

23

EXPERIENCIA TRADICIONAL
CON NUEVO ENFOQUE PARA RECUPERAR LA NATURALEZA
DE LA FÍSICA

EXPERIENCIA TRADICIONAL

CON NUEVO ENFOQUE PARA RECUPERAR LA NATURALEZA DE LA FÍSICA

TRADITIONAL EXPERIENCE WITH A NEW APPROACH TO RECOVER THE NATURE OF PHYSICS

Omayra Janeth Pérez Castro¹

E-mail: omayra.perez@up.ac.pa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7080-5598>

¹ Universidad de Panamá. Panamá.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Pérez Castro, O. J. (2020). Experiencia tradicional con nuevo enfoque para recuperar la naturaleza de la Física. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(2), 183-191.

RESUMEN

Recuperar la naturaleza de la Física a través de diseñar un enfoque que promueva la integración de la comprensión cualitativa y cuantitativa del fenómeno que se estudia en el contexto de una experiencia clásica, en un ambiente de continua interacción entre pares. En la investigación se realizó un estudio de casos. El resultado fue un enfoque de enseñanza más integrador y actual, del estudio del movimiento ascendente de un cuerpo sobre una rampa de un plano inclinado. Lo que llama a un rediseño de los currículos con apertura a problemas reales y creíbles, más que una lista de contenidos.

Palabras clave:

Naturaleza de la Física, resolución de problemas, actividad experimental.

ABSTRACT

Recover the nature of Physics through designing an approach that promotes the integration of qualitative and quantitative understanding of the phenomenon that is studied in the context of a classical experience, in an environment of continuous interaction between peers. The research carried out a case study. The result was a more integrative and current approach to teaching, the study of the upward movement of a body on a ramp of an inclined plane. What calls a redesign of the curricula open to real and credible problems, rather than a list of contents.

Keywords:

Nature of Physics, problem solving, experimental activity.

INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que la Física es fundamental para el desarrollo de los países. Sin embargo, en la mayoría de los países en desarrollo, pocos estudiantes inician la carrera de licenciatura en Física y egresan un bajo porcentaje de los que ingresan. Entre las causas probables del poco interés por esta carrera o del fracaso de los estudiantes, están: 1) una visión inadecuada sobre la Física y su naturaleza como ciencia experimental, que tienen los docentes del área de las ciencias experimentales, así como también los administradores de la enseñanza; 2) un deficiente manejo de los fundamentos de los modelos físicos, acentuando por la concepción como “recetario” de la actividad experimental y en consecuencia un desgreño por los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que requiere el físico en su formación.

Lo anterior se evidencia, por ejemplo, cuando se pregunta a los estudiantes, ¿qué es Física? Las respuestas parecen calcadas año tras año. **“La Física es una Ciencia que nos enseña a resolver problemas”**. Pero ¿qué es resolver un problema? La respuesta de los estudiantes es más o menos: **“resolver un problema es encontrar la fórmula o ecuación que nos permita obtener un resultado numérico lo más exacto posible”**. Eso significa que resolver problemas, es hacer ejercicios cuantitativos los cuales desnaturalizan la Física como ciencia experimental. ¿Dónde puede estar el origen de esta visión? Para el caso de Panamá, Fernández (2004), señala que la historia de la sociedad panameña muestra dos modelos interpretativos del papel de la Física para el desarrollo de “un primer modelo que popularizó una Física centrada en la resolución de ejercicios cuantitativos, lo que fue resultado de la concepción ingenieril de la Física (tanto los gobernantes como los técnicos ejecutores de las políticas, entendían las ingenierías como ciencia aplicada al desarrollo nacional). En el segundo modelo imperó una Física expositiva, magistral, sin parte experimental, resultado de una concepción de la Física como parte de la Matemática”.

Por otro lado, la formación experimental está generalmente en manos de los docentes con menor formación académica (asistentes), en consecuencia, los estudiantes llegan a los cursos de Física sin nunca haber resuelto un verdadero problema experimental, pues algunos no han asistido nunca a una clase experimental y los pocos que han asistido se quejan de la falta de material al momento de hacer experiencias y los métodos utilizados no son propios de la actividad experimental.

Por ejemplo, cuando se les interroga para tener una idea del tipo de experiencias que han realizado, es común que mencionen la medición del módulo del campo gravitatorio. En conclusión, muchos de los estudiantes que hay en los cursos de Física de las aulas universitarias no han vivido el proceso real de hacer una experiencia en Física, y mucho menos, han escrito realmente un informe. En otras palabras, no se han visto antes, en la necesidad

de comunicar a otros lo hecho dentro de la actividad experimental, por ejemplo, no tienen idea de cómo comunicar los procesos realizados, los resultados obtenidos, el análisis de dichos resultados, etc., a través de la redacción de un informe dirigido a una comunidad de usuarios (pares). Y este último instrumento es una de las formas, por excelencia, que tiene el físico de comunicar los resultados obtenidos mediante la experimentación.

Este breve panorama general, describe algunas de las muchas dificultades que enfrenta el docente (de Física) formador de físicos, al intentar que sus estudiantes obtengan una comprensión básica de la Física, que les permita superar los primeros obstáculos en esta carrera donde el trabajo fundamental gira alrededor de resolver un problema, sustentado con evidencias experimentales y comunicar por vía oral u escrita, el proceso utilizado y la solución encontrada.

Lo anterior lleva a plantear la necesidad de reformular el tipo de actividad experimental en la clase de Física. ¿Cómo hacerlo? ¿A través de experiencias nuevas e innovadoras? ¿o dando nuevos enfoques a esas experiencias clásicas? Hay muchas experiencias clásicas que han dado muchos frutos a la Física. La posibilidad de reestructuración puede estar, entonces, en un nuevo enfoque de las experiencias ya conocidas. Es por ello, que se tiene como objetivo plantear una experiencia clásica como un problema, donde se promueva la integración de la comprensión cualitativa y cuantitativa del fenómeno, dentro de un ambiente de continua interacción entre pares, como una forma de recuperar la comprensión sobre la naturaleza experimental de la Física.

Con acierto, se suele decir que la experimentación es el criterio de la verdad en Física para indicar que un supuesto no es considerado como científicamente cierto, hasta que el veredicto de la experimentación sea capaz de indicar su veracidad, fije los límites de aplicación y la enmarque la naturaleza del fenómeno. Por ello, experimentar es más que observar y manipular instrumentos de medición para generar números, como pretenden algunos amateurs de las ciencias fácticas.

La experimentación o actividad experimental, por su rol crucial en Física, debe presentarse en el proceso de enseñanza aprendizaje, de forma tal que se eviten las malas interpretaciones o concepciones erróneas tanto por parte de los actores: docentes o estudiantes, como de foráneos al mundo de estas disciplinas.

A pesar de los esfuerzos didácticos, se sigue concibiendo esta actividad con un carácter altamente dogmático a pesar de haber sido rebatido, en otras latitudes, desde el siglo pasado. Gil & González (1993), en su momento llamaron a una reestructuración profunda de la actividad experimental, pues, el trabajo científico o lo que se conoce como método científico se presentaba, dentro de la

actividad experimental, con una visión algorítmica y lineal: observación, manipulación, tabulación de datos, etc.

Lo que se ve reflejado, hoy en día en los recetarios, mal llamados guías de laboratorio (Introducción, materiales, procedimiento, etc.), donde todo gira alrededor de un resultado previsto para confirmar la teoría (Jaime & Escudero, 2011). Resultado que la mayoría de las veces, en muchas aulas de educación media y universitaria, se reduce a una secuencia de números.

Un ejemplo de esto último es la “experiencia” paradigmática donde se dejar caer un objeto (inicialmente en reposo), desde cierta altura. La información central que se orienta a obtener es el tiempo de caída y la distancia recorrida, para deducir el módulo del campo gravitatorio (llamada incorrectamente aceleración de la gravedad).

La pregunta típica del docente, después de terminar la toma de datos y el supuesto análisis de los resultados es: “¿Te acercaste al valor de g ?” Desde el punto de vista de la Física, esta pregunta traduce una concepción no científica de la actividad y desde el punto de vista educativo ni siquiera es pertinente, pues proyecta o refuerza una imagen equivocada de la Física como Ciencia Experimental. ¿Por qué?

Se ignora el contexto en que se realizó la actividad experimental (diseño y marco teórico), la precisión de los aparatos de medición utilizados, la cantidad de cifras significativas que se pueden obtener con el método y con los aparatos, las características del montaje experimental, las dificultades superadas en el camino y el análisis de los datos (pensamiento crítico), etc., pues todo ello da validez o no a los resultados obtenidos, aumentando la probabilidad de éxito al reproducir dicha experiencia en otro contexto y en consecuencia, dan robustez al proceso seguido, lo que tiene más importancia desde la perspectiva científica y formativa, que fijar la atención solo en el valor numérico del módulo del campo gravitatorio.

Todo lo anterior se traduce en una visión distorsionada de la Física que manejan los estudiantes. Visión que da relevancia al “recetario”, en este caso de fórmulas para resolver “problemas”, pues, eso es la concepción de la Física: Ciencia que enseña a resolver ejercicios cuantitativos. Estos últimos bien caracterizados por Perren, Bottani & Odetti (2004), al señalar que la resolución de ejercicios cuantitativos centra la actividad de los alumnos en trabajar con datos numéricos, ecuaciones y algoritmos, a diferencia de lo que implica trabajar con problemas que requieren razonamientos teóricos donde el uso de cálculos numéricos se reduce al mínimo.

Pero ¿qué son estos razonamientos teóricos? En una simple aproximación, para no caer en discusiones relativas a la epistemología que está a la base de dicho término, son las explicaciones que se han construido desde la Física y que han sido aceptadas por una comunidad científica, y que se conocen como sus modelos teóricos y que están

muy distantes de los modelos o explicaciones que construye empíricamente el ser humano común en su interacción con la naturaleza y la sociedad, sobre los fenómenos naturales con estructura matemática, que son de interés para esta Ciencia.

Lo anterior puede tener su origen en los currículos enciclopédicos que dirigen y orientan el trabajo de los docentes y, por lo tanto, los lleva a priorizar una lista de contenidos, antes que trabajar dentro del contexto experimental. Y dichos contenidos, se sabe ya que se rigen más por la lógica general de la disciplina, y no toman en cuenta cómo funciona internamente la Ciencia, en este caso la Física, cómo se desarrolla, cómo se construye su conocimiento, cómo se relaciona con la sociedad, qué valores utilizan los científicos en su trabajo profesional, etc. (Acevedo Díaz, et al., 2007).

Los aspectos señalados en líneas anteriores describen un terreno nada amigable para la formación de futuros físicos. Pues, se quiere y necesita promover una visión más adecuada de la experimentación. Específicamente, se fundamenta este trabajo en una *experimentación como criterio de la verdad en Física, de tal forma que* permita establecer puentes entre los *modelos teóricos* (conceptos), el *saber-hacer* (procedimientos) y el *saber-ser* (actitudes). Este conjunto de contenidos son parte esencial en la conformación, crecimiento, desarrollo y avance de esta ciencia experimental, por lo tanto, es fundamental que los físicos en formación comprendan el papel del trabajo experimental, para que a su vez comprendan la naturaleza de la Física.

Lo que implica que la actividad experimental en las Licenciaturas en Física debe ser mucho más que manipular instrumentos de medición para generar números y debe promover que el futuro físico tome conciencia del papel de la comprensión del fenómeno, en sus aspectos cualitativos y los integre adecuadamente, a los resultados cuantitativos. Los primeros ayudan a darle sentido a los segundos y ayudan a integrar adecuadamente lo cuantitativo con lo cualitativo y juntos caminan hacia la comprensión del fenómeno. Y en todo este proceso, la interacción con otros (pares) y la comunicación es fundamental.

Con el objetivo de comprender lo que es un “*procedimiento*”, se busca en el diccionario de la Real Academia Española (2006), de la Lengua su significado: “*Método de ejecutar algunas cosas*”. Pero, en las ciencias experimentales en general y en Física, en particular, un procedimiento implica mucho más que la manera de ejecutar (Manual de procedimientos o Guías de laboratorio), son los métodos de trabajo.

Y estos métodos, han sobrevivido siglos desde que se estudió el modo de hacer ciencia por Galileo Galilei, por su flexibilidad al adaptarse al fenómeno, a las herramientas de que se disponen, a las características de un montaje

experimental, a la carga teórica del investigador, al contexto político y económico del momento, etc.

“Las ciencias no sólo están formadas por un conjunto de estructuras conceptuales, modelos, leyes, teorías... que han sido construidas por los seres humanos para estudiar el universo, para mejorar la calidad de vida o, simplemente, para sobrevivir. Tan importantes como estos logros son sus métodos de trabajo, la manera de pensar y actuar que llevan consigo, la transferencia de su forma de hacer o reflexionar a otras facetas de la vida... Pensar sólo en una ciencia de fórmulas, de definiciones y de «verdades» supone probablemente desconocer lo que realmente es la ciencia y, por supuesto, limitar su alcance y significado.” (De Pro, 2013)

Este autor y una pléyade de grandes pensadores han insistido en que la Física como proceso histórico y no solamente hoy día, no es el producto del trabajo de genios aislados y solitarios. Es el producto del trabajo de una comunidad de Seres Humanos, donde la comunicación y el intercambio (la interacción) de ideas, modos de pensar y hacer, entre otras cosas han sido fundamentales para el desarrollo de esta ciencia.

Además, otro aspecto que destacan es que las leyes, teorías y modelos, que son esenciales en toda Ciencia, para que rindan sus mejores frutos, deben ser articulados e integrados a un conjunto de “saber (es) hacer (es)” (que se han multiplicado en la actualidad), de formas de hacer (no hay una sola forma de hacer, depende del contexto, de las herramientas que se dispongan en el momento, del factor económico, del desarrollo social, etc.) y formas de pensar (hay diversidad de formas de concebir los problemas por parte de los físicos, cada persona es un mundo, todos somos diferentes, lo que enriquece a la Física como Ciencia).

En consecuencia, es importante aceptar que la sociedad globalizada e interdisciplinaria de hoy no tolera los moldes rígidos (guías de laboratorio) y apuesta por la diversidad y la creatividad como norma. La sociedad moderna ha experimentado el mayor grado de desarrollo, en todas sus dimensiones, gracias, entre otras cosas, al poder que ha dado al hombre las ciencias experimentales y sus aplicaciones tecnológicas.

Esto está ligado a que el saber hacer científico en Física, producto del análisis y la reflexión desde la experimentación, tiene a su base una manera de pensar y aprender que permite la transferencia del primero (saber hacer científico) a otras facetas de la vida del Ser Humano, que es un ser social y quien en su caminar se encuentra con situaciones distintas a las que debe dar solución, y que una actitud científica a la hora de la búsqueda de soluciones a los diversos problemas de la vida social, ha mostrado ser más eficaz y eficiente.

Entonces, un científico, un físico, debe ser un ser integral y culto, abierto a nuevas ideas y a los cambios, debe ser

capaz de transferir su (s) saber (es) y hacer (es) a todos los ámbitos de la vida, en consecuencia, debe saber adaptarse a los cambios. El saber hacer o los procedimientos que necesita adquirir un físico en formación no se pueden aprender por transferencia pasiva al escuchar una clase “dictada” por un profesor que enseña bien. En consecuencia, hay que tener presente que:

1. Los procedimientos que va a necesitar un físico en su vida profesional serán muchos y los mismos no se adquieren por generación espontánea, ni por instrucción militar, ni por inoculación visual o calistenia. En la construcción de conocimientos la reflexión y el análisis sobre lo que se aprende, es importante y lleva a la maduración de las ideas y los modelos (conceptos).
2. El físico en formación debe ser consciente de que los procedimientos se reuevan, pues, las situaciones a las que se puede enfrentar en su vida profesional pueden ser distintas, y en consecuencia las herramientas tanto conceptuales, cómo concretas, que va a necesitar manejar o tener cerca, cambian de acuerdo con la situación problemática a resolver y lo más importante, pueden cambiar de acuerdo con la tecnología del momento.
3. El aprendiz de físico, durante su formación, debe construir, a partir de la lectura, la reflexión, la discusión con otros (generalmente pares) y la búsqueda de información, las destrezas procedimentales y ser consciente de la manera como se construyen (metacognición). Lo que implica a su vez, que irremediablemente es necesario aprender a aprender, pues, él es el que aprende, el docente orienta y guía el proceso de aprendizaje.

La pregunta en este punto es: ¿en la actualidad, sería válida una experiencia clásica para promover una visión más adecuada de la Física y su naturaleza? ¿Se podría, con un nuevo enfoque de dicha experiencia, promover, por ejemplo, la adquisición de procedimientos en los estudiantes, de los cuatro grandes bloques de procedimientos desde la perspectiva de De Pro (2013)? Estos bloques se agrupan en destrezas técnicas, básicas, profesionales y comunicativas. Y, estas destrezas serán los ejes vertebrales de las actividades experimentales que se propongan a los estudiantes. Esto no implica que se tomaron en cuenta todos a la vez, sino los más pertinentes para el tema y el contexto de trabajo en este proceso de aprendizaje.

METODOLOGÍA

El objetivo que se planteó como eje central de este trabajo, es complejo pues, busca integrar una experiencia clásica a un enfoque más actual, que tome en cuenta la interacción social en la construcción activa del conocimiento y la naturaleza de la Física, lo que descarta de partida, el uso de una guía de laboratorio.

Lo descrito, en las líneas anteriores, descarta el uso de una metodología de tipo cuantitativo y centra la atención

en las metodologías cualitativas. Metodologías que se caracterizan por promover una comprensión profunda del fenómeno que se estudia. Por ello, se va a trabajar con la metodología estudio de caso (Stake, 1998), ya que facilita describir a profundidad situaciones o realidades singulares en busca de comprenderlas, evitando el reduccionismo que afecta y desfigura la realidad (McDonnell, Jones & Read, 2000). Este tipo de metodología es cada día más usado (Vázquez Bernal, et al., 2009), pues, en el contexto de la enseñanza a cualquier nivel se trabaja dentro de sistemas complejos.

El caso que se va a describir tiene como tema el estudio y análisis del movimiento ascendente de un cuerpo sobre una rampa (experiencia clásica y muy conocida). Hay que tener presente que se busca rescatar lo que se ha perdido con tanto reduccionismo y que ha desnaturalizado a la Física esquinándola a un conjunto de ecuaciones y al trabajo con guiones de laboratorio. Por lo tanto, en esta descripción tomará en cuenta los siguientes elementos:

1. La experiencia se presentará como un problema experimental, a través de un enunciado ello con la finalidad de comenzar a acercar los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que se pueden promover dentro del trabajo experimental a las habilidades investigativas que requiere un Físico desde sus primeros años de formación (Carrascosa, Gil Pérez & Vilches, 2006).
2. La comprensión del fenómeno a estudiar; el diseño cualitativo del montaje experimental en busca de su operatividad; la construcción del modelo teórico; la elaboración de hipótesis; el control de variables; el establecimiento de las bases del análisis cuantitativo del fenómeno estudiado; el procedimiento para la toma de datos; el manejo técnico de softwares que apoyen la toma de datos y su tratamiento; el análisis de los resultados y la elaboración de conclusiones.

Con referencia a los softwares que se proponen utilizar son dos Qtiplot y Tracker. En el caso de Qtiplot es un programa multiplataforma que se usa en Física para hacer gráficos de tipo interactivo y el correspondiente tratamiento y análisis de los datos. El autor original de este software es Vasilief (2019), y está escrito en C++ y Python. Este programa es similar a Origin o Sigma Plot. Permite al usuario elaborar gráficos en 2D y 3D. Este programa es accesible a los estudiantes, con solo hacer una pequeña donación (tiene licencia comercial), lo que lo hace la mejor opción ante otros softwares de pagos como Origin y SigmaPlot. En cuanto al Tracker (Open Source Physics, 2019) es un software de análisis de video desarrollado por la Open Source Physics, y es utilizado por docentes y estudiantes en sus clases de física para recopilar información (datos), a través del análisis de un video.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se propone estudiar y analizar el movimiento ascendente de un cuerpo de masa m_1 sobre la superficie de un

plano inclinado. Para ello es importante, la identificación del modelo teórico, a partir del análisis de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo que asciende sobre el plano inclinado. Y en el proceso de toma de datos, es necesario y fundamental, que se identifiquen todas las fuentes de dispersión. Se da libertad de acción al experimentador, en lo que al diseño del montaje experimental se refiere, así como para la elaboración de una estrategia de trabajo.

La actividad del docente debe girar alrededor de promover la participación activa de los estudiantes en este proceso de construcción de conocimiento, dentro de un ambiente de interacción continua, en:

1. La comprensión cualitativa del fenómeno.

Es importante insistir en que, para dar respuesta a lo planteado en el enunciado, se debe comprender, en primer lugar, el problema experimental a resolver, desde el punto de vista fenomenológico. En el enunciado se plantea estudiar y analizar el movimiento ascendente de un cuerpo sobre una rampa. ¿Qué implica esto? ¿Cómo la Física puede ayudar a dar respuesta a lo planteado en el enunciado? Esto implica, entre otras cosas, identificar las magnitudes físicas medibles de dicho fenómeno. Entonces, hay que promover que los estudiantes comprendan que las magnitudes físicas son las propiedades o características medible del fenómeno que se va a estudiar. Y que, en este caso, el movimiento ascendente del cuerpo es el fenómeno que hay que estudiar. Por lo que el docente debe promover la reflexión y discusión alrededor de las propiedades o características medibles del movimiento ascendente del cuerpo, la distancia recorrida por el cuerpo y el tiempo empleado en recorrerla.

2. El diseño cualitativo del montaje experimental en busca de su operatividad.

Se presenta el montaje experimental (figura 1a) a la clase. Seguido se plantean preguntas dirigidas a identificar, desde un punto de vista cualitativo (comprensión), los aspectos o elementos que hay que tener presente de dicho montaje para que sea lo más funcional y operativo posible, en el proceso de medición de la distancia recorrida por el cuerpo y el tiempo empleado en recorrerlo. Un ejemplo, del tipo de cuestiones que se pueden plantear a los estudiantes, mientras manipulan las partes del montaje experimental, son las siguientes.

- ¿Cómo está formado el montaje experimental? ¿Podría este ayudar a encontrar respuesta al enunciado?
- ¿Cuál es el tipo de movimiento que tendrá el cuerpo al ascender sobre la rampa? ¿Qué modelo físico ayudaría a explicar el movimiento de al ascender por la rampa? ¿Cuál es el estado inicial de ? ¿Cuál es el papel de segunda masa , en el cambio de movimiento de ? ¿Cuáles son las posibles restricciones de ?, etc.

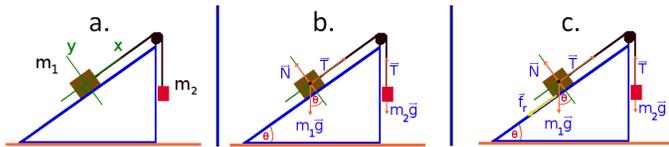


Figura 1. Esquema para el análisis de las fuerzas que actúan sobre y

3. La construcción de un modelo teórico.

Esta actividad es esencial. Se insiste en que la comprensión del fenómeno a estudiar debe estar sustentada en un modelo teórico que nace de los modelos físicos y que dicho modelo debe tener sentido (debe comprenderse). Para lo que se recurre a que ya se señaló que m_2 tiene una función importante, la de generar la fuerza que cambia el movimiento de m_1 . Y la fuerza que se aplique al sistema a través de la masa m_2 será constante y este cambio de movimiento no es otra cosa que la aceleración del cuerpo de masa m_1 . Esto se expresa matemáticamente:

$$a = \text{constante} = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} \quad (1)$$

El cambio en función del tiempo se expresa,

$$v_x = \frac{dx}{dt} = v_{ox} + at; \text{ donde } v_{ox} = 0 \quad (2)$$

Al integrar esa expresión como sigue,

$$\frac{dx}{dt} = at \rightarrow \int dx = \int at dt \quad (3)$$

En consecuencia, el movimiento de m_1 a lo largo de la hipotenusa del plano inclinado se modeliza como sigue,

$$\Delta x = \frac{at^2}{2} \quad (4)$$

Se modeliza matemáticamente dicho movimiento (figura 1b) a partir de la identificación de las fuerzas que actúan sobre el sistema, en primer lugar, sin fricción entre la superficie del plano inclinado y el cuerpo de masa m_1 . En segundo lugar, con fricción cinética entre el plano inclinado y el cuerpo de masa m_1 .

A partir de lo anterior se obtiene el primer contexto de trabajo: el movimiento del cuerpo de masa m_1 es con aceleración constante y sin fricción entre la superficie del cuerpo, lo que se modeliza como sigue:

$$t^2 = \frac{2\Delta x(m_1 + m_2)}{m_2g - m_1g \text{ sen } \theta} \quad (5)$$

La expresión 5 relaciona el tiempo, con la masa m_1 , m_2 , Δx y el ángulo θ , en un sistema donde los efectos de la fricción son despreciables. En este punto es importante hacer hincapié en que todas las magnitudes físicas que conforman 5 se pueden controlar en el contexto de la experiencia, es decir, variar o dejar sin cambios.

Segundo de contexto de trabajo (figura 1c): en el caso que exista fricción cinética () entre la masa m_1 y la superficie del plano inclinado, el modelo es el siguiente:

$$t^2 = \frac{2\Delta x(m_1 + m_2)}{m_2g - m_1g(\text{sen } \theta - \mu \text{cos } \theta)} \quad (6)$$

Se promueve discusión sobre las diferencias existentes entre 5 y 6. Unido a esto, se hace hincapié en que el modelo matemático generado, surge a partir de la conjugación de uno de los modelos más simples de la cinemática el movimiento uniformemente acelerado y la identificación de fuerzas (leyes de Newton). Esto último, aunque suene reiterativo.

4. La elaboración de hipótesis.

Se parte insistiendo en que el modelo teórico permite hacer predicciones o dejar claro que se piensa lo que va a ocurrir. Ejemplo de predicciones a las que pueden llegar los alumnos son las siguientes:

- El sistema m_1 y m_2 se mueve con aceleración constante, pues, tienen un movimiento uniformemente acelerado.
- El montaje experimental es un sistema dinámico que cumple con la segunda ley de Newton.

5. El control de variables.

En este punto la discusión debe girar alrededor de que el variar uno de los parámetros identificados puede tener incidencia en el tiempo, mientras el resto permanece constante. El control de variables debe ser comprendido, por lo tanto, como un análisis cualitativo del papel de las variables identificadas y en este proceso el modelo teórico elaborado tiene mucho que aportar. En otras palabras, se debe promover la comprensión sobre lo que es el control de variables y como el modelo teórico ayuda a hacerlo operativo y funcional en el proceso de encontrar una respuesta al enunciado coherente con la Física. Pero, esta variación de los parámetros debe ser controlada y planificada. Esto implica que el orden y la sistematicidad son importante. Por último, es importante, establecer diferencias claras entre la variable dependiente (y) y la variable independiente (x), la primera es medida por el experimentador y la segunda es controlada.

Lo anterior tiene como punto de partida el modelo. Las variables que componen las expresiones 5 y 6 se pueden clasificar en: variable independiente, variable dependiente, variables que permanecerán constantes (tabla 1). Nuevamente se hace hincapié en la importancia del orden y la sistematicidad.

Tabla 1. Variables a medir.

Control	Variable a medir (Variable dependiente)	Variable a controlar (Variable independiente)	Variables que permanecerán constantes
1	tiempo	m_1	Δx , $ g^* $, θ , m_2
2	tiempo	m_1	Δx , $ g^* $, θ , m_1

3	tiempo	senθ	Δx, g [*] , m ₁ , m ₂
---	--------	------	--

En este punto señalamos que hacer hincapié en que la claridad del modelo sirvió de base para un análisis cualitativo del control de variables.

6. El establecimiento de las bases del análisis cuantitativo del fenómeno estudiado.

Para poner a punto el modelo matemático, en ambos contextos, se lleva a cabo un proceso de simplificación tanto de la expresión 5 como de la 6. Por ejemplo, se pueden simplificar ambas expresiones dividiendo todos los términos que las conforman por el primer término del numerador (2Δxm₁), tanto los términos del numerador como del denominador.

$$t^2 = \frac{\frac{2\Delta xm_1 + 2\Delta xm_2}{2\Delta xm_1} + \frac{2\Delta xm_2}{2\Delta xm_1}}{\frac{m_2 g}{2\Delta xm_1} - \frac{m_1 g \text{ sen } \theta}{2\Delta xm_1}} \quad (7)$$

A partir de 7, para tomar en cuenta la simetría entre las masas, resulta,

$$t^2 = \frac{1 + \frac{m_2}{m_1}}{\left(\frac{g}{2\Delta x}\right)\frac{m_2}{m_1} - \frac{g \text{ sen } \theta}{2\Delta x}} \text{ donde } \frac{m_2}{m_1} = X. \text{ donde .}$$

A partir del control 1 (tabla 1), la expresión 5 se puede reescribir como sigue, $y = \frac{x+A}{B+Cx}$. Lo mismo se hace con los

otros términos de la expresión 5 o 6 de forma sistemática y ordenada, se pasa a dividir entre 2Δxm₂, luego, entre m₂g y así sucesivamente hasta obtener todas las posibles expresiones simplificadas de la dicha expresión. Se presenta el resultado de este último proceso descrito para el contexto con fricción. En este punto se invita a los alumnos a hacer lo mismo para el caso sin fricción.

7. El procedimiento para la toma de datos.

El modelo teórico guía el procedimiento a seguir, pues ayudó a identificar claramente el tratamiento que se debe tener con las variables. Lo que permite establecer que la recopilación de información girará alrededor de tres aspectos:

- Variación de m₁ y la medición del tiempo (m₂, Δx, senθ y el módulo del campo gravitatorio son constantes);
- Variación de m₂ y medición del (m₁, Δx y senθ y el módulo del campo gravitatorio son constantes);
- Variación de sen θ y medición del (m₁, m₂, Δx constantes y el módulo del campo gravitatorio son constantes).

8. El manejo técnico los softwares para la toma de datos (Tracker) y el tratamiento y análisis de los datos (Qtiplot).

El ahorro de tiempo, que implica el uso de ambos programas, facilita la repetición de la toma de datos, en el menor tiempo posible, si se amerita. Esta misma ventaja se tiene cuando se construyen las representaciones gráficas

que relacionan las variables. Lo que permite dedicar más tiempo al análisis detallado de las curvas que se generen con el programa Tracker y su correspondiente ajuste. Lo anterior se traduce, a su vez, en que los estudiantes tendrán más tiempo para la discusión y reflexión de lo que hacen.

9. El análisis de los resultados.

En este caso, solo se describen los resultados de la variación de sen θ midiendo el tiempo (donde m₁, m₂, Δx, y el módulo del campo gravitatorio son constantes). Los datos obtenidos para el caso en que la variable independiente es el sen θ se representan gráficamente, en la figura 2.

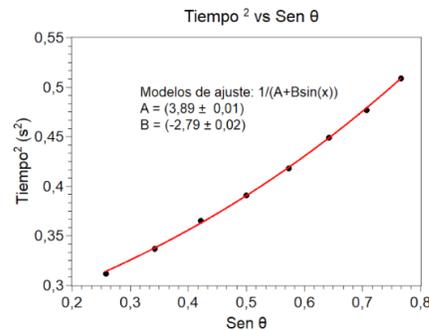


Figura 2. Tiempo vs sen θ.

A continuación, se presenta el valor obtenido para el coeficiente de fricción cinética (tabla 2).

Tabla 2. Valor obtenido para el coeficiente de fricción cinética.

Modelo general (sistema con fricción)						
Dividiendo entre	Posibles modelos	Y	X	Modelos simplificados derivados del modelo original para ajuste		
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

La elaboración de conclusiones.

Hay muchos puntos sobre los que se pueden hacer hincapié al escribir las conclusiones, (la comparación de los resultados con el modelo teórico o con las predicciones, etc.) Por ejemplo, una conclusión, puede ser: Se logró describir un método para el estudio indirecto del coeficiente de fricción cinético “μ” a partir de un modelo

matemático con sentido físico que tiene como eje fundamental la solución de la ecuación del movimiento de un sistema con fricción y un sistema sin fricción.

CONCLUSIONES

Para un docente de Física, en un país en vías de desarrollo, donde la falta de tiempo debido a los currículos enciclopédicos, listado interminable de contenidos formulados desde la lógica de la disciplina, la experiencia descrita no sería factible. Pues, esa sola experiencia toma mucho tiempo. Por lo tanto, se desecharía, sin reflexionar sobre que el enfoque que se intenta dar a dicha experiencia tiene como finalidad rescatar: la naturaleza de la Física como ciencia experimental. Naturaleza que se ha perdido en el proceso de búsqueda de simplicidad y reduccionismo con la finalidad de construir un proceso de aprendizaje más fácil y accesible a los estudiantes, para evitar los fracasos escolares. Pues, se entiende fracasos escolares como fracasos de los gobiernos y los ministerios de educación.

El reduccionismo, como herramienta para evitar fracasos en Física, se traduce, en plena era de los nativos digitales a una enseñanza de la Física, en las escuelas y universidades, centrada en la resolución de ejercicios cuantitativos, mecánicos y sin sentido. Los estudiantes a cualquier nivel, ¿aprenden más con este tipo de enseñanza reduccionista? ¿son más capaces de resolver un problema real? Entonces, el reduccionismo en la enseñanza de la física a ejercicios cuantitativos ¿ha valido la pena desde la perspectiva económica para los países en desarrollo? No se puede olvidar que la Física es fundamental para el desarrollo científico de las sociedades modernas. Se escucha desde las instancias educativas superiores que se debe promover que los estudiantes sean competentes científicamente. Pero, las herramientas que se le están dando a los estudiantes en las aulas, no promueven la comprensión de las fenómenos vías los hechos y mucho menos los ayuda a organizarse para mejor aprender.

Es comprensible y aceptable que trabajar en la integración de los aspectos cualitativos (la comprensión del fenómeno), a los aspectos cuantitativos (los modelos teóricos) no es una tarea fácil al momento de diseñar y planificar la enseñanza de la Física, para una mejor comprensión de la naturaleza de la Física y sus modelos. Pues, implica desligarse de la lista de contenidos sin sentido, desfasados, descontextualizados y de hace dos siglos que contienen los currículos. Por lo que se hace un llamado a tomar en cuenta que hay que cambiar los currículos y que se abra la puerta a otros contenidos, por ejemplo, contenidos que giren alrededor de problemas reales y creíbles, donde el proceso de solución de estos ayude a formar ciudadanos reflexivos, críticos, reguladores continuos de sus acciones, cultos y que usen de manera eficiente las distintas herramientas que tienen a su disposición. Lo que abre las puertas al mundo del aprender a aprender, ya

que la herramienta más potente que tiene el Ser Humano es su capacidad de pensar y reflexionar. Esto último, parece haberse olvidando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, Á., Manasse-ro-Mas, M. A., & Acevedo-Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia: Fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), 202-225.
- Carrascosa, J., Gil Pérez, D., & Vilches, A. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 238(2), 157-181.
- De Pro, A. (2013). Enseñar Procedimientos: por qué y para qué. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 73, 69-76.
- Fernández, B. (2004). *El desarrollo de las Ciencias Exactas en Panamá en el primer centenario de la Republica (1903-2003), en Panamá: Cien años de República*. Editorial Universidad de Panamá.
- Gil Pérez, D., & González, E. (1993). Las prácticas de laboratorio de Física en la formación del profesorado. Un análisis crítico. *Revista Enseñanza de la Física*, 6 (1), 47-61.
- Jaime, E. A., & Escudero, C. (2011). El trabajo experimental como posible generador de conocimiento en enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 371-380.
- Mcdonnell, A., Jones, M. I., & Read, S. (2000). Practical considerations in case study research: the relationship between methodology and process. *Journal of Advanced Nursing*, 32(2), 383 - 390.
- Open Source Physics. (2019). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education*. <https://physlets.org/tracker/>
- Perren, M. A., Bottani, E. J., & Odetti, H. S. (2004). Problemas cuantitativos y comprensión de conceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 105-114.
- Real Academia Española. (2006). *Diccionario de la Lengua Española*. Espasa Calpe.
- Stake, R. E. (1998). *Investigación con estudios de casos*. Ediciones Morata.
- Vasilief, I. (2019). *The QtiPlot Handbook*. <https://www.qtiplot.com/doc/manual-en/index.html>
- Vázquez Bernal, B., Jiménez-Pérez, R., Mellado Jiménez, V., & Martos Carrasco, M. (2009). Formación y Enseñanza de las Ciencias. Estudio de caso de una profesora de Ciencias de Secundaria. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 12(3), 99-109.