrega tensión y estrés al estudiante que reclama diversión y motivación con poca disciplina de trabajo y al profesor que debe construir conceptos que se representan simbólicamente en lenguaje matemático.

«(...) Es cierto que las materias se les pueden presentar a los alumnos de forma más o menos amena, pero esto es hacerles la disciplina más llevadera, no eximirles de la disciplina. (...) la inteligencia para aprender es muy temprana, pero la madurez necesaria para comprender lo importante que es aprender es muy tardía. (...) Entender la física y las matemáticas de un cierto nivel es cosa apasionante, pero a esto no se puede llegar si antes no se han hecho muchos ejercicios rutinarios (...)»¹

El documento «Informe sobre el estado de la educación en Uruguay 2014» del INEE, en la página 17 de su «Resumen ejecutivo» afirma: «La educación media atraviesa hoy una profunda crisis de identidad y de sentido que

¹ Ricardo Moreno Castillo, «Panfleto antipedagógico», <http://www.cs.upc.edu/~conrado/docencia/panfleto-antipedagogico.pdf> (accesado el 25/04/2015)

es vivida por los alumnos, los docentes y las familias.»² ¿Puede afirmarse que existe una crisis exclusiva del Sistema Educativo o es una crisis social que también se expresa en la Educación?

Es en este marco que toma sentido el intento de vaciar de contenidos a la Educación y sustituirlos por categorías conceptuales de uso ambiguo como las de «habilidades y competencias».

Para la evaluación del Sistema Educativo se utilizan pruebas estandarizadas como las pruebas PISA. La interpretación sesgada de los resultados de la misma se emplea para estigmatizar a la Educación Pública. Creemos que no hay una sola forma de interpretar los resultados: a partir de ellos se deduce también que las diferencias socioeconómicas que existen en la sociedad determinan resultados educativos. Se demuestra entonces que los problemas de la Educación se adscriben en los problemas sociales de carácter general.

Nuestra perspectiva es aportar a una educación que contribuya a la felicidad humana. Para ello son necesarios seres humanos libres y para eso críticos. La libertad y la crítica son construcciones colectivas que se afianzan en el conocimiento. Los Profesores de Física somos parte de un amplio conjunto de trabajadores de la educación que cotidianamente intentamos generar condiciones para que los estudiantes sean capaces de apropiarse de más conocimiento y también lo produzcan. No creemos que nuestro esfuerzo esté condenado al fracaso, aunque se ve fuertemente condicionado por un conjunto de razones, entre ellas:

1. La falsa dicotomía instalada entre «el saber intelectual» y el «saber práctico» obstaculiza la formación politécnica integral de los jóvenes y por tanto el desarrollo de su capacidad crítica.
2. Los discursos que denigran al trabajo docente provenientes de los más diversos ámbitos sociales y políticos contribuyen a la desvalorización social del trabajo educativo.
3. Los planteos pseudopedagógicos de matriz neo conductista en torno a formar a los jóvenes con independencia del traslado de contenidos.
4. La falaz contraposición del carácter propedéutico de la educación con la formación integral del ciudadano.
5. La inclusión excluyente. Por medio de pases sociales, «tolerancias» y adecuaciones curriculares se sabotea la formación de la mayoría como forma de no hacerse responsable (el Estado) de las situaciones complejas en casos particulares.
6. La enorme limitación al trabajo docente que imponen los bajos salarios ya que obligan a la sobrecarga horaria y desestimulan a quienes piensan dedicarse a esta profesión.

En este contexto, los Profesores de Física reivindicamos nuestra labor diaria en el aula como forma de contribuir a revertir esta realidad y ratificamos el compromiso de continuar perfeccionando nuestras prácticas.

² <http://ineed.edu.uy/sites/default/files/Resumen%20ejecutivo%20INEEd%20para%20Web.pdf> (accesado el 25/04/2015)

Entonces, ¿cuál es el principal rol que le atribuimos a la enseñanza de la Física?

Podemos problematizar preguntándonos: ¿formativo y/o informativo?. Proponemos un rol fuertemente formativo, sin poder dejar de lado lo informativo. Reivindicamos y hacemos énfasis en que la Física es una disciplina de carácter experimental, y en función de ello hay que pensar y elaborar respecto a su enseñanza. De esta forma se da real sentido al trabajo en la misma.

Incorporamos en este análisis las razones cognitivas explicitadas en el Documento de trabajo #1:

«La enseñanza de la Física es formadora y estructura el pensamiento, al aplicar un programa de investigación, desarrolla el espíritu crítico y el pensamiento de tal forma que los estudiantes adquieren los elementos fundamentales del razonamiento, para interpretar el lenguaje de los nuevos conocimientos y en ese sentido alfabetiza.

Física es una de las asignaturas que permite la elaboración de un modelo de interpretación y predicción, a partir de base racional en su relación concreta con la realidad. La construcción de modelos físicos permite la presunción de la existencia de otros modelos en otras ramas del conocimiento, con otros parámetros.

La enseñanza de la Física permite, una discusión constante con el estudiante, con respecto a las diferencias entre un lenguaje científico y uno cotidiano.

A través de la enseñanza de Física se pueden plantear problemas, desde muy simples hasta de gran complejidad, con un gran nivel de abstracción hasta problemas de resolución «casi intuitiva», desde problemas altamente cualitativos hasta situaciones cuantitativas, y a su vez, la mezcla de los mismos»³

Situándonos desde este lugar, creemos que los contenidos pueden ser enseñados en todos los niveles, desde Inicial y Primaria, sin descuidar los modelos científicos y atendiendo especialmente al desarrollo cognitivo del individuo. Continuando con esta mirada entendemos que no podemos pensar los cursos de Física compartimentados. Necesitamos una mirada más general y abarcativa, donde la continuidad entre los distintos niveles de formación se torna necesaria. Para el proceso formativo que pretendemos es importante que se considere especialmente la visión de Ciencia, particularmente la de la Física que queremos transmitir con la enseñanza, evitando visiones deformadas (como por ejemplo el de una ciencia acabada) y la naturaleza de la Física a enseñar (atendiendo en esto a la epistemología).

Con todo esto aspiramos a contribuir a la formación de un individuo que, en palabras del Prof. Ismael Núñez (2009)⁴:

³ Documento de trabajo # 1, APFU, Paso Severino (2002).

⁴ Núñez, Ismael. «La educación en ciencias naturales y matemática en la formación ciudadana», (Montevideo, 2009), pág. 8.

- *Es curioso.*
- *Busca explicaciones a los sucesos.*
- *Escucha a los demás y medita sobre lo que dicen.*
- *Es creativo (no necesariamente un artista).*
- *Tiene la capacidad de maravillarse ante cosas simples.*
- *Cree (o sabe) que siempre es posible cambiar (la naturaleza, la sociedad, a sí mismo) para mejorar el mundo que lo rodea.*
- *Toma riesgos.*
- *Es consciente que depende de los demás y que otros dependen de él.*

Para plasmar en su real dimensión el carácter experimental de la enseñanza de la física, creemos imprescindible:

- Ofrecer, desde Formación Docente en su dimensión Extensión, el apoyo para enriquecer a la enseñanza de la Física en los cursos de Inicial-Primaria y Enseñanza Media.
- Brindar instancias de formación de posgrado para fortalecer la enseñanza de la disciplina.
- Contar con laboratorios y equipamiento adecuado.

Teniendo en cuenta los documentos emanados de la APFU en otros encuentros entendemos que sus reflexiones siguen aún vigentes y van en consonancia con una educación liberadora que defendemos. Sabemos que estos documentos han sido de gran importancia para el trabajo de los docentes del país y para los docentes en formación. A lo largo del país se han dado discusiones en cuanto a las estrategias a seguir para concretar esas ideas y llevarlas al aula. Sentimos la necesidad de colectivizarlas para que pasen de ser palabras en un papel a acciones posibles.

A la luz de nuestra experiencia y bajo un análisis de situación entendemos que los programas de los cursos de Física tienen una extensión, en cuanto a contenidos, que excede el tiempo pedagógico disponible para su desarrollo aún cuando se realizan las jerarquizaciones propias de la libertad de cátedra. Tal cual están diseñados conspiran contra nuestras intenciones. Es por ello que sería conveniente fijar criterios para su reelaboración con un enfoque global para cada ciclo. Los contenidos, para un año lectivo, deberían ser ajustados temporalmente con criterio pedagógico para dar lugar al desarrollo de actividades tendientes a promover la creatividad. Queremos hacer énfasis en que esta forma de pensar los programas no atentaría contra la libertad de cátedra ni contra la formación del estudiante, sino que valorizaría el trabajo docente. Además, en el caso que existan instancias de aprendizajes mecanicistas, promueve el cambio a prácticas facilitadoras del desarrollo integral del estudiante.

En la misma línea y considerando el carácter experimental de la asignatura, surge la necesidad de promover el trabajo de laboratorio en Ciclo Básico, y que en cada curso de Física de Bachillerato se tenga la posibilidad de trabajar en subgrupos reducidos con una asignación de por lo menos dos horas semanales.

Creemos que se debe generar una red de intercambio de experiencias de docentes en cuanto a las estrategias que ya sabemos se llevan a cabo en

todo el país. Esta red no solo enriquecería el trabajo docente sino que sería un insumo para la elaboración de los programas.

Las prácticas de laboratorio siempre se llevan a cabo guiadas por criterios pedagógicos particulares acordados por cada colectivo docente. En todos los casos, en un año lectivo, se debería tender a aumentar los grados de autonomía y creatividad de los estudiantes promoviendo la elaboración de informes de los prácticos que podrían culminar con la publicación interna de un artículo de corte científico. En este sentido deberían existir orientaciones para Profesores con el fin de contar con un marco teórico que ayude a implementar tales tareas.

En relación a los proyectos citamos nuestra posición plasmada en el Documento de trabajo #3: *«Proponer proyectos o serie de actividades (...) donde el alumno pueda aplicar los conocimientos adquiridos»*⁵.

En este sentido entendemos que los mismos deben ser una herramienta pedagógica de trabajo donde se desarrollen actividades de investigación o de creación científicas y/o tecnológicas relacionadas con la temática del programa que respondan al interés del estudiante. Estos trabajos contextualizados pueden ser dinamizadores de la tarea docente y deben ser evaluados con una defensa adecuada al nivel del curso.

Para hacer hincapié en lo conceptual y en el trabajo creativo por parte de los estudiantes (concretando así nuestras ideas acerca de los cambios en los cursos) es necesario mejorar nuestras prácticas docentes. Para ello debemos contar con los espacios de tiempo pagos necesarios para el intercambio entre Profesores de un mismo liceo. Reafirmamos la importancia de las salas por asignatura.

Para finalizar manifestamos nuestra intención de continuar profundizando en la reflexión y permanente mejora de nuestra profesión, la enseñanza de la Física, y en particular en la instrumentación de las propuestas arriba mencionadas, en el marco de una Educación que a través de sus contenidos pueda aportar a la construcción de personas libres y críticas.

Al mismo tiempo esperamos que la socialización de este documento sirva para promover nuevas interrogantes, reflexiones, aportes, críticas, tanto en otros colectivos docentes como a nivel de los más diversos actores vinculados a la enseñanza, con el fin último y noble de intentar mejorarla siempre.

⁵ Documento de trabajo #3, APFU, Punta Ballena, (2005).

ANÁLISIS DE SISTEMAS OSCILATORIOS SOMETIDOS A DISTINTAS FUERZAS DISIPATIVAS

Álvaro Suárez¹ - Marcelo Vachetta²

¹ Profesor de Física en el liceo N° 36 y en el IFD de 33, Docente de Laboratorio en el IPA; alsua@outlook.com

² Profesor de Física en el liceo N° 26, Docente de Laboratorio en el IPA; mvachetta@gmail.com

Resumen

En este artículo se analiza teóricamente las oscilaciones amortiguadas con una fuerza de rozamiento constante y con una fuerza disipativa asociada a una fuerza magnética. Se presentan dos métodos experimentales simples, plausibles de ser aplicados en enseñanza media y terciaria, para estudiar las oscilaciones mencionadas, obteniéndose resultados acordes a los esperados.

Palabras clave

Oscilaciones amortiguadas, fuerza de rozamiento, fuerza magnética, análisis de video.

A. Introducción

En muchos fenómenos físicos aparecen sistemas oscilatorios. Cuando se analizan las oscilaciones el movimiento más sencillo con el cual se comienza el tema es el armónico simple. En este tipo de movimiento se desprecia cualquier fuente de disipación de energía. Al estudiar en forma experimental sistemas oscilatorios, nos encontramos con que, si las fuerzas disipativas son muy pequeñas podemos asumirlas despreciables para ciertos intervalos de tiempo. Tal es el caso del análisis del sistema masa-resorte, que se realiza desde hace varios años en los cursos de Física del CES y CETP para investigar las características de un movimiento armónico simple.

Al estudiar sistemas oscilatorios amortiguados, el caso típico que se modela es el de uno con una fuerza disipativa cuyo módulo es directamente proporcional a la velocidad. La ecuación de movimiento y la ley horaria asociadas son conocidas, ya que se analizan con detalle en los textos de Física General [1,2].

Cuando se quiere examinar en forma experimental un sistema oscilatorio con una fuerza disipativa proporcional a la velocidad, en general resulta harto complejo diseñar un dispositivo mecánico que verifique las características mencionadas. Esto se debe a que el tipo de diseño que en general se utiliza consiste en colocar el sistema oscilatorio en un fluido, radicando

allí el problema. La fuerza que ejerce un fluido sobre un cuerpo en movimiento dentro del mismo, depende en forma compleja de la geometría y la velocidad del cuerpo, así como de las características del fluido [3,4]. Esto genera una dificultad notable para lograr una configuración donde la fuerza viscosa sea proporcional a la velocidad en toda la oscilación.

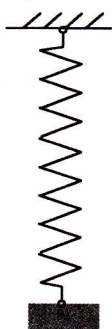
A partir de lo señalado anteriormente, cabe preguntarse por qué razón se estudian en los libros de texto las oscilaciones con fuerzas disipativas proporcionales a la velocidad. Vinculado a lo anterior, resulta extraño que no se analicen las oscilaciones con una fuerza de rozamiento constante, siendo que éste es el primer tipo de fuerza disipativa que se introduce en los cursos de Física. Los dos hechos están estrechamente relacionados. Sólo cuando la fuerza amortiguadora es directamente proporcional a la velocidad, la ecuación diferencial del movimiento tiene una solución simple. Por otro lado (como veremos más adelante), con una fuerza de rozamiento constante, la ecuación diferencial del movimiento cambia de forma en cada medio ciclo de la oscilación, lo que complejiza el análisis del movimiento.

A continuación analizaremos teóricamente las oscilaciones con una fuerza de rozamiento constante y una proporcional a la velocidad, presentando en cada caso un método experimental simple para estudiar la oscilación.

B. Modelo teórico

B1. Oscilaciones con fuerza disipativa proporcional a la velocidad

Consideremos un imán cilíndrico de masa m colgado de un resorte de constante k y longitud natural l_0 , tal como indica la figura 1. Si el imán se separa una distancia x de su posición de equilibrio, despreciando cualquier fuente de disipación de energía, la ecuación de movimiento resulta:



1. Sistema masa-resorte.

$$m\ddot{x} = -kx \quad (1)$$

La ley horaria del imán surge de resolver la ecuación de movimiento. La solución general $x(t)$ está dada por:

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (2)$$

Siendo A la amplitud del movimiento, φ una constante de fase y ω_0 la frecuencia angular de oscilación. Vemos que en las condiciones mencionadas el imán realiza un movimiento armónico simple de frecuencia angular ω_0 , la cual está dada por:

$$\omega_0 = \sqrt{k/m} \quad (3)$$

La velocidad del imán resulta:

$$\dot{x}(t) = v(t) = -\omega_0 A \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (4)$$

A partir de la ecuación de movimiento (1), se puede deducir que la aceleración del movimiento es nula y por ende la velocidad máxima cuando el móvil pasa por $x=0$.

Si en $t=0s$ el imán se encuentra en reposo en la posición $x=A_0$ y se libera de la misma, se puede demostrar que las funciones $x(t)$ y $v(t)$ toman la forma:

$$x(t) = A_0 \cos(\omega_0 t) \quad (5)$$

$$v(t) = -\omega_0 A_0 \text{sen}(\omega_0 t) \quad (6)$$

Si se introduce el imán dentro de un tubo conductor no ferromagnético, al desplazarse dentro del mismo, se generan en el tubo corrientes inducidas. Dichas corrientes generan un campo magnético que ejerce una fuerza magnética sobre el imán, cuyo sentido es contrario a su velocidad, lo cual es coherente con la regla de Lenz y por ende con la conservación de la energía.

Existe una amplia bibliografía donde se discute la naturaleza física de la fuerza magnética sobre el imán, determinándose una expresión para su forma funcional.

Esta fuerza depende del radio, espesor y conductividad del tubo, así como del momento magnético del imán, siendo además directamente proporcional a la velocidad del imán respecto al tubo. [5, 6, 7, 8] Teniendo en cuenta lo anterior, si se separa al imán de la posición de equilibrio, encontrándose el mismo dentro del tubo conductor, la ecuación de movimiento resulta:

$$m\ddot{x} = -kx - b\dot{x} \quad (7)$$

Siendo b una constante que depende de características del tubo conductor y del imán y el término $-b\dot{x}$ la expresión de la fuerza magnética de retardación.

La solución general $x(t)$ para la ecuación (7) depende de la relación entre los coeficientes b , k y m . Cuando b verifica la expresión:

$$b < 2\sqrt{km} \quad (8)$$

se produce una oscilación "subamortiguada" y la ley horaria para el imán resulta [1]:

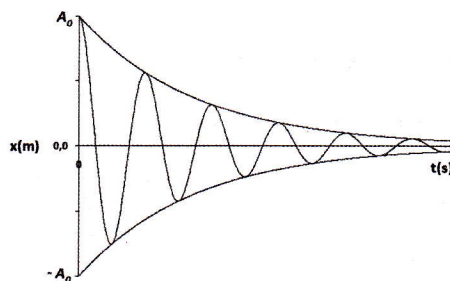
$$x(t) = Ae^{\frac{-b}{2m}t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

Siendo A y φ constantes que dependen de las condiciones iniciales del movimiento y ω la frecuencia angular de la oscilación subamortiguada, la cual está dada por:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{b^2}{4m^2}} \quad (10)$$

Si en $t=0s$, el imán se encuentra en reposo en la posición $x=A_0$ y se libera de la misma, se puede demostrar que la función $x(t)$ toma la forma:

$$x(t) = \frac{A_0}{\cos\varphi} e^{\frac{-b}{2m}t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (11) \quad \text{con } \tan\varphi = -b / 2m\omega$$

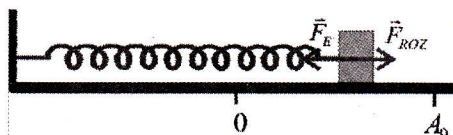


2. Gráfico de $x(t)$ para una oscilación con fuerza disipativa proporcional a la velocidad y la envolvente.

En una oscilación subamortiguada, la amplitud del movimiento disminuye en forma exponencial, acercándose asintóticamente a la posición de equilibrio. Otra característica de este movimiento es que la frecuencia angular de oscilación es menor a la del sistema libre en la forma indicada por la ecuación (10).

B2. Oscilaciones con una fuerza de rozamiento constante

Consideremos un bloque de masa m enganchado a un resorte de constante k , tal como indica la figura 3. Supongamos que cuando el bloque oscila, actúa sobre el mismo una fuerza de rozamiento de módulo constante y de sentido contrario a su velocidad. Sea $x=0$ la posición del extremo del resorte, cuando éste se encuentra en su longitud natural.



3. Bloque desplazándose hacia las x negativas.

Cuando el bloque se desplaza en el sentido de las x negativas, la ecuación de movimiento del mismo está dada por:

$$m\ddot{x} = -kx + F_{roz} \quad (12)$$

Para determinar la ley horaria del bloque debemos resolver la ecuación de movimiento, la cual es una ecuación diferencial de segundo orden, no homogénea de coeficientes constantes.

La solución general $x_1(t)$ de la ecuación diferencial la podemos expresar como la suma de la solución de la ecuación homogénea $x_H(t)$, más una solución particular de la ecuación no homogénea $x_P(t)$, es decir:

$$x_1(t) = x_H(t) + x_P(t) \quad (13)$$

Siendo las respectivas soluciones:

$$x_H = A_1 \cos(\omega_0 t + \phi_1) \quad (14)$$

$$x_P = F_{roz} / k \quad (15)$$

Con $\omega_0 = \sqrt{k/m}$

La solución general resulta:

$$x_1(t) = A_1 \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + F_{roz} / k \quad (16)$$

Estando la velocidad dada por:

$$v_1(t) = -\omega_0 A_1 \sin(\omega_0 t + \varphi_1) \quad (17)$$

Para determinar completamente la ley horaria debemos hallar las constantes A_1 y ω_1 a partir de las condiciones iniciales del problema. Supongamos para simplificar el análisis que en $t=0s$ el bloque se encuentra en reposo en la posición $x=A_0$ y se libera de la misma, por lo tanto:

$$x_1(0) = A_0 = A_1 \cos(\varphi_1) + F_{roz} / k \quad (18)$$

$$v_1(0) = 0 = -\omega_0 A_1 \sin(\varphi_1) \quad (19)$$

De las ecuaciones anteriores deducimos que:

$$A_1 = A_0 - F_{roz} / k \quad (20)$$

$$\varphi_1 = 0 \quad (21)$$

De esta manera la ley horaria y la velocidad en función del tiempo toman la forma:

$$x_1(t) = (A_0 - F_{roz} / k) \cos(\omega_0 t) + F_{roz} / k \quad (22)$$

$$v_1(t) = -\omega_0 (A_0 - F_{roz} / k) \sin(\omega_0 t) \quad (23)$$

De las ecuaciones (22) y (23) podemos deducir algunas de las características de la oscilación con una fuerza de rozamiento constante.

La primera característica sobresaliente del movimiento es que la frecuencia angular de oscilación es igual a la que tendría el oscilador en ausencia de rozamiento. Esto difiere a la oscilación subamortiguada con una fuerza disipativa proporcional a la velocidad, donde la frecuencia angular es menor que la del sistema libre.

En un tiempo $t=\pi/2\omega_0$, la velocidad del bloque es máxima. Al sustituir dicho tiempo en la ley horaria obtenemos:

$$x_1(\pi / 2\omega_0) = (A_0 - F_{roz} / k) \cos[\omega_0(\pi / 2\omega_0)] + F_{roz} / k = F_{roz} / k \quad (24)$$

Vemos que la posición donde la velocidad es máxima no coincide con la posición donde la longitud del resorte es la natural, contrario a como ocurre en la oscilación libre. Esto se debe a que la posición hallada, es aquella para la cual la aceleración del bloque es nula.

Por último observemos que para un tiempo $t=\pi/\omega_0$, la velocidad del bloque es nula y se detiene instantáneamente. La posición donde ocurre esto está dada por:

$$x_1(\pi / \omega_0) = (A_0 - F_{roz} / k) \cos[\omega_0(\pi / \omega_0)] + F_{roz} / k \quad (25)$$

$$x_1(\pi / \omega_0) = (A_0 - F_{roz} / k)(-1) + F_{roz} / k = -A_0 + 2F_{roz} / k \quad (26)$$

Vemos como era de esperarse que la amplitud del movimiento no es constante. En el primer semiciclo la amplitud disminuyó una cantidad $2F_{roz}/k$ por efecto de la fuerza de rozamiento.

Cuando el bloque comienza a desplazarse en el sentido de las x positivas, la fuerza de rozamiento cambia de sentido, estando la ecuación de movimiento dada en el segundo semiciclo por:

$$m\ddot{x} = -kx - F_{roz} \quad (27)$$

Observemos que la ecuación de movimiento cambia de forma al cambiar el sentido del movimiento. La solución de la nueva ecuación de movimiento resulta:

$$x_2(t) = A_2 \cos(\omega_0 t + \varphi_2) - F_{roz} / k \quad (28)$$

Estando la velocidad dada por:

$$v_2(t) = -\omega_0 A_2 \text{sen}(\omega_0 t + \varphi_2) \quad (29)$$

Donde nuevamente la frecuencia angular de oscilación coincide con la de la oscilación libre.

Vemos entonces que la ecuación (22) solo es válida para determinar la posición del bloque en función del tiempo en el primer semiciclo del movimiento.

Cada intervalos de tiempo $\Delta t = \pi / \omega_0$, es decir cada medio ciclo, la ecuación de movimiento y por ende la ley horaria toman formas distintas. Como las funciones $x(t)$ y $v(t)$ tienen que ser continuas, la posición y velocidad final del bloque en un semiciclo, resultan la posición y velocidad inicial para el siguiente, y así sucesivamente. La solución general de la función $x(t)$ se construye entonces a partir de la continuidad de $x(t)$ y $v(t)$. Naturalmente dicha solución debe ser una función del enésimo semiciclo de oscilación. [9]

Siguiendo el razonamiento mencionado, determinaremos las constantes A_2 y φ_2 a partir de la posición del bloque en $t = \pi / \omega_0$. [10] En dicho tiempo la posición y la velocidad del bloque están dadas por:

$$x_2(\pi / \omega_0) = -A_0 + 2F_{roz} / k \quad (30)$$

$$v_2(\pi / \omega_0) = 0 \quad (31)$$

Sustituyendo dichas condiciones en las ecuaciones (28) y (29):

$$x_2(\pi / \omega_0) = -A_0 + 2F_{roz} / k = A_2 \cos[\omega_0(\pi / \omega_0) + \varphi_2] - F_{roz} / k \quad (32)$$

$$v_2(\pi / \omega_0) = 0 = -\omega_0 A_2 \text{sen}[\omega_0(\pi / \omega_0) + \varphi_2] \quad (33)$$

De las ecuaciones anteriores deducimos que:

$$A_2 = A_0 - 3F_{roz} / k \quad (34)$$

$$\varphi_2 = 0 \quad (35)$$

De esta manera la ley horaria y la velocidad en función del tiempo para el segundo semiciclo toman la forma:

$$x_2(t) = (A_0 - 3F_{roz} / k) \cos(\omega_0 t) - F_{roz} / k \quad (36)$$

$$v_2(t) = -\omega(A_0 - 3F_{roz} / k) \sin(\omega t) \quad (37)$$

En el tiempo $t=3\pi/2\omega_0$ la velocidad del bloque vuelve a ser máxima, lo cual se da en la posición:

$$x_2(t) = -F_{roz} / k \quad (38)$$

Cuando $t=2\pi/\omega_0$ (que corresponde a un ciclo de la oscilación) el bloque se detiene instantáneamente e invierte el sentido del movimiento. Esto se da en la posición:

$$x_2(t) = A_0 - 4F_{roz} / k \quad (39)$$

Observemos que en un ciclo, la amplitud del movimiento se redujo en una cantidad $4F_{roz}/k$.

Siguiendo un procedimiento análogo al realizado para los primeros dos semiciclos, se encuentra que la ley horaria para los próximos dos semiciclos resulta:

$$x_3(t) = (A_0 - 5F_{roz} / k) \cos(\omega_0 t) + F_{roz} / k \quad (40)$$

$$x_4(t) = (A_0 - 7F_{roz} / k) \cos(\omega_0 t) - F_{roz} / k \quad (41)$$

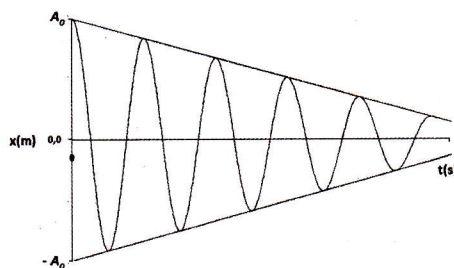
De esta manera vemos que para el n -ésimo semiciclo la posición del bloque en función del tiempo está dada por:

$$x_n(t) = [A_0 - (2n-1)F_{roz} / k] \cos(\omega_0 t) - (F_{roz} / k)(-1)^n \quad (42)$$

Siendo n el n -ésimo semiciclo.

En cada semiciclo la amplitud del movimiento se reduce en una cantidad $2F_{roz}/k$. Si graficamos la familia de funciones dadas por la ecuación (42) desde $n=1$ hasta $n=5$ en un mismo par de ejes, obtenemos el gráfico de la figura 4, donde la posición en función del tiempo está contenida entre dos envolventes rectas de pendientes [10]:

$$\pm \frac{4F_{roz}\omega_0}{k2\pi} \quad (43)$$



4. Gráfico de la posición en función del tiempo para una oscilación con una fuerza de roce constante y la envolvente.

A diferencia de la oscilación subamortiguada que tiende asintóticamente a la posición de equilibrio, en la oscilación con una fuerza de rozamiento constante, cuando el bloque se detiene en una posición en la cual $x = F_{\text{estática}}/k$, siendo $F_{\text{estática}}$ la fuerza de rozamiento estática, la oscilación finaliza.

Como la ecuación de movimiento cambia de forma en cada semiciclo, teniendo en cuenta que la fuerza de rozamiento tiene sentido contrario a la velocidad del cuerpo, se puede expresar la ecuación de movimiento en forma genérica tomando la forma:

$$m\ddot{x} = -kx - \frac{\vec{v}}{v} F_{\text{roz}} \quad (44)$$

Resultando la aceleración:

$$\ddot{x} = -\omega_0^2 x - \frac{\vec{v}}{v} \frac{F_{\text{roz}}}{m} \quad (45)$$

Con $\omega_0^2 = k/m$

Si la masa del resorte no es despreciable, se le debe hacer una corrección a la expresión de ω_0^2 , estando la misma dada por [11]:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m + M/3} \quad (46)$$

Siendo M la masa del resorte.

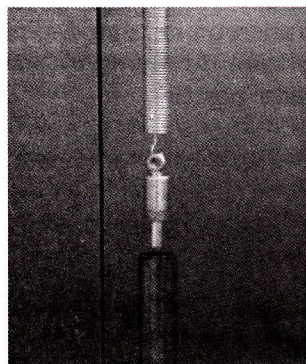
La ecuación diferencial del movimiento (45) no tiene solución analítica, por lo que solo puede resolverse en forma numérica.

C. Método experimental

C1. Oscilaciones con fuerza disipativa proporcional a la velocidad

Con el fin de estudiar un sistema oscilatorio con una fuerza disipativa proporcional a la velocidad, se colgó de un resorte una pesa de un material no ferromagnético. En el extremo inferior de la pesa se pegó un imán cilíndrico de neodimio. Posteriormente se colgó el resorte de un soporte, para que quedara el sistema en posición vertical. A continuación se puso en posición vertical un tubo de bronce de forma tal que la pesa quedara dentro del mismo.

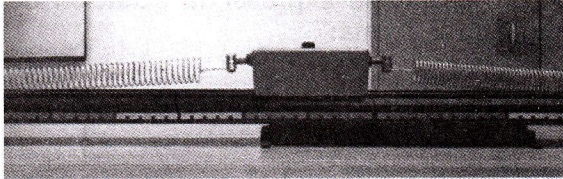
Para encontrar en forma experimental la posición de la pesa en función del tiempo, se registro la oscilación con una cámara de video que toma 60 cuadros por segundo. La filmación obtenida fue analizada con el programa Tracker.



5. Dispositivo experimental para estudiar las oscilaciones con una fuerza disipativa proporcional a la velocidad.

C2. Oscilaciones con una fuerza de rozamiento constante

Con el propósito de obtener un sistema oscilatorio sobre el cual actuó una fuerza de rozamiento constante, se colocó un carrito sobre un riel en un plano horizontal, enganchando cada extremo del carrito a un resorte, tal como se observa en la figura 6. Para registrar la posición del carrito en función del tiempo se filmó la oscilación y fue analizada con el software Tracker.



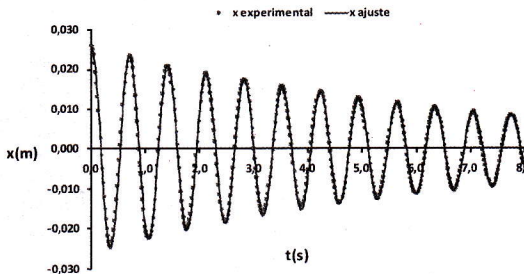
6. Dispositivo experimental para estudiar las oscilaciones con fuerza de roce constante.

Para resolver numéricamente la ecuación de movimiento (ecuación 45), es necesario medir el cociente F_{ROZ}/m , así como la constante elástica de los resortes y la masa del carrito. Con el fin de hallar el cociente F_{ROZ}/m , se retiraron los resortes del carrito y se lanzó el mismo con cierta velocidad inicial, filmándose su movimiento. Asumiendo que en la situación descrita la única fuerza que actúa sobre el carrito en la dirección del movimiento es la de rozamiento, éste debe realizar un movimiento rectilíneo con aceleración constante. Teniendo esto en cuenta, se ajustaron los datos de la posición del carrito en función del tiempo obtenidos del software Tracker, con un polinomio de segundo grado, obteniéndose a partir del coeficiente del término cuadrático del polinomio la aceleración del carrito y el término F_{ROZ}/m . Las constantes elásticas de los resortes se determinaron a partir de la ley de Hooke. Utilizando los valores de las mismas se determinó la constante elástica eficaz del sistema.

D. Discusión y Resultados experimentales

D1. Oscilaciones de la pesa con un imán en su extremo dentro de un tubo conductor no ferromagnético

Para verificar que la fuerza magnética es proporcional a la velocidad, se graficaron los datos experimentales de la posición de la pesa con el imán en función del tiempo. Dicho gráfico fue ajustado con una función de la forma dada por (9).

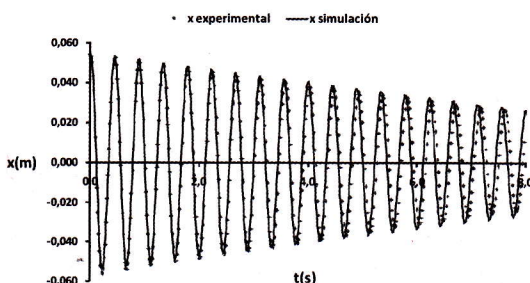


7. Gráfico de posición en función del tiempo para una oscilación amortiguada de un sistema masa-resorte con un imán en su extremo. Los datos experimentales fueron ajustados mediante la ecuación (9).

En la figura 7 puede observarse los resultados obtenidos después de haber sido pasados a la planilla de cálculo de Excel. Al comparar los datos experimentales con el ajuste, queda claro que éste es muy bueno, verificando la hipótesis de que el sistema puede modelarse como una oscilación subamortiguada con una fuerza disipativa proporcional a la velocidad.

D2. Oscilaciones con una fuerza de rozamiento constante

Para analizar las oscilaciones del carrito en el riel, se graficó su posición en función del tiempo con el Excel a partir de los datos obtenidos con el Tracker.



8. Gráfico de posición en función del tiempo para una oscilación amortiguada de un sistema masa-resorte conformado por un carrito sobre un riel enganchado a dos resortes. En línea continua está graficada los datos obtenidos de la resolución numérica de la ecuación (45).

En la figura 8 se observan el gráfico de la posición del carrito en función del tiempo, así como los datos arrojados por la resolución numérica de la ecuación diferencial del movimiento (45). Dicha ecuación fue resuelta con el método de Runge Kutta [12] utilizando la planilla de Excel. El ajuste entre ambas gráficas se puede considerar aceptable, lo que muestra la plausibilidad de la hipótesis de modelar la oscilación del carrito con una fuerza de rozamiento constante.

E. Conclusiones

Se pudo obtener un dispositivo experimental simple que produce oscilaciones subamortiguadas modeladas satisfactoriamente a partir de fuerzas disipativas proporcionales a la velocidad. Este hecho resulta importante ya que en general es difícil obtener de manera mecánica sistemas que verifiquen las características mencionadas.

El origen electromagnético de la fuerza disipativa, así como sus principales características puede ser entendido por alumnos de enseñanza media y terciaria, lo que vuelve a la práctica realizada un instrumento útil para el análisis de oscilaciones amortiguadas.

El estudio de las oscilaciones con una fuerza de rozamiento constante resulta por demás interesante, ya que este tipo de fuerza disipativa es la primera que se estudia en la enseñanza media. Aunque a dicho estudio no se puede incorporar la resolución numérica de la ecuación diferencial, las características esenciales del movimiento pueden ser comprendidas de manera satisfactoria. Por otro lado el sistema mecánico presentado fue

construido con materiales que se encuentran en general en los laboratorios de enseñanza media, con el cual es una actividad fácil de replicar.

F. Referencias

- [1] Tipler, P.; Mosca, G. Física para la ciencia y la tecnología, Volumen 1. 6ta edición, España. Editorial Reverté. 2010. Capítulo 14.
- [2] Sears, F. y Zemansky M. *Física Universitaria*. Volumen 1. 12ª edición, México. Editorial Pearson. Capítulo 13.
- [3] Cengel, Yunus; Cimbala, John, *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones*, 1era edición, México, Editorial Mc Graw Hill, 2006. Capítulo 11.
- [4] Timmerman, P. van der Weele, J. *On the rise and fall of a ball with linear or quadratic drag*. Am. J. Phys. 67 (6) June 1999, pp 538-546.
- [5] MacLachy C. S., Backman P., Bogan L. A quantitative magnetic braking experiment. Am. J. Phys. 61 (12) December 1993, pp. 1096-1101.
- [6] Donoso, G., Ladera, C., Martin, P.; *Magnet fall inside a conductive pipe: motion and the role of the pipe wall thickness*. Eur. J. Phys. 30, 2009, pp. 855-869.
- [7] García, A. F. Movimiento de un imán en un tubo metálico vertical. Disponible en <www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccio/foucault1/foucault1.htm>, acceso el 20/11/2014.
- [8] Levin Y, da Silveira F. L., Rizzato F. B., *Electromagnetic braking: A simple quantitative model*. Am. J. Phys. 74 (9) September 2006, pp. 815-817.
- [9] Marchewka A, Abbott D., Beichner R. Oscillator damped by a constant-magnitude friction force. Am. J. Phys. 72 (4) April 2004, pp. 477-483
- [10] García, A. F. Oscilador amortiguado por una fuerza de módulo constante (I). Disponible en <www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/rozamiento/rozamiento.htm>, acceso el 29/11/2014.
- [11] French. *Vibraciones y Ondas*. Editorial Reverté, España, 1997. Capítulo 3.
- [12] Billo, J. *Excel for Scientists and Engineers: Numerical Methods*. Editorial John Wiley & Sons. Reverté, USA, 2007. Capítulo 11.

EL ESPACIO ABSOLUTO NEWTONIANO: UNA MIRADA DESDE LA FILOSOFÍA

Gabriela Tomás¹

¹ Profesora de Física de la Enseñanza Media y del I.P.A.; Mag. en Didáctica de la Educación Básica egresada de Claeh; gabytomas60@hotmail.com

«La filosofía describe grietas ocultas donde todos ven el sendero yermo, atraviesa las tradiciones y convenciones y rompe las cadenas para ver las cosas mas amplias».

F. Waismann (siglo XX)

Resumen

Este trabajo responde a un interés por profundizar en la comprensión de la Física como disciplina y en los fundamentos que sustentan la génesis de su conocimiento, por la influencia que ambos aspectos tienen en cómo se concibe su enseñanza. Desde esa inquietud, se analiza el estatus ontológico del espacio newtoniano, su naturaleza y atributos, recurriendo para ello a la Filosofía de la Ciencia, incursionando en su interpretación respecto a la concepción de espacio absoluto de Newton.

En la búsqueda por reconocer esta concepción como posibilidad y no con carácter absoluto, se explora en los contraargumentos desarrollados al respecto, por el filósofo alemán Gottfried Leibniz.

Palabras clave

Espacio, movimiento, inercia, relativo, absoluto, sustancialismo, relacionismo.

Introducción

El proceso de indagación que dio lugar a este trabajo se inició con la lectura de una investigación relativa a la enseñanza de la Teoría de la Relatividad Especial a nivel medio, desarrollada por el Dr. Héctor Pérez Celada (2003)². La misma se posiciona en una línea de trabajo sostenida desde diferentes comunidades de didactas de las Ciencias Naturales, al reconocer la necesidad de un análisis epistemológico que otorgue densidad y sostén al conocimiento didáctico específico de la disciplina. Las representaciones que podrían inducirse sobre la Ciencia y la Física en particular, a través de la enseñanza de esta teoría, son aspectos abordados por su trabajo, cuyos resultados pueden corresponderse con los que surgen de la

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Valencia.

investigación desarrollada por la Unidad de Enseñanza de la Facultad de Ingeniería-UdelaR³ (Loureiro, 2011), referida a procesos de enseñanza desarrollados a nivel de las carreras científicas de la UdelaR. Dichos procesos podrían no habilitar el reconocimiento del carácter consensuado y provisorio del conocimiento científico, encontrando ausencias respecto al papel central de los problemas y de la diversidad metodológica en su génesis.

A pesar de no ser posible establecer una correspondencia unívoca entre cómo un profesor concibe la disciplina que enseña y sus modos de enseñar, la influencia de la primera en la segunda resulta significativa. Desde la Didáctica de Física, como campo específico de saber, con una epistemología propia, la construcción de categorías conceptuales en el marco de una teoría se concibe desde una estructura conceptual preexistente. Ese proceso tiene correspondencias con el proceso histórico de dicha teoría, donde las estructuras conceptuales previas juegan su rol. Parafraseando a Pozo y Gómez Crespo (1998), así como Newton expresó haberse *subido a hombros de gigantes* para concebir sus ideas y en alusión a sus predecesores, en un contexto de enseñanza, el rol del profesor es lograr que sus estudiantes puedan subirse a los hombros de esos mismos gigantes, para reconstruir el acervo de la cultura científica.

Desde esta perspectiva, construir la concepción espacio-temporal relativista, requerirá partir de las concepciones de espacio y de tiempo de la mecánica newtoniana. Pérez Celada (2003) señala al respecto, las dificultades que podría presentar partir de un espacio y tiempo newtoniano presentados de un modo inconexo y acrítico. Sus conclusiones orientan a formular secuencias didácticas para la construcción de estas categorías, de modo de promover una evolución conceptual, sostenida desde una reflexión crítica de los conceptos clásicos paralela al estudio de los aspectos relativistas.

Su perspectiva es que los textos de Física no presentan al espacio como categoría de saber. Su mención es indirecta, a través de frases como «la distancia entre dos puntos del *espacio*» en el marco del estudio de los movimientos, pero el espacio no aparece como entidad en sí, con características propias. Pérez Celada (2003) plantea que se pasa de una falta de protagonismo del espacio en la enseñanza de la Mecánica, a hacer referencias a éste en el marco de la enseñanza de la Teoría Electromagnética de Maxwell y su modelo de campo implicado.

La revisión de dos textos de Física dirigidos a estudiantes universitarios, Resnick (1977) y Young-Freedman (2009)⁴, permite reconocer como las referencias al *espacio* en el capítulo que éstos presentan la Teoría de la Relatividad Especial, no difiere de lo ya mencionado. Aparecen expresiones relativas a la «longitud relativa de un objeto», «contracción de la longitud de un objeto en la dirección del movimiento» (en referencia a la comparación de medidas que realizan observadores en movimiento relativo uniforme), centrando entonces la perspectiva en el objeto, su longitud, y no en

³ La investigación involucró a 1197 estudiantes y 80 docentes de las carreras científicas impartidas en las Facultades de Ciencias, Ingeniería y Química de la UdelaR.

⁴ El primero de ellos forma parte de la bibliografía de los cursos de Física Moderna que se dictan en la formación de profesores de Física en nuestro país y constituye una de las fuentes de consulta más arraigada en esta colectividad desde hace décadas.

la métrica del espacio, independientemente del objeto que allí se coloque (Pérez Celada, 2003). Estas expresiones no contribuyen a construir una perspectiva en la que los observadores, a pesar de no coincidir en sus mediciones, se encuentran en pie de igualdad en el sentido de que ninguna medida puede ser considerada como la «real». Se promueve una perspectiva de «modificación» del objeto lo que lleva buscar una explicación a la contracción en el objeto en sí, posible de corresponder con la perspectiva de Poincaré en su intento de explicar el fracaso del experimento de Michelson-Morley. Esta perspectiva es la que subyace en los estudiantes, quienes frecuentemente preguntan sobre cuál observador mide «la verdadera longitud» del objeto.

Estas constataciones constituyen el punto de partida de este trabajo, el cual asume explorar en el concepto de espacio newtoniano, sus atributos y naturaleza para desocultar en un sentido hermenéutico, las preguntas a las que éste responde. Para ello, incursionará en un campo que no le es propio, como lo es el de la Filosofía de la Ciencia, pero cuyo aporte permitirá explorar en el estatus ontológico del espacio newtoniano, considerado éste, como ha expresado la Dra. Nathan Bravo⁵ (1984) como una entidad del mundo y, por tanto, con propiedades y una estructura propia. A su vez, aborda un problema epistémico al pensar en el espacio como categoría de saber⁶ (Zemelman, s.f.) y, como tal, explora en las teorías construidas sobre ésta, en el contexto histórico de Newton, y en particular, en la relación teoría-mundo que se desprende de su teoría.

En un sentido bacheliano, priorizando el lugar de la pregunta, el trabajo intentará responder las siguientes preguntas: ¿Es el espacio newtoniano una entidad que pertenece al mundo?. ¿Qué razones llevaron a Newton a atribuir al espacio un carácter absoluto?. ¿Cómo fundamentó sus ideas?. Dichas preguntas se realizan desde una inquietud por su transposición a un contexto de enseñanza, que trasciende el saber en sí pero, sin embargo, buscar aproximarse a ese saber como puente ineludible a enseñarlo. Ante las ausencias señaladas en los textos de Física, donde el espacio absoluto de Newton ha sido dejado de lado probablemente considerado como una cuestión meramente metafísica de atributo a Dios⁷ (Nathan Bravo, 1984), se recurre a los textos filosóficos para profundizar en éste. A su vez, al pensar la Didáctica como una disciplina teórica, no prescriptiva, el trabajo se desmarca de una inquietud por presentar una posible transposición de las ideas abordadas a un contexto de enseñanza, sino que el énfasis está puesto en enriquecer los saberes necesarios para la misma. Por último, buscando no desmarcarse de la idea de que el mundo físico admite más de un modelo interpretativo, incursionará sin profundizar por razones de extensión, en otra concepción alternativa de espacio, la concepción relacional de Leibniz.

⁵ Dra. en Filosofía Elia Nathan Bravo. Ftad. de Filosofía y Letras. UNAM

⁶ Las categorías a diferencia de los conceptos teóricos no tienen un contenido preciso, no componen un *habeas* teórico, trascienden las teorías.

⁷ Desde el punto de vista físico el concepto operativo para la teoría es el de sistema de referencia inercial y el de espacio absoluto puede prescindirse. Sin embargo desde una perspectiva filosófica si forma parte de la teoría, a pesar de no integrarse a sus principios y conceptos, contribuye al sentido de la misma (Nathan Bravo, 1984).

La concepción de espacio absoluto de Newton

En 1687, Newton publica su obra «Principios Matemáticos de la Filosofía Natural», documento que funda su teoría, conocida hoy como Teoría Mecánica. La misma ha sido objeto de estudio por parte de la Filosofía de la Ciencia, quien ha abordado el problema de la naturaleza, estructura y contenido de esta teoría de carácter empírico. Guerrero (2005) expresa que estos tres aspectos están estrechamente relacionados y, el contenido en particular, es el más complejo de abordar, por tener que ver con la relación teoría-mundo, es decir, sobre qué dice una teoría sobre cómo es el mundo.

En la Mecánica de Newton, los conceptos, como el concepto de espacio que nos ocupa, tienen un significado real más que nominal pues indican algo que tiene existencia más allá de nuestra experiencia e inteligibilidad. Esta ontología del espacio sigue una tradición instalada desde los griegos, concretada en la geometría euclídea y que se prolonga en Newton. En la geometría de Euclides aparece un fuerte vínculo entre la geometría y el espacio físico real, vínculo mediado por la experiencia, lo que lleva a la creencia que esa «geometría es la única posible, es connatural con la manera de percibir de los seres humanos» (Guerrero, 2005:35 cita a Campos, 1994).

Al revisar la obra de Newton puede reconocerse cómo ésta, al igual que la obra de Euclides, sigue un enfoque axiomático⁸, comenzando con ocho definiciones⁹, para luego desarrollar su noción de espacio y tiempo en una breve disertación llamada «Escolio»¹⁰, a la que luego siguen sus tres axiomas o principios del movimiento. La concepción de espacio que allí se presenta es absoluta, en el sentido de presentar un espacio cuya existencia es tan real como la de los cuerpos físicos e independiente de éstos. Su existencia trasciende la información proporcionada por la experiencia sensible, conduciéndonos a un concepto de espacio aparente, relativo pues, el espacio en sí, es inobservable (Guerrero, 2005:38; Guerrero, 2006).

Guerrero (2005:38-39) sintetiza las características del espacio físico absoluto, entretejiendo su propio discurso con expresiones de Newton:

- a) «El espacio absoluto, tomado en su naturaleza, sin relación a nada externo, permanece siempre similar e inmóvil» (Newton, 1687:229). No sufre ningún tipo de modificación, es un agente que actúa por sí mismo pero sobre el cual no se puede actuar.
- b) «Todas las cosas están situadas... en el espacio según el orden de situación» (Newton, 1687:231). En términos ontológicos, el espacio es anterior a los cuerpos: no sólo los contiene a todos, sino que seguiría existiendo aun cuando todos ellos desaparecieran.

⁸ Las teorías físicas clásicas se construyen teniendo como modelo este enfoque sintáctico-axiomático, mientras que a partir de la mecánica cuántica surge el enfoque semántico, aspecto que puede profundizarse en Guerrero (2004).

⁹ Define la masa, cantidad de movimiento, inercia, fuerza, fuerza centrípeta y aspectos vinculados a esta última con la aceleración y la velocidad.

¹⁰ Se llama escolios a las notas o breves comentarios gramaticales, críticos o explicativos, que se insertan en los márgenes de un texto.

c) Es inobservable, «las partes del espacio no pueden verse o distinguirse de otras mediante nuestros sentidos», «es realmente difícilísimo descubrir y distinguir de modo efectivo los movimientos verdaderos y los aparentes de los cuerpos singulares, porque las partes del espacio inmóvil donde se realizan esos movimientos no son observables por los sentidos» (Newton, 1687:234).

El análisis filosófico del término absoluto asociado al espacio, ha señalado que éste no es el único sentido atribuido a él, sino que también, en otras partes de la teoría y a veces, de un modo implícito, se refiere a espacio absoluto como el espacio al cual referir el movimiento absoluto (Nathan Bravo, 1984). A pesar que Newton adhiere a una naturaleza relativa del movimiento, adoptada desde Descartes, pues siempre es en «relación a», distingue entre movimiento absoluto referido a un espacio absoluto, inmóvil e imperceptible, del movimiento relativo referido o en relación a los objetos materiales y accesible a nuestros sentidos. Este espacio absoluto newtoniano es infinito, homogéneo, isótropo, y euclídeo (Pérez Celada, 2003). Esto significa, respectivamente, pensar un espacio sin límites, donde todos los puntos presentan las mismas propiedades geométricas, todas las direcciones son equivalentes y que, por último, sigue una métrica euclídea¹¹.

La homogeneidad o uniformidad del espacio es, según Guerrero (2004), lo que le da identidad a los puntos del espacio, expresión que abre a la reflexión sobre el sentido del término identidad en relación a los puntos del espacio. ¿Identidad de idéntico o de diferenciante?: «la identidad de los uruguayos». Los puntos del espacio son idénticos en el sentido de no lograr diferenciarse por sus propiedades; una *hoja en blanco*, tridimensional e infinita. Esto nos coloca en la interpretación de identidad como idénticos. Pero ese espacio conformado por lugares o puntos idénticos, al permanecer éstos fijos e inmutables en el tiempo, será posible diferenciarlos por su ubicación, lo que abre la interpretación del término identidad en el sentido de diferenciante. Para diferenciarlos es necesario valerse de un sistema de referencia, el cual establecerá coordenadas para cada punto. Los puntos del espacio son posibles de diferenciar por su ubicación. «La persistente identidad de los puntos del espacio a través del tiempo» (Cala, 2006b:27).

Esta caracterización del espacio como inmóvil, Nathan (1984) ha expresado que se funda en la concepción cartesiana de movimiento como *cambio de lugar*. Si el movimiento es cambio de lugar y el espacio es el conjunto de lugares, es absurdo pensar que un lugar cambie de lugar, o se salga del lugar, pues un lugar se individúa o define por la posición u orden que guarda con otros lugares. Esta filósofa mexicana expresa que un lugar no puede cambiar de lugar sin dejar de ser lo que es, señalando a su vez, la problemática de que si los lugares se movieran, el movimiento no quedaría bien

¹¹ Según esta métrica, la menor distancia entre dos puntos es una recta cuya longitud puede determinarse, en base a Pitágoras, como la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuyos lados quedan determinados por la diferencia de coordenada de dichos puntos; esta perspectiva se extiende al espacio, con el agregado de una nueva coordenada. Dicha métrica presenta inconvenientes fuera de espacios donde la línea recta deja de ser la menor distancia entre dos puntos, como por ejemplo la Tierra. Sin embargo, fue una primera gran aproximación en el camino de describir el mundo.

determinado. La distancia entre un punto de partida y un punto de llegada no quedarían bien definidos.

Respecto a la falta de fundamentos por los cuales Newton señaló al espacio como homogéneo, su interpretación es que siguió la geometría euclídea, la cual versa sobre espacios homogéneos.

La perspectiva newtoniana de espacio como realidad ontológica, con existencia propia independientemente de otras entidades, lo desmarca de otras perspectivas que refieren a él como un estado mental o una categoría semántica (Cárdenas y Botero, 2009). Esta concepción presenta influencias de Descartes (Pérez Celada, 2003), quién otorgó identidad al espacio, existencia, desmarcándose de los griegos, para quienes existían los cuerpos, los entes matemáticos o físicos, y su posición o relación entre ellos, pero no la noción de espacio como tal. El universo aristotélico era finito y más allá de éste no había nada, no concibiendo un espacio como recipiente contenedor del universo. Dicho universo presentaba simetría esférica y su centro coincidía con el centro de la Tierra, no presentando entonces homogeneidad e isotropía.

Pérez Celada (2003) señala que con la matematización cartesiana del espacio, éste se convirtió en sujeto del pensamiento físico:

«...[La] Ciencia ha sido capaz de avanzar sin disponer del concepto de espacio como tal: fueron suficientes para sus necesidades las formas corpóreas ideales... Por otra parte, el espacio como conjunto, tal como fuera concebido por Descartes constituía una necesidad absoluta para la física newtoniana» (Pérez Celada, 2003: 52 cita a Einstein, 1986).

Al revisar las diferentes concepciones de espacio sostenidas por Descartes y Newton, Bunge (1983) expresa que las mismas pueden identificarse respectivamente, con el modelo de materia prima y el modelo de recipiente. Este autor además, maneja una taxonomía en la que incorpora otro modelo, el modelo relacional, cuyo principal referente es Leibniz, el cual se revisará más adelante.

El modelo cartesiano crea una visión del mundo como un sistema en el que la materia se identifica con el espacio, y no habrá lugar para el vacío. Descartes encuentra una nueva sustancia junto a la pensante¹², de la cual no puede dudar de su existencia y es la «res extensa», aquello que tiene extensión, que ocupa un espacio, de forma tal que materia y extensión coinciden.

La concepción de Newton, en cambio se identifica con un modelo espacio-recipiente, donde el universo se representa con corpúsculos sólidos, extensos y espacio vacío, apareciendo una tercera entidad, la fuerza, capaz de actuar «a distancia» (Pérez Celada, 2003:53).

El espacio como escenario o recipiente en el cual ocurren los eventos físicos. Su visión le sirve de sustento para concebir una interacción gravitatoria a distancia capaz de actualizarse instantáneamente. Sin em-

¹² Su célebre frase «Pienso, luego existo».

independiente a los objetos, por la importancia que tiene en su mecánica, la noción de reposo, movimiento uniforme y aceleración, estados de movimiento que pueden describirse en relación a un espacio absoluto; el espacio es un marco de referencia absoluto. Sus principios del movimiento no tendrían sentido sin el concepto de espacio absoluto (y de tiempo absoluto).

El espacio que Newton concibe en forma absoluta es el espacio físico, es decir el espacio donde suceden los fenómenos naturales, no el espacio que percibimos mediante nuestros sentidos ni el espacio abstracto de la geometría (Nathan Bravo, 1984).

El concepto newtoniano de espacio absoluto está ligada a la noción de inercia (Cárdenas y Botero, 2009), pues para Newton la inercia se entiende en relación al espacio absoluto. El espacio es la «sustancia» que afecta a los cuerpos provocando en éstos la inercia, no siendo posible la relación inversa. «El espacio es una sustancia que actúa sobre los objetos sin que éstos actúen sobre él, de tal modo que cumplen la ley de la inercia» (Cárdenas y Botero, 2009:52).

Con esta concepción sustancialista¹⁴ del espacio, reconcilia dos posturas aparentemente contradictorias: un espacio absoluto e inmóvil que no se puede experimentar y, por otro, un espacio que puede tener lugares diferentes.

En otras palabras, Newton «afirma la existencia de situaciones físicas ontológicamente diferentes pero físicamente (experimentalmente) indistinguibles. El espacio newtoniano permite este tipo de cosas y, discutiblemente, esto raya en el absurdo metafísico» ...pues, la noción de uniformidad supone la identidad de las partes del espacio (Cárdenas y Botero, 2009:54).

Si fuera posible ser objeto de observación, podría determinarse respecto a éste, si un objeto se mueve con movimiento uniforme o se encuentra en reposo de un modo absoluto. Sólo queda la posibilidad de determinar movimientos en relación a los cambios de distancias entre dos o más objetos, a pesar que esto no permite distinguir el reposo del movimiento uniforme, pues no existen entre ambos diferencias dinámicas. Para justificar su definición de movimiento absoluto, y lograr diferenciarlo del movimiento relativo (Cala, 2006) apela a «propiedades, causas y efectos» del movimiento que podemos percibir, es decir del movimiento relativo, el cual tiene manifestación dinámica en los sistemas no inerciales. En esas «propiedades, causas y efectos» es donde Newton puede reconocerse los fundamentos físicos de su concepción de espacio absoluto. En particular, «Los efectos por los que los movimientos absolutos y los relativos se distinguen mutuamente son las fuerzas de separación del eje de los movimientos circulares»¹⁵. (Newton,

¹⁴ El término sustancialista refiere a concebir el espacio como una entidad con ciertas propiedades, algunas de ellas, compartidas con otra entidad: los objetos materiales, a pesar de reconocer su naturaleza etérea y ser posible de pensarse como vacío. Por ejemplo, propiedades electromagnéticas como su permeabilidad magnética (Nathan Bravo, 1984).

¹⁵ Las causas refieren a «...fuerzas impresas en los cuerpos para producir el movimiento. El movimiento verdadero ni se engendra ni se cambia, a no ser por fuerzas impresas en el mismo cuerpo movido; en cambio, el movimiento relativo puede generarse y cambiarse sin fuerzas impresas en tal cuerpo» (Hawking, 2002:657)

traducción de su texto original en Hawking, 2002:657). En términos modernos, Newton se está refiriendo a las fuerzas inerciales, en particular, a las fuerzas céntricas.

En su Escolio sobre el espacio y el tiempo, donde presenta estos fundamentos, incorpora dos experimentos que involucra movimientos de rotación, para lograr diferenciar el movimiento absoluto del relativo. En ellos jugará un papel trascendental la inercia y sus efectos.

A continuación se presenta el análisis del primero de ellos, el cual involucra un vaso de agua que pende de una cuerda torsionada, la cual al liberarse, transmite progresivamente su rotación al vaso y éste, a su vez, al agua, cuya superficie pasará de observarse plana a ahuecada. De ese proceso, se llega a una configuración donde el agua y el vaso se encuentran en reposo relativo, por lo que el ahuecamiento de la superficie de la primera, no será explicable si se toma como referencia el vaso, su contenedor inmediato. Los efectos dinámicos observados sobre el agua, sólo pueden explicarse describiendo al agua en un movimiento de rotación absoluto, verdadero, referido al espacio absoluto (Cala, 2006). La interpretación que realiza el Dr. Favio Cala¹⁶ (2006) de este experimento, es que Newton no argumentó sobre la existencia del espacio absoluto como interpretó Mach; lo que logra es refutar la idea cartesiana de que el movimiento absoluto y verdadero es el movimiento relativo a los cuerpos contiguos, los que se encuentran en la vecindad inmediata. No pretendía demostrar *per se* la sustancialidad o existencia del espacio absoluto. Demuestra que partiendo de su existencia, es posible distinguir movimientos relativos y absolutos y, desde allí, sentar las bases de su dinámica. El hecho de que su explicación fuera funcional y consistente, fue un problema para los que objetaron su tesis; sus credenciales empíricas le hicieron el camino cuesta arriba a Leibniz, su gran rival, e incluso a Mach pues, Newton y la tradición sustancialista, tiraron con «la pesada loza de la inercia» (Cala, 2006: 154).

En este experimento Newton manifiesta su pensamiento de que la inercia debe entenderse en relación al espacio absoluto, siendo éste el que afecta a los cuerpos y provoca la inercia, lo cual le permite salir de la restricción de relaciones entre partes materiales del sistema, las cuales no logran justificar dinámicamente el ahuecamiento del agua. Para ello, Newton cuenta con las partes del espacio, los puntos del espacio que persisten en el tiempo; su carácter inmutable le permite a Newton ampliar las relaciones entre puntos materiales que coexisten (simultáneos), a relaciones entre puntos espaciales en instantes distintos, aspecto que le permitió construir el concepto de inercia.

Sin embargo, Newton era consciente de la imposibilidad de diferenciar velocidades y posiciones absolutas por efectos dinámicos, pues solo las aceleraciones absolutas generaban efectos dinámicos.

La creencia de que el movimiento absoluto es el movimiento respecto al espacio absoluto, es la principal objeción que realizaron aquellos que sostuvieron una tesis relacionista del espacio, creencia que prevaleció hasta

¹⁶ Doctorado en Filosofía por la Universidad Autónoma de Barcelona, docente e investigador de la Universidad del Valle, Colombia.

los días de Poincaré. Esta creencia llevó a Newton a insistir en el reposo absoluto y la velocidad absoluta (Cala, 2006).

Resulta complementaria a la interpretación ya presentada de este experimento, la que realiza la Dra. Nathan Bravo (1984), la cual tilda al mismo como «solución admirable» para salir de la encrucijada. Su análisis hace referencia a los Principios de Acción y Reacción y de Masa como herramienta para integrar a la interpretación del mismo, sus aspectos cuantitativos.

Al principio, el vaso y el agua se encuentran en reposo relativo. Al comenzar a girar el vaso, comienza a ocurrir una interacción entre las partículas del agua contiguas al vaso y la superficie de éste, pudiendo reconocerse en ella, la fuerza que provoca que el agua comience a adquirir velocidad, acelere. Al adquirir movimiento, la inercia del agua, su tendencia a mantener la dirección de su velocidad, se manifestará en una tendencia a escapar del vaso, lo que lleva a representarnos que éste y el agua han comenzado a interactuar en dirección perpendicular a la superficie del vaso en cada punto.

De esa interacción por contacto posible de interpretar a través del Principio de Acción y Reacción, el agua «recibe» una fuerza centrípeta, la cual de acuerdo al Principio de Masa, es responsable de la aceleración que ésta experimenta y cuya medida permitiría determinar cuantitativamente su velocidad. Cuando la velocidad relativa del vaso y el agua sea cero, el vaso y el agua se encontrarán relativamente en reposo. Según Newton, el movimiento del agua es absoluto en el sentido de real, ya que sólo así puede explicarse el ahuecamiento del agua y la aparición de la fuerza centrífuga (manifestación de la inercia del agua). No puede ser relativo pues, cuando aparece el ahuecamiento, no hay ningún movimiento relativo entre el vaso y el agua. Al necesitar referir el movimiento del agua a algo, por la naturaleza relativa del movimiento, piensa en el movimiento del agua como un movimiento absoluto en un segundo sentido, distinto del primero ya señalado: el agua se mueve en relación al espacio absoluto. Esto último es cuestionable pues, se demuestra que es independiente de los objetos contiguos, pero no de todos los objetos en general (Nathan Bravo, 1984).

Sin embargo, Nathan Bravo expresa que no es absoluto en el sentido que desde todos los sistemas de referencia determinarán cuantitativamente la misma medida de F y calcularán el mismo valor de v . Si el valor de estas magnitudes es relativo al sistema de referencia, el movimiento del agua es relativo. En realidad pensar en la medida de F como única medida presupone que el experimento del agua se está realizando en un sistema de referencia inercial¹⁷ por lo que la medida de la aceleración y la fuerzas constituirán invariantes en relación a otro S.R.I..

La determinación cuantitativa variará si el sistema es acelerado, por lo que el movimiento del agua, no puede ser considerado *absoluto* en sentido radical. Nathan Bravo (1984) expresa que como la validez de la mecánica newtoniana se restringe a los S.R.I., en este marco, movimiento *absoluto* significa «independiente de cualquier S.R.I. pero no independiente de cual-

¹⁷ A partir de aquí la referencia a un sistema de referencia inercial aparecerá abreviado S.R.I.

quier marco de referencia material», en el sentido que éste último, es posible de constituir un referencial no inercial.

Una concepción alternativa: la concepción relacional del espacio

Los argumentos esgrimidos por Newton para defender su concepción de espacio absoluto, colocaron a sus detractores en posición de ofrecer, al menos, una dinámica igual de consistente. El mayor opositor que encontró la dinámica de Newton desde una tesis denominada *relacionista*, fue el filósofo alemán Gottfried Leibniz, cuyos argumentos más conocidos para refutar la sustancialidad del espacio, quedaron documentados en la confrontación por correspondencia epistolar que mantuvo con Samuel Clarke, teólogo filosófico, amigo y discípulo de Newton, quién asumió la tarea por la aversión a las discusiones públicas de este último (Santos y Castaño, sf). De dichas correspondencias, mantenidas entre 1715 y 1716 y publicadas por Clarke en 1717, año posterior a la muerte de Leibniz, se rescata:

1. El espacio no es una entidad física real en toda regla. Para referirnos a él tenemos el conjunto ordenado de relaciones entre objetos materiales coexistentes.
2. Todo movimiento es movimiento relativo entre cuerpos materiales.
3. Sin embargo, existe el movimiento absoluto, pero este no es un movimiento con respecto al espacio absoluto. Es un movimiento cuya causa es intrínseca al propio cuerpo en movimiento (Cala, 2006:158).

De sus expresiones se desprende su visión de un espacio que no tiene existencia ontológica, no existe, al no corresponderse con lo real como los objetos materiales. El espacio es un concepto, una abstracción mental que surge al relacionar objetos que coexisten: «el espacio como una cosa puramente relativa... como un orden de coexistencia». (Guerrero, 2005:40 cita a Leibniz, 1715-1716). Al ser un concepto relacional es relativo, ofreciendo simplemente la posibilidad de un orden en las cosas que existen al mismo tiempo¹⁸. Al percibir las cosas, nos percatamos de ese orden entre ellas. Un concepto que permite establecer, por ejemplo, relaciones de distancias relativas y de ahí de movimientos relativos, pero que toma distancia de los absolutos newtonianos.

En la quinta y última carta de Leibniz a Clarke, éste describe cómo es posible construir el concepto de espacio desde su tesis relacionista:

...varias cosas existen a la vez y encuentran cierto orden de coexistencia ...Este orden es su situación o distancia. Cuando acontece que uno de esos coexistentes cambia en esa relación con respecto a multitud de otros, sin que éstos cambien entre ellos, y que un nuevo cuerpo que llega adquiere la misma relación que el primero había tenido con los otros, se dice que ha

¹⁸ El espacio es un orden de coexistencias y el tiempo es un orden de sucesiones. Ambos son relacionales.

venido a ocupar el lugar del primero y se llama a ese cambio un movimiento que está en aquel en el que está la causa inmediata del cambio (Guerrero, 2005:40-41 cita a Leibniz, 1715-1716:112).

En el debate mantenido respecto al espacio absoluto, la primera objeción que realiza Leibniz es en contra de la uniformidad del espacio absoluto, lo cual implica que sus partes son idénticas. Para ello desarrolla dos principios filosóficos, de los cuales el primero de ellos, el Principio de la Razón Suficiente (PRS), su orientación teológica lo hace más objetable. Según éste, la existencia de Dios no es necesario demostrarse pues éste es la verdad misma, una verdad absoluta. Si fuera una verdad consensuada conduciría a que su existencia es verdadera y falsa a la vez, según la opinión (Levinas, 2008). De los mundos posibles Dios creo éste, por ser el mejor de los mundos posibles. El mundo tal cual existe es una *verdad de hecho*, posible entonces de ser captado, deducido, mediante la experiencia (Levinas¹⁹, 2008) y que respeta el *principio de razón suficiente*. La razón última de su creación está en Dios; es una *verdad de razón*, pues hay una razón que es suficiente para explicar porqué el mundo es tal cual es, una verdad absoluta y atemporal diferente de la verdad de hecho, inaccesible al entendimiento humano pues «la verdad del hombre es una ficción mudable» (Levinas, 2008:18 cita a Andrea Costa).

Esto no significa que no exista suficiente razón para pensar en la posibilidad de otros mundos. El hecho de no encontrar razones para que Dios creara mundos diferentes indistinguibles lo lleva a establecer su segundo principio, denominado Principio de Identidad de los Indiscernibles (PII), el cual opera como prevención a posibles desaciertos metafísicos en las teorías físicas (Cala, 2006). Con ambos principios cuestiona la uniformidad del espacio newtoniano pues, no habría forma de distinguir entre partes aparentemente diferentes. «Si Dios no tiene razón alguna para crear mundos distintos e indistinguibles, entonces no debemos esperar encontrar en la naturaleza lugares idénticos» (Cárdenas y Botero, 2009:57). Desde su punto de vista, la identidad de los puntos de un espacio invisible no tiene sentido pues no hay manera de diferenciarlos. Si el espacio fuera una sustancia, pensar en uniformidad y estar compuesto de partes, sería un contrasentido.

La identidad de indiscernibles señala que si no es posible demostrar que dos entidades son diversas entonces son una y la misma cosa. Si dos objetos comparten todas sus propiedades, son idénticos, o son el mismo objeto.

Leibniz propone reflexionar sobre la posibilidad de dos universos distintos pero cuya única diferencia perceptible es que están ubicados en posiciones diferentes. Desde su PRS es un contrasentido pues esos universos podrían hallarse en cualquier otro lugar, pues el espacio absoluto es uniforme y sus puntos son idénticos. También lo es, desde su PII pues, existirían dos universos perceptibles pero indiscernibles.

Desde la concepción de espacio y tiempo absoluto, sin embargo, Newton hace posible la inercia, es decir, que los cuerpos estén en reposo o en movimiento uniforme (Cárdenas y Botero, 2009). El hecho de no producir

¹⁹ Comp. Marcelo Leonardo Levinas, Graduado en Filosofía (UBA) y Doctor en Física (UBA).

efectos observables estos dos estados cinemáticos, indiscernibilidad empírica, genera el problema de ser ontológicamente distintos pero indistinguibles. Esto constituye una debilidad de la cinemática newtoniana. Sin embargo, desde el punto de vista dinámico ocurre lo contrario, es Leibniz quien no logró ofrecer un concepto de inercia relacionista. En el experimento del vaso de agua en rotación se pueden observar efectos inerciales en ésta, derivados de su movimiento de rotación, sin que se produzcan «las correspondientes variaciones espaciotemporales entre las partes materiales esperadas por el relacionista» (Cala, 2006:161), en lo que refiere al agua y su contenedor inmediato, el vaso.

Las objeciones de Leibniz, incontrovertibles a nivel cinemático (Cala, 2006), en referencia a la naturaleza del movimiento y su relación con las estructuras espaciotemporales, son compensados por la contundencia de la dinámica newtoniana referida a los efectos de la inercia en los sistemas no inerciales. Esto se puede reconocer en el contraargumento de Clarke:

[...] Dos lugares, aunque exactamente iguales, no son el mismo lugar. El movimiento o el reposo del universo no son el mismo estado, igual que el movimiento o el reposo de un barco no son el mismo estado por el hecho de que un hombre encerrado en la cabina no pueda percibir si el barco navega o no, mientras se mueva uniformemente. El movimiento del barco, aunque el hombre no lo perciba, es un estado realmente distinto y tiene unos efectos realmente distintos, y un parón repentino daría lugar a distintos efectos reales, y del mismo modo ocurriría con movimiento imperceptible del universo. Nunca se ha respondido a este argumento (Cárdenas y Botero, 2009:58 cita a transcripción de Rada, 1980).

Los cuestionamientos desde el PII dieron lugar a una alternativa filosófica de sustancialismo sofisticado, denominada neo-newtoniana. Cala (2006b) expresa que según esta perspectiva, existe el espacio, el movimiento absoluto, las aceleraciones absolutas pero no el reposo y la velocidad absoluta para escapar de las objeciones cinemáticas relacionistas. Rechazando al igual que el relacionismo leibniziano la identidad de los puntos del espacio, concibe una estructura espaciotemporal que existe y que permite definir el movimiento absoluto sin referencia a objeto material alguno o al espacio absoluto. El movimiento absoluto se define con respecto a la familia de sistemas inerciales, pasibles de transformaciones galileanas, sin controversias ontológicas, pues existe un único mundo solo que éste admite distintas representaciones (Cala 2006b). Esas representaciones son las que surgen del paso de un sistema inercial a otro. Esto planteó nuevas controversias a la tesis relacionista la cual, sin embargo, constituyó una línea de trabajo que continuaron personalidades como Mach y Einstein, enriqueciéndola y transformándola.

Reflexión final

A través de la controversia revisada respecto al espacio, analizada desde una perspectiva filosófica, puede reconocerse cómo el término *espacio*, puede tener significados diferentes y podría, eventualmente, no referir a

ninguna entidad del mundo. Mientras que para Newton hablar del espacio es hablar de algo que existe en el mundo, para Leibniz es posible hablar significativamente del espacio como una categoría abstracta sin pensar en su existencia como tal.

Para pensar en la posibilidad de una transposición de estas ideas a un contexto de enseñanza, como cierre de la indagación realizada, se amplió la revisión de los textos de física a las referencias de éstos al espacio en el contexto de la presentación del Principio de Inercia y Principio de Masa newtoniano. El texto que se eligió forma parte de la bibliografía recomendada para los estudiantes, en el curso de segundo año de Física de los bachilleratos científicos²⁰. En él pudo observarse una referencia fugaz al espacio, sin una intención de que los estudiantes construyan una representación del mismo, apelando para ello, a la experiencia de los planos inclinados de Galileo. No aparecen referencias respecto a la imposibilidad de diferenciar el reposo del movimiento uniforme como tampoco referencias a los sistemas inerciales. La forma como se enuncia la ley de inercia podría habilitar pensar en la posibilidad de distinguir estos dos estados cinemáticos, pues el enunciado pone énfasis en la posibilidad de preservación de uno y a continuación del otro» ...un cuerpo en reposo permanece en reposo, y un cuerpo en movimiento permanece en movimiento con una velocidad constante» (Wilson, 1996:104). En el texto original, en cambio, Newton la expresión hace énfasis en la preservación «Todo cuerpo preserva en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a ...» (traducción del texto original en Hawking, 2002:659) y viene precedido de un desarrollo argumental que permite reconocer la indiscernibilidad empírica ya mencionada.

El carácter relativo del movimiento referido a cambios de posición no se incorpora al análisis. La presentación de la segunda ley prioriza presentar relaciones cuantitativas de proporcionalidad entre aceleración, fuerza, y masa. No se abre la posibilidad de reconocer los efectos de la inercia en los sistemas no inerciales y desde allí reconocer la concepción newtoniana de espacio y movimiento absoluto. La presentación que hace el texto recuerda las expresiones de Arons (1970, cita de Pérez Celada, 2003:43) «No hemos hecho intentos para presentar espacio y tiempo como entidades. Hemos especificado cómo mediríamos intervalos espaciales y temporales por medio de la comparación de ellos con normas arbitrarias tales como metros o segundos, pero esto es muy diferente a formular aseveraciones acerca de lo que el espacio es y lo que el tiempo es».

El recorrido realizado abre la posibilidad de pensar estos aspectos para la enseñanza de la disciplina, rescatando la Filosofía como una nutriente del conocimiento didáctico.

Bibliografía

- BUNGE, M. (1983). Controversias en Física. Tecnos: Madrid. [53].
- CALA VITER, F. (2006a) La identidad de las partes del espacio y el problema de la inercia. Praxis Filosófica Nueva serie, No. 22, Ene. - Jun. 2006:

²⁰ WILSON, (1996) Física. Editorial Prentice Hall.

153-169 Consultado en http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-46882006000100005&script=sci_arttext

CALA VITERI, F. (2006b) De la Relatividad de la Inercia a la Geometrodinámica Intrínseca: Una interpretación relacional del Espacio-Tiempo. Tesis Doctoral del Dr. Favio Ernesto Cala Viteri. Consultado en http://praxis.univalle.edu.co/numeros/n22/favio_ernesto_cala.pdf

CÁRDENAS, L.; BOTERO, C. (2009) Leibniz, Mach y Einstein: tres objeciones al espacio absoluto. *Discusiones Filosóficas*. Año 10 Nº 15, julio – diciembre, 2009. pp. 51–68. Consultado <http://www.scielo.org.co/pdf/difil/v10n15/v10n15a03.pdf>

DE RONDE, C.; FLEISNER, A. (2012) Sobre teorías cerradas y paradigmas: un diálogo entre Werner Heisenberg y Thomas Kuhn. Disponible en http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=38053&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=1605923

GUERRERO, G. (2004) «Individuación de las teorías en el enfoque semántico», en J. Poulain y W. González (ed.), *Transformaciones contemporáneas de la filosofía*, Universidad del Valle y Universidad de París VIII, Cali, 2004

GUERRERO, G. (2005) Teoría kantiana del espacio, geometría y experiencia. *Revista Praxis Filosófica*. Nueva serie, No.20, Ene-Jun.2005:31-68. Disponible en http://praxis.univalle.edu.co/numeros/n20/german_guerrero_pino.pdf

HAWKING, S. (2002) *A hombros de gigantes*. Barcelona: Editorial Crítica.

KUHN, T. (1993) *La tensión esencial*. México: Fondo de Cultura Económica. 2da. Reimpresión en español.

LEVINAS, Marcelo Leonardo ; Comp. (2008) *La naturaleza del tiempo*. Bs.As.: Editorial Biblos. Intertextos.

LOUREIRO, S. (2011) *Análisis de las concepciones de ciencia que subyacen a los procesos educativos en el área científico-tecnológica*. Tesis de Maestría. Facultad de Química. Udelar. Disponible en www.fing.edu.uy/uni_ens/TesisMaestria_SL.pdf

NATHAN BRAVO, E. (1984) Notas sobre el Concepto de Espacio Absoluto: Newton y Einstein. *Revista Elementos*. No.1.Vol.1. Oct-Dic.1984, pp.17-30. Disponible en www.elementos.buap.mx/num01/pdf/16.pdf

PÉREZ CELADA, H (2003) *La Teoría de la Relatividad y su Didáctica en el Bachillerato: análisis de su dificultades y una propuesta de tratamiento*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Servei de Publicacions. Consultado en <http://www.fisica-basica.net/recerca-didactica/TesiDoctoralHectorPerezRelativitat.pdf>

POZO, J. y GÓMEZ CRESPO, M. (1998) *Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Cap. VIII: Enfoques para la enseñanza de las ciencias. Madrid: Ed. Morata.

SANTOS, R., CASTAÑO, M. () *La polémica Leibniz-Clarke*. Seminario Orotava de Historia de la Ciencia. Disponible en http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/fundoro/archivos%20adjuntos/publicaciones/actas/act2_pdf_web/a2_c022w.pdf

RESNICK, Robert (1977) Introducción a la TRE. México: Editorial LIMUSA

WILSON, Jerry, BUFFA, Anthony (1996) Física. México: Editorial Prentice Hall. 2da. Edición.

YOUNG-FREEDMAN (2009) Física Universitaria con Física Moderna.Vol. 2 México: Pearson Educación.

ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE UN PÉNDULO FÍSICO UTILIZANDO UN TELÉFONO INTELIGENTE

Martín Monteiro¹ - Cecilia Cabeza² - Arturo C. Martí³

¹ Universidad ORT Uruguay; fisica.martin@gmail.com

^{2,3} Instituto de Física, Facultad de Ciencias Universidad de la República,
Uruguay; marti@fisica.edu.uy

Resumen

Un sistema físico paradigmático como es el péndulo físico se estudia usando los sensores de aceleración y rotación disponibles en los teléfonos inteligentes (*smart-phones*) y en otros dispositivos como *Ipads*, o *tablets*. En nuestra experiencia un teléfono inteligente se fija en la parte exterior de una rueda de bicicleta y se pone en movimiento tanto en régimen de rotación (dando vueltas completas en una dirección) como de oscilación ya sea de pequeños o de grandes ángulos. Gracias a los sensores se obtienen medidas de aceleración y velocidad angular según diferentes ejes solidarios con el teléfono. El uso simultáneo de estos sensores permite además obtener trayectorias en el espacio de fases y visualizar las diferentes características del movimiento. Esta metodología puede ser extendida a diversas experiencias: péndulo simple, péndulo elástico, oscilaciones acopladas, trompo o giróscopo. El uso de dispositivos habituales para los estudiantes secundarios, como son los teléfonos inteligentes, contribuye a reducir la brecha en la Ciencia como práctica inaccesible que se desarrolla en ámbitos especiales y la experiencia cotidiana.

Palabras clave

Péndulo físico, oscilaciones, rotaciones, sensores.

A. Introducción

El empleo de teléfonos inteligentes y otros dispositivos similares se ha extendido vertiginosamente en los últimos años en todo el mundo. Esta evolución impactó también en los laboratorios donde diversas experiencias se ven facilitadas por el uso de los sensores con que habitualmente cuentan estos dispositivos. Recientemente, en varios artículos [1-8], el empleo de teléfonos inteligentes ha sido propuesto en varias experiencias que abarcan temáticas de mecánica, electromagnetismo, óptica, oscilaciones y ondas entre otras.

A pesar que la mayoría de los trabajos citados anteriormente se centran en experiencias de mecánica, un aspecto que ha recibido menos atención es el uso de los sensores de rotación o giroscopios. En efecto, el uso de estos

sensores permite obtener las diferentes componentes de la velocidad angular según los diferentes ejes solidarios con el dispositivo. En un trabajo muy reciente [9], se estudia el momento angular de una pequeña mesa giratoria rotando en un plano horizontal. En el transcurso de la experiencia reportada, se colocan repentinamente masas a diferentes distancias del centro de rotación y se consideran las variaciones en el momento angular y en la energía cinética.

Un paso adelante en el aprovechamiento de estos dispositivos se presenta con la posibilidad de usar simultáneamente los sensores de aceleración y rotación midiendo dos coordenadas generalizadas independientes como proponen los autores de este trabajo en la referencia [10]. Esta medida simultánea, permite, en el caso relativamente más sencillo de sistemas con un grado de libertad, la obtención de dos coordenadas independientes y de esta forma obtener trayectorias en el espacio de fases. El espacio de fases es un concepto central en los cursos de mecánica clásica [11] y la posibilidad de *explorar* el mismo contribuye a la comprensión de un concepto abstracto.

B. El péndulo físico

El estado de un sistema mecánico se puede representar por un punto único en el denominado espacio de fases [11]. Este espacio está constituido por todos los posibles valores de las coordenadas generalizadas y de sus variables conjugadas (o momentos generalizados). Por ejemplo, para una coordenada lineal el momento conjugado es la cantidad de movimiento lineal en la misma dirección, o en el caso de una coordenada angular el momento generalizado es el momento angular correspondiente.

Habitualmente en los problemas físicos, si bien hay elecciones más acertadas que otras, las coordenadas generalizadas pueden ser escogidas de diversas formas. En los cursos avanzados de mecánica se demuestra que es posible, en principio, aplicar un conjunto de cambios de variables muy generales denominados *transformaciones canónicas*. *Bajo estas transformaciones se puede incluso cambiar las coordenadas en momentos conjugados y viceversa.*

Recordemos que un péndulo físico se define como un cuerpo rígido que oscila en un plano alrededor de un eje horizontal bajo el efecto de la fuerza de la gravedad. Es un sistema con solamente 1 grado de libertad pues la ubicación del péndulo queda determinada por el ángulo de giro θ , variable que normalmente se toma como coordenada generalizada. Para determinar el estado dinámico precisamos conocer además del ángulo θ la variable conjugada, en este caso es el momento angular $I\omega$ donde I es el momento de inercia.

Para resolver el problema, es decir determinar la evolución temporal de las variables $\theta(t)$ y $\omega(t)$ se puede resolver la ecuación diferencial ordinaria obtenida a partir de la Segunda Ley de Newton. Alternativamente, resulta más cómodo emplear la conservación de la energía

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 + mgR(1 - \cos(\theta))$$

donde m es la masa y R es la distancia del centro de masas al centro de giro. En el caso en que el péndulo oscila con pequeñas amplitudes el segundo término del miembro derecho de la ecuación puede ser aproximado como $\cos(\theta) \simeq 1 - \frac{\theta^2}{2}$, y la energía resulta

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 + mgR \frac{\theta^2}{2}$$

A partir de la ecuación de movimiento: $-R m g \sin \theta = I \omega$ y la aproximación de ángulos pequeños, $\sin(\theta) \approx \theta$ obtenemos

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} \frac{I^2}{mgR} \omega^2$$

Esta relación indica que las trayectorias en el espacio de fases están dadas por elipses en ω y en la aceleración tangencial a_t (proporcional a ω).

C. Montaje experimental

El sistema experimental elegido consiste en un teléfono inteligente montado en una rueda de bicicleta que puede girar libremente en un plano vertical como muestra la figura 1. En nuestra experiencia usamos un LG optimus P990 2X (Sensores: 3-axis acelerómetro KXTF9 Kionix, precisión 0.001 m/s², 3-axis giroscopio MPU3050 Invensense, precisión 0.0001 rad/s) que funciona bajo el sistema operativo Android. Como aplicación para registrar los valores medidos por los sensores se escogió Androsensor [12], otras posibilidades disponibles son Sensor Kinetics, Z-Device Test.

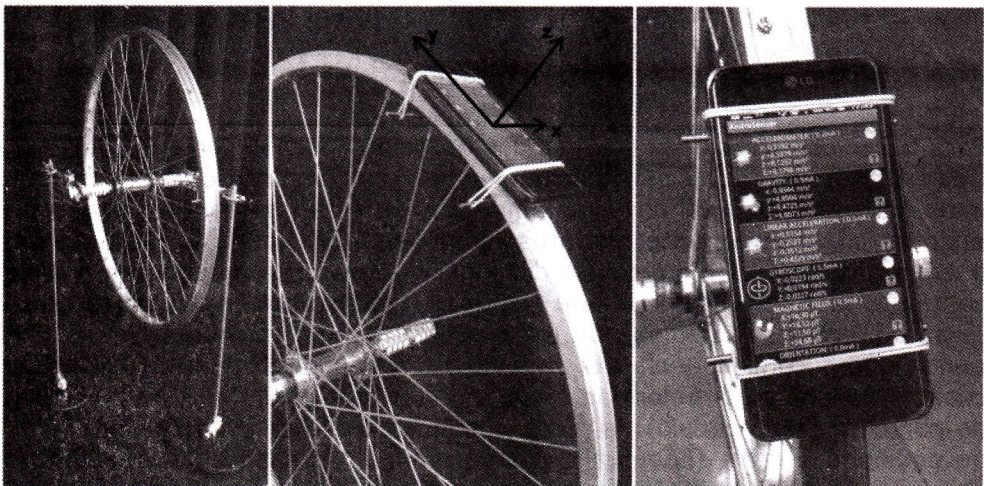


Fig. 1. Teléfono inteligente montado sobre una rueda de bicicleta en un plano vertical (izquierda), esquema mostrando la disposición de los ejes (centro) y captura de pantalla de la aplicación Androsensor (derecha).

Habitualmente los sensores miden todas las componentes de las magnitudes vectoriales según 3 ejes, x, y, z orientados como si estuvieran dibujados sobre la pantalla del celular. Las medidas que se emplean en este trabajo

son las del sensor de rotación según el eje x y los de la aceleración según los ejes y y z , que corresponden con las aceleraciones tangencial y radial respectivamente. Una vez registrados los datos es posible descargarlos en una computadora y analizarlos utilizando un programa apropiado.

D. Análisis del movimiento

Una vez obtenidas las medidas pueden ser analizadas por diversos procedimientos. En este trabajo optamos por comenzar con una representación del espacio de fases como puede apreciarse en la figura 2.

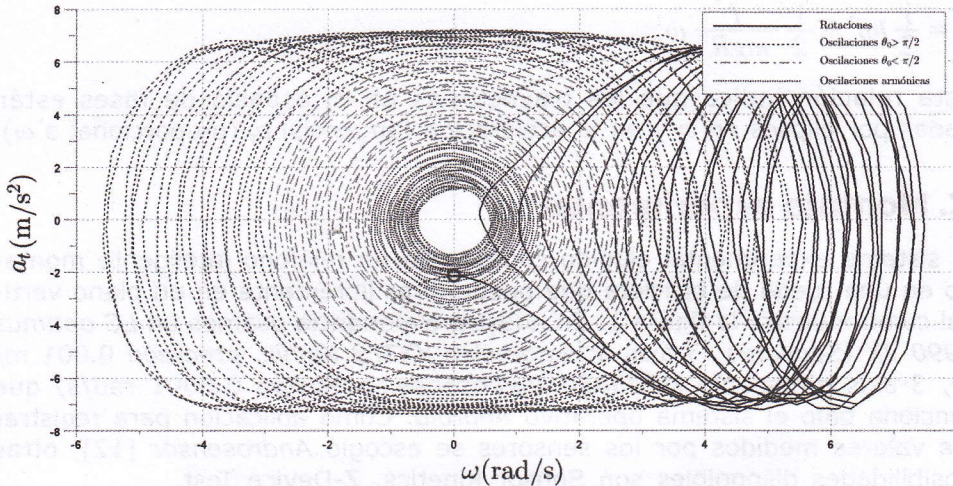


Fig. 2. Trayectorias típicas en el espacio de fases representado utilizando la aceleración tangencial y la velocidad angular como coordenadas generalizadas. Se distingue el movimiento de rotación (líneas continuas) y de oscilaciones grandes y pequeñas amplitudes (líneas a trazos, ver referencias).

Para hacer uso directo de las medidas obtenidas por los sensores, la velocidad angular ω y la aceleración tangencial a_t se emplean como la coordenada generalizada y su variable conjugada. En esta gráfica, dos comportamientos cualitativamente distintos, como ser rotaciones y oscilaciones, pueden distinguirse. Al comienzo del movimiento, representado por la línea continua, la rueda está rotando dando vueltas completas siempre en la misma dirección. A medida que transcurre el tiempo la energía se va disipando como consecuencia del rozamiento y, en determinado momento, cuando el signo de la velocidad angular se invierte por primera vez (indicado por el pequeño círculo), la rueda comienza a oscilar alrededor del punto de equilibrio estable (líneas a trazos). Finalmente, cuando la amplitud es suficientemente pequeña, el movimiento es armónico simple y las trayectorias en el espacio de fases se aproximan a elipses.

El mismo comportamiento cualitativo puede inferirse gracias a la figura 3 donde la aceleración radial a_r y la velocidad angular ω se grafican simultáneamente en función del tiempo. Al comienzo de la gráfica, la rueda en rotación ejecuta vueltas completas en una dirección. Como se mencionó antes, cuando una cierta cantidad de energía se disipa la velocidad angular

disminuye y aproximadamente en $t = 30$ s, indicado igualmente por el pequeño círculo en la figura, la velocidad angular se anula por primera vez, la rueda invierte su sentido de giro y comienza a oscilar alrededor del punto de equilibrio estable.

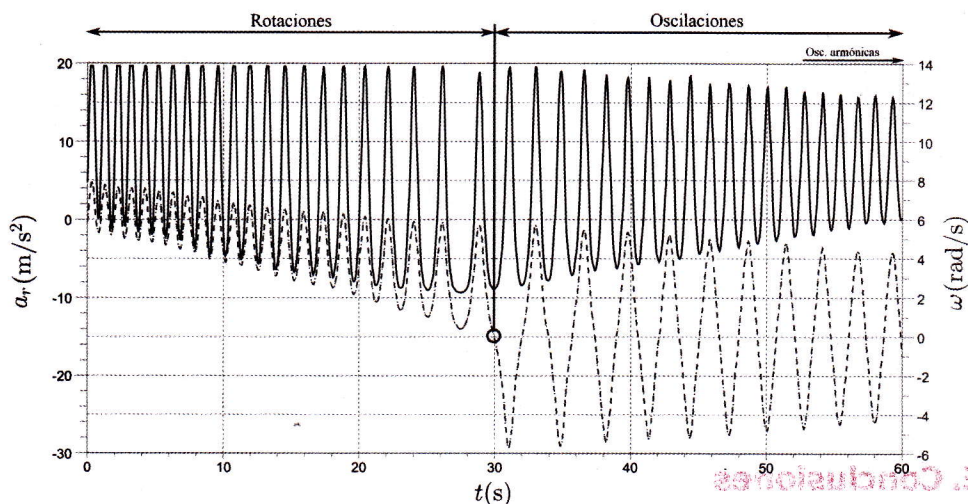


Fig. 3. Gráfica de la aceleración radial (eje izquierdo, línea continua) y la velocidad angular (eje de la derecha, línea a trazos) en función del tiempo. En la etapa inicial cuando la energía supera el umbral requerido, la rueda gira dando vueltas completas en una dirección. En el tiempo indicado con el círculo pequeño, la velocidad angular cambia su signo y la rueda empieza a oscilar alrededor del punto de equilibrio. Al final del movimiento, cuando la amplitud de las oscilaciones es pequeña se observa un movimiento armónico simple.

Otro aspecto a notar en esta gráfica, es que los mínimos de la aceleración radial, que se dan cuando el celular está en el punto más alto no tienden a cero (como sería de esperar cuando la rueda está casi detenida) sino que tiende a -10 ms^{-2} , esto se debe a la forma en que miden los sensores. Este aspecto es consecuencia que los sensores de aceleración, de hecho, son sensores de fuerza [2]. Lo mismo se puede notar al final de las oscilaciones en que la aceleración oscila en torno a un valor de 10 ms^{-2} , en lugar de 0 ms^{-2} . Otro comentario que vale la pena mencionar es que debido a las limitaciones de los sensores en los primeros 20 segundos la aceleración máxima satura al rango del sensor (20 ms^{-2}).

Para completar el análisis en la figura 4, la velocidad angular elevada al cuadrado que resulta proporcional a la energía cinética, se grafica en función del tiempo. También se muestran dos ajustes exponenciales de los máximos y los mínimos relativos. Estos ajustes evidencian que la energía disminuye en una primera aproximación en forma exponencial. Antes del pequeño círculo, cuando la rueda está rotando, los máximos y los mínimos relativos se alcanzan cuando el teléfono pasa por los puntos más bajo y más alto respectivamente. Luego del pequeño círculo, cuando la rueda está oscilando, los mínimos relativos coinciden con los puntos de retroceso o ceros de la velocidad angular, mientras que los máximos relativos corresponden a los instantes en que el teléfono pasa por el punto más bajo en una dirección o la opuesta de acuerdo al signo de la velocidad angular.

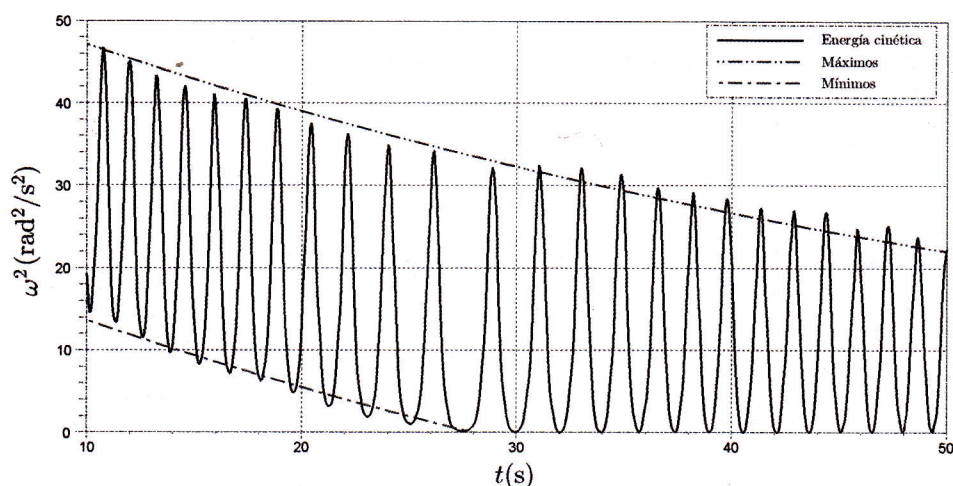


Fig. 4. Evolución temporal de la velocidad angular elevada al cuadrado (línea continua), magnitud proporcional a la energía cinética. Se incluyen dos curvas exponenciales (líneas a trazos) ajustadas a los máximos y mínimos de la energía cinética.

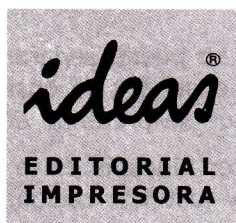
E. Conclusiones

Para concluir señalamos que el uso de sensores de rotación permite un espectro amplio de medidas aplicables en distintas experiencias de mecánica. Las potenciales aplicaciones se multiplican si consideramos el uso simultáneo de sensores de aceleración y rotación que permite, entre otros aspectos, acceder al espacio de fases y obtener una representación física de un concepto abstracto.

F. Referencias

- [1] Patrik Vogt, Jochen Kuhn, and Sebastian Müller, «Experiments Using Cell Phones in Physics Classroom Education: The Computer-Aided g Determination,» *Phys. Teach.* 49, 383 (Sept. 2011).
- [2] Patrik Vogt and Jochen Kuhn, «Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor,» *Phys. Teach.* 50, 182 (March 2012).
- [3] Patrik Vogt and Jochen Kuhn, «Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor,» *Phys. Teach.* 50, 439-440 (Oct. 2012).
- [4] Jochen Kuhn and Patrik Vogt, «Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor,» *Phys. Teach.* 50, 504 (Nov. 2012).
- [5] Jefferson W. Streepey «Using iPads to illustrate the impulse-momentum relationship,» *Phys. Teach.* 51, 54 (Jan. 2013).
- [6] Patrik Vogt and Jochen Kuhn «Analyzing radial acceleration with a smartphone acceleration sensor,» *Phys. Teach.* 51, 182 (March 2013).
- [7] Jochen Kuhn, Patrik Vogt, «Smartphones as experimental tools: Different methods to determine the gravitational acceleration in classroom physics by using everyday devices,» *Eur. J. Phys. Educ.* 4, 16 (2013).

- [8] Joel Chevrier, Laya Madani, Simon Ledenmat, and Ahmad Bsiesy, «Teaching classical mechanics using smartphones,» Phys. Teach. 51, 376 (Sept. 2013).
- [9] Asif Shakur and Taylor Sinatra, "Angular momentum," Phys. Teach. 51, 564 (Dic. 2013).
- [10] M. Monteiro, C. Cabeza, A.C. Martí, "Exploring phase space using simultaneously smartphone acceleration and rotation sensors. ," Phys. Teach. (enviado 2014).
- [11] J. B. Marion and S.T. Thornton, Classical dynamics of particles and systems, 5th ed. (Cengage Learning, 2003).
- [12] Diversas aplicaciones disponibles en el sitio de Google Play, <http://play.google.com>, permiten registrar los valores medidos por los sensores en función del tiempo.



*Un proyecto
editorial
al servicio de
estudiantes
y autores
uruguayos.*

**HISTORIA - MATEMÁTICA
LITERATURA - FILOSOFÍA
CIENCIAS SOCIALES - ECOLOGÍA
ADMINISTRACIÓN - DERECHO
FÍSICA - QUÍMICA**

Descuentos especiales
para docentes

Mercedes 1786 CP 11200 - Telefax: 2408 6985 - Montevideo, Uruguay
edideas@adinet.com.uy / www.editorialideas.com.uy



RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA LA EVALUACIÓN DE CONCEPTOS

Alvaro de Souza¹

¹ Docente de Física y Ay. Preparador de Laboratorio, IPA y CES, Montevideo, Uruguay; diplomado en Didáctica para la Enseñanza Media de Física, ANEP-UDELAR; alvarodesouza87@gmail.com

Resumen

Una de las principales preocupaciones para la formación y actividad de los docentes es incentivar en su práctica la reflexión de los procesos de evaluación como actividad consciente, buscando mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de los diferentes contenidos conceptuales y procedimentales, hacia una mejor enseñanza. En este trabajo se busca encontrar mecanismos para proponer problemas que motiven y guíen un desarrollo didáctico más efectivo. Se resalta la importancia del lenguaje y la cultura en el proceso de una enseñanza para la comprensión y el papel que juegan en la evaluación. Finalmente se reflexionará en base al modelo propuesto, esperando que sirva de aporte y discusión en torno al análisis de sus posibles resultados educativos e innovaciones en la enseñanza de la Física, posibilitando la opinión sobre la actitud docente hacia herramientas que desequilibran los hábitos tradicionales.

Palabras clave

Didáctica, Problemas, Planificación, Física.

Introducción

Todos los docentes tienen un objetivo básico: que los alumnos aprendan en sus clases; teniendo en cuenta el pensamiento de Perkins (1992): «La gente aprende cuando tiene una oportunidad razonable y la motivación para hacerlo», se cree que no hay métodos mágicos sino bien pensados desde cuatro núcleos centrales: información clara, práctica reflexiva, realimentación y motivación.

Se entiende la evaluación como proceso, el que no se puede separar de la enseñanza ni del conocimiento. Se evalúa cómo se enseña y se enseña en función de la evaluación, a partir del conocimiento que se pretende enseñar.

En la formación de futuros docentes se debería hacer hincapié en la discusión de qué quieren que aprendan sus estudiantes y justificar racionalmente lo que se enseña, preguntándose si es importante que el estudiante lo incorpore (hacer razonable lo racional), para luego pensar y elaborar el método con las actividades, problemas, tareas, dinámicas, evaluaciones, etc. El docente debe pasar por un proceso en donde logre que el contenido

a enseñar se transforme en contenido a aprender sin que pierda la rigurosidad: la transposición didáctica.

Cuando se presenta a los estudiantes una temática desde un problema, en el que hay que encontrar una respuesta fundamentada, no sólo se hace razonable lo racional, sino que se trata de despertar las motivaciones internas de los estudiantes. Haciendo acuerdo con Gil (1993) «(...) resulta esencial plantear el aprendizaje como tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, que los alumnos puedan considerar de interés». El desarrollo de una unidad debería plantearse desde problemas de interés, que pueden ser propuestos por el docente o podrían surgir de preguntas en torno al tema que los mismos estudiantes se puedan hacer y no se les ocurrió investigar.

«Identificar un problema e intentar resolverlo ha sido considerado como el principal estímulo para la investigación científica: en el proceso de resolución se producen variaciones conceptuales gracias a las cuales los conocimientos científicos (*teorías, procedimientos y lenguajes*) evolucionan.» (Couso et al, 2008b). Resaltar los conceptos esenciales en los enunciados y hacer que los cálculos se relacionen con ellos, proporciona mayor interés a los problemas. Couso y otros (2008a) en su trabajo destacan que:

«(...) lo importante de un problema es que coloque al alumno en la frontera entre lo que sabe y lo que ha de aprender, de manera que el esfuerzo por resolver el enigma que se le plantea contribuya a hacer emerger el nuevo conocimiento».

A la hora de presentar las unidades didácticas se deberían proponer situaciones problematizadoras cuya resolución despierte interés, introduzca en los conceptos básicos y genere interrogantes al estudiante.

El problema propuesto podría caracterizarse por ser cotidiano e intentar involucrar al estudiante, generando una preocupación por resolverlo, encontrándose con la información de algunos datos y tener la necesidad de buscar otros, investigando con sus pares en libros, Internet o simplemente dialogando con alguien con mayor conocimiento. Podrán aparecer datos numéricos y conceptos que el alumno deberá discriminar, para posteriormente conceptualizar literal y operacionalmente las variables físicas necesarias para el desarrollo de la unidad.

Fundamento de la propuesta

El lenguaje no solo tiene el poder de la comunicación, sino que con él podemos conducir los comportamientos de los estudiantes, hacia la enseñanza para la comprensión, teniendo el poder incluso de modificar la cultura institucional o individual que funciona como marco para los aprendizajes. Una simple exposición o preguntas que el docente realice lo pueden llevar por caminos que sean motores para el aprendizaje, logrando inclusive actitudes no deseadas como el aprendizaje memorístico sin comprensión o el acatamiento de órdenes sin fundamentos. Así desde las diferentes interpretaciones, o las comunes que puede tener el docente, el estudiante va creando significados, encontrando su camino y su lugar en el mundo para elaborar sus propias decisiones.

Cualquier propuesta educativa debe apuntar a modificar la cultura institucional que obtura el desarrollo de las competencias del pensamiento científico. Toda disciplina guarda una lógica y la manera como se la presentemos a nuestros estudiantes generará imágenes mentales, que a su vez serán su marco para comprender nuevos conceptos o aplicar los conocimientos incorporados. La manera en que internalizamos cualquier disciplina condiciona nuestra forma de ver y pensar, para incorporar los nuevos conocimientos relacionados con ella y encontrar la necesidad de utilizarlos en la vida cotidiana.

Como indica Sierra (1995) en su Tesis, «Uno de los objetivos clave en la enseñanza de la Física es establecer una relación entre los objetos, eventos y fenómenos del mundo real y las teorías y modelos que permiten su interpretación al estudiante.» La utilización de buenos problemas se propone para introducir y desarrollar concepciones científicas que aporten al aprendizaje significativo. Para Gaulin (2001) hablar de problemas implica considerar aquellas situaciones que demandan reflexión, búsqueda, investigación y donde para responder hay que pensar en las soluciones y definir una estrategia de resolución que no conduce, precisamente, a una respuesta rápida e inmediata. Desde una mirada constructivista de la enseñanza el estudiante elabora los conceptos nuevos a partir de los que ya posee, no solo pretendiendo indagar lo que el estudiante ya sabe sino que colocándolo en situación de elaborar y buscar información para mejorar sus representaciones y explicar fenómenos que tal vez nunca tuvo la curiosidad de buscar una respuesta. Es importante también porque comenzamos con situaciones que conoce y que están relacionadas con varias ramas del conocimiento humano; «...decir que creemos que el hecho de que la secuencia de enseñanza tiene el foco central de las investigaciones que giran en torno a temas de interés para los estudiantes de educación superior ha sido la motivación para que ellos se involucren con las discusiones en el aula y así terminasen trabajando de manera conjunta y coordinada las cuestiones que abarcan no sólo las ciencias naturales, sino también de la Sociedad, la Tecnología y el Medio Ambiente, percibiendo y discutiendo acerca de cómo estas entidades se relacionan.» (Sasseron y Pessoa, 2008)

Las actividades científicas están fundamentadas en la elaboración de modelos (modelización) y en su utilización para explorar el mundo físico, enfrentándolo a situaciones que para él son nuevas y obligándolo a revisar el modelo que ha estructurado. También se trata que el alumno comunique y comparta su conocimiento científico, así como también defenderlos con argumentos que crea válidos. La validez de sus argumentos queda al descubierto cuando discute con sus pares, trabajando en forma colaborativa y solidaria; de esta manera con esta actividad se debería formar la idea que toda construcción científica es una construcción humana.

Reflexión final

Toda propuesta de enseñanza y aprendizaje «debería ser percibida como ayuda real y generadora de expectativas positivas» (Cruz et al, 1996). Los docentes somos en parte los responsables para que ello ocurra y deberíamos explicitar nuestro interés por los logros positivos de los estudiantes y mostrar los caminos a transitar para que ello ocurra. En esta modalidad, el marcar los errores no sería visto como un castigo sino la posibilidad de detec-

tar los aspectos en los que se debe insistir, y trabajando con sus pares, poder superarlos. El estudiante «compite» así consigo mismo para superarse y el profesor evalúa con el fin de una retroalimentación, sin perder la perspectiva social que según Lemke (2006) se logra al «apoyar a los estudiantes para que apliquen su conocimiento científico y tecnológico a problemas prácticos en sus vidas y sus comunidades locales y para que se interesen y actúen en relación con preocupaciones sociales más amplias para cuya comprensión y resolución la ciencia y la tecnología sean importantes».

Se pretende innovar en la enseñanza de la Física, pero para ello resulta necesario investigar en torno la utilización de Situaciones Problema para obtener herramientas y fundamentar frente a los colegas posibles cambios metodológicos; generando de esta manera la reflexión sobre la actitud de adoptar nuevos dispositivos o métodos de evaluación, tendiendo a mejorar los procesos educativos.

Bibliografía

- COUSO, D., IZQUIERDO, M. y MERINO, C. (2008a). *La Resolución de Problemas*. En Merino, C., Gómez, A. y Adúriz-Bravo, A. (Eds) *Áreas y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 59-82. Facultad de Ciencias de la Educación - Universidad Autónoma de Barcelona: Bellaterra.
- COUSO, D., IZQUIERDO, M. y MERINO, C. (2008b). «*Problemas para aprender ciencias: algunas propuestas para su diseño y ejemplos*». XXIII Encuentros en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Almería. España: APICE.
- CRUZ, A., GIL, D, VALDEZ, P. (1996). «*Tendencias actuales en la enseñanza aprendizaje de la Física*», en *Temas escogidos de la didáctica de la Física*. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- PERKINS, D. (1992). *La escuela inteligente*. Barcelona: Gedisa.
- GAULIN, C. (2001). Tendencias actuales de la resolución de problemas. *Sigma*, 19, 51-63. En: http://www.berrikuntza.net/edukia/matematika/sigmaaldizkaria/sigma_19/TENDENCI.PDF
- GIL, D. (1993). *Historia y Epistemología de las Ciencias. Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de Enseñanza / Aprendizaje como Investigación*. Revista: *Enseñanza de las Ciencias*. 11 (2), pp. 197-212.
- LEMKE, J. (2006). *Investigación Didáctica. Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir*. Revista: *Enseñanza de las Ciencias*, 2006, 24(1).
- SASSERON, L. y PESSOA, A. (2008). *Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo*. Revista: *Investigações em Ensino de Ciências* - V13(3), pp.333-352, 2008
- SIERRA, J (1995). Tesis Doctoral: «*Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la Física en Bachillerato*», Andalucía: Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE).

EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay
Volumen 8, Número 5

Setiembre, 2015

CONTENIDO

EDITORIAL 3

PROCEDIMIENTO DE
PRESENTACIÓN DE TRABAJOS 4

DOCUMENTO
DE TRABAJO # 4
Piriápolis - 25 y 26 de Abril de 2015 5

ANÁLISIS DE SISTEMAS OSCILATORIOS
SOMETIDOS A DISTINTAS FUERZAS DISIPATIVAS
Álvaro Suárez y Marcelo Vachetta 10

EL ESPACIO ABSOLUTO NEWTONIANO:
UNA MIRADA DESDE LA FILOSOFÍA
Gabriela Tomás 21

ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE UN
PÉNDULO FÍSICO UTILIZANDO
UN TELÉFONO INTELIGENTE
Martín Monteiro, Cecilia Cabeza y Arturo C. Martí 37

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
PARA LA EVALUACIÓN DE CONCEPTOS
Álvaro de Souza 44