



Estudio de sistemas físicos reales asistido por video análisis favorece el desempeño investigativo experimental

Examine of real physical systems with the aid of video analysis favors experimental research performance

José Luis Abeleira Ortíz

Universidad de Las Tunas, Las Tunas, Cuba
joseluis@ult.edu.cu

Noelio Vázquez Vargas

Universidad de Las Tunas, Las Tunas, Cuba
noeliovv@ult.edu.cu

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.09.18.001>

Recibido: Noviembre 16, 2020

Aceptado: Enero 22, 2021

Resumen: El video análisis es uno de los recursos informáticos utilizados para el desarrollo de la actividad experimental en la enseñanza de la Física. Es portador de características particulares que posibilita a los usuarios estudiar sistemas físicos reales en un entorno virtual y hacer modelaciones de los cambios que tienen lugar en ellos. La presente investigación está dirigida a diseñar e implementar investigaciones experimentales asistidas por video análisis para, a partir de la sistematización del procedimiento investigativo experimental, favorecer el desempeño de los estudiantes mediante la investigación de sistemas físicos reales. A manera de ejemplo se ofrece la modelación de una actividad que parte de la necesidad de conocer el gasto de agua de un sistema físico real. La metodología empleada consistió en evaluar el desempeño de los estudiantes a partir de pruebas pedagógicas y observaciones aplicadas durante la ejecución de las actividades propuestas. El procesamiento estadístico de los resultados permitió concluir que existen diferencias significativas en el desempeño de los estudiantes al comparar los resultados antes y después de la ejecución de las actividades experimentales diseñadas.

Palabras clave: *Desempeño Investigativo Experimental, Video Análisis, Actividad Experimental, Enseñanza de la Física Universitaria.*

Abstract: Video analysis is one of the computer resources used to develop experimental activities in the teaching of Physics. It carries particular features that enables users to examine real physical systems in a virtual environment and model the changes that take place in such real physical systems. This current research paper aimed to design and implement experimental investigations assisted by video analysis in order to enhance learner performance through the exploration of real physical systems with the aid of the systematization of an experimental research procedure. As an example, the modeling of an activity is offered which is based on the need of determining the water consumption of a real-world physical system. The methodology used consisted of assessing learner performance using different assessment activities such as pedagogical tests and observations. The statistical processing of results showed significant differences regarding learner performance comparing the learning results before and after the execution of the designed experimental activities.

Keywords: *Experimental Research Performance, Video Analysis, Experimental Activity, Teaching of University Physics.*

1. Introducción

Dos características importantes de la actividad científica contemporánea son la progresiva presencia de la experimentación y el notable soporte tecnológico que la acompaña. Lo que se puede investigar y las conclusiones que es posible alcanzar sobre los procesos estudiados con frecuencia es altamente dependiente de la tecnología disponible, en particular, de los recursos informáticos.

Los grandes avances que en las últimas décadas ha tenido el desarrollo de la informática, han marcado los métodos empleados por otras ciencias para avanzar en el conocimiento de la realidad objetiva, a reconfigurar una nueva manera de acceder a la realidad y reconstruir significados [1]. La enseñanza de las ciencias no está ajena a este fenómeno, el desarrollo tecnológico ha facilitado la creación de recursos informáticos que apoyan al profesor en su quehacer; además de constituir tecnología de punta empleada en investigaciones científicas, desde hace algunas décadas forman parte de las dotaciones de los laboratorios de Física en muchas universidades.

Las ideas expuestas anteriormente justifican la necesidad de orientar la enseñanza de las ciencias a partir de investigaciones asistidas por recursos informáticos disponibles, aspectos que son tomados en cuenta al diseñar el currículo de las carreras universitarias en la actualidad. Al respecto entre los objetivos del modelo del profesional de la carrera de Licenciatura en Educación. Física, correspondiente al plan de estudios E se consigna:

“Utilizar métodos y formas de trabajo de la actividad científica contemporánea como la búsqueda, procesamiento y comunicación de información, el planteamiento de interrogantes, la modelación de situaciones, emisión y contrastación de hipótesis, [...] el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y el método experimental, el análisis de resultados en la solución de problemáticas de interés social, de la profesión y personal” [2].

No obstante, al ejecutar investigaciones experimentales en Física el desempeño de los estudiantes no es coherente con la aspiración anterior. Desde la práctica profesional docente y los resultados del proyecto de investigación: “La formación del profesional de la educación en Ciencias Naturales y Exactas”, se ha podido corroborar; a partir de observaciones, el análisis de los informes de prácticas de laboratorio y el intercambio con otros docentes; que los estudiantes de la carrera de Física manifiestan, en los diferentes años académicos, insuficiencias para:

- limitar el problema y predecir su evolución;
- obtener y procesar la información experimental necesaria con el empleo de recursos informáticos;
- comunicar de forma escrita y oral los resultados del proceso investigativo experimental.

Lo anterior permite determinar la existencia de una contradicción entre las exigencias que se plantean desde el modelo del profesional en cuanto al uso de las TIC para la ejecución de investigaciones experimentales y el insuficiente desempeño de los estudiantes ante esta actividad.

La formación experimental de los estudiantes desde el proceso de enseñanza aprendizaje de la Física en contextos universitarios, es un tema sobre el que existen investigaciones cuyos resultados son muy valiosos, aunque unos se han orientado, fundamentalmente, a la formación de habilidades de tipo manipulativas y procedimentales, otros estudios han profundizado en el aprovechamiento de los recursos informáticos para la búsqueda de alternativas al proceso de formación experimental.

Algunas propuestas como Álvarez [3] se centran en realizar entrenamientos virtuales mediante el estudio de sistemas físicos simulados previos a la ejecución de las prácticas de laboratorio real con el objetivo de sistematizar el procedimiento investigativo experimental, lo que permite reconocer que se han orientado a aproximar las

estrategias de aprendizaje al método científico sin embargo manifiestan una contradicción entre la lógica del método didáctico y la lógica del método científico, precisamente al emplear los recursos informáticos solo como un medio de enseñanza y no como un recurso imprescindible para obtener, procesar y comunicar la información experimental.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño e implementación de investigaciones experimentales asistidas por video análisis para sistematizar el procedimiento investigativo experimental y favorecer el desempeño de los estudiantes durante la investigación de sistemas físicos reales. El diseño de las actividades experimentales se sustenta en la metodología propuesta por Abeleira y Vázquez [4].

En su estructura el artículo está integrado por introducción, estado del arte, materiales y métodos, resultados y conclusiones. En el apartado del estado del arte se abordaron diferentes aspectos que sirvieron de referentes teóricos para sustentar la discusión de los resultados como: distinción entre sistemas físicos reales y simulados, valoración de las potencialidades del video análisis como recurso informático y una breve referencia teórica en torno a los conceptos de competencia y desempeño investigativo experimental.

2. Estado del arte

La Física es una ciencia experimental que estudia sistemas y cambios que tienen lugar en nuestro mundo físico, tanto naturales como creados por el hombre. Como toda ciencia, busca que sus conclusiones puedan ser verificadas experimentalmente, razón por la que también se orienta al desarrollo de competencias para esta actividad. En este apartado se comienza con la introducción de tres conceptos básicos: sistema, modelo y simulación para luego referir cómo los recursos informáticos, en particular el video análisis, favorecen una mejor comprensión del estudio de sistemas físicos reales y a modificar el nivel de desempeño durante la ejecución de investigaciones experimentales.

2.1. Sistemas, modelos y simulaciones

El concepto de sistema es de gran utilidad para comprender el estudio de los cambios que tienen lugar en el Universo y las leyes que los explican. “Un sistema es un conjunto de elementos estrechamente vinculados entre sí, los cuales constituyen unidades relativamente independientes” [5]. Como los sistemas más simples se agrupan para formar otros más complejos la selección y definición de lo que constituye un sistema es algo arbitrario y debe estar guiado por las propiedades seleccionadas que se desean estudiar [6].

Un péndulo físico por ejemplo no solo tiene longitud y masa, también tiene temperatura, conductividad eléctrica, velocidad, potencia, elasticidad, absorción óptica, humedad etc. Pretender estudiar todas estas propiedades al unísono no se hace, lo correcto es escoger y estudiar las propiedades relevantes para los fines propuestos [6]. La selección de las propiedades que se desean estudiar determina la tipología del sistema, por lo que es posible clasificarlos en sistemas biológicos, sociales, químicos o físicos. Dentro de cada uno de estos tipos pueden aparecer otras clasificaciones; los sistemas físicos pueden ser mecánicos, eléctricos, magnéticos, ópticos entre otros que a su vez son naturales, creados por el hombre o una combinación de elementos naturales y artificiales.

Desde el punto de vista de las ciencias naturales, la motivación fundamental para el estudio de un sistema es comprender más acerca de su naturaleza. Para aprender más acerca de los sistemas es necesario controlar algunas de sus propiedades (entradas), a este proceso se le llama experimento. Un experimento, generalmente evalúa una hipótesis, que es una expectativa sobre cómo funciona un proceso o fenómeno en particular y constituye un método de investigación científica que permite extraer información de un sistema excitando sus entradas.

En la práctica surgen muchos problemas asociados a la realización de experimentos pues estos pueden ser costosos, peligrosos o que los sistemas que se necesitan estudiar podrían no existir aún. Por la complejidad de los sistemas reales y los problemas prácticos asociados a su realización surge la necesidad de hacer modelaciones del sistema real que no son más que simplificaciones que el experimentador hace de aquellos procesos o cambios que

no son significativos para el estudio que se quiere hacer. El modelo, sea físico o matemático, es un sistema simplificado que refleja las propiedades del sistema real por lo que siempre está relacionado a él [6].

Cuando se realiza un experimento físico sobre el modelo en lugar de sobre el sistema real entonces se está en presencia de una simulación. Una simulación es un experimento efectuado sobre un modelo [6]. Por ejemplo, en la enseñanza de la Física el uso del modelo de gas ideal (modelo físico) y la ecuación de estado (modelo matemático) nos permiten hacer simplificaciones del comportamiento de los gases reales (sistema físico real) en determinadas condiciones (límites de validez del modelo).

Aunque existen varias razones que justifican la necesidad de realizar simulaciones en lugar de realizar experimentos sobre los sistemas reales [6], la ejecución de estos dos tipos de procesos exige desempeños diferentes del experimentador, aspecto que debe ser atendido desde la didáctica de las ciencias donde cada vez son más empleadas las simulaciones computacionales, dadas las potencialidades crecientes de estos recursos informáticos, para el desarrollo de actividades experimentales.

2.2. Recursos informáticos y actividad experimental

La incorporación de recursos informáticos para el desarrollo de actividades experimentales implica un cuidadoso estudio sobre cuáles deben ser los objetivos fundamentales de su utilización en la enseñanza de la Física. En relación con esta cuestión, la literatura muestra dos orientaciones: la que concibe el ordenador, esencialmente, como un facilitador del aprendizaje, un medio de ayuda para el profesor y la que introduce el ordenador con el objetivo de relacionar a los estudiantes con los conceptos y procedimientos que caracterizan la actividad científica contemporánea.

La primera es una orientación en la que se inscriben muchos de los trabajos de investigación y está asociada a propuestas didácticas de simulaciones Applets con ordenador [7]. Estos simuladores computacionales, llamados de presentación, permiten simbolizar digitalmente la evolución temporal de fenómenos u objetos mediante la representación de un modelo visual y abstracto de un tipo de fenómeno mecánico, eléctrico, térmico o de otra naturaleza; lo que podía ser provechoso para motivar, orientar hacia los objetivos de la clase o simplemente para visualizar secuencias del fenómeno físico en estudio [8].

En otras investigaciones más recientes se aprecian valoraciones más prometedoras en cuanto al uso de las simulaciones virtuales para el desarrollo de la actividad experimental en la enseñanza de la Física. Al respecto Legaña, Hernández y Pérez, recomiendan utilizar estrategias didácticas basadas en el estudio de fenómenos físicos reales empleando simulaciones virtuales. Estos autores se basan en la idea de que "(...) esta actividad es de gran utilidad para potenciar el razonamiento analítico, así como tiende a desarrollar en los estudiantes el método experimental, lo cual es fundamental en la Física" [9].

A pesar del valor didáctico de tales recursos informáticos, generalmente cuando los estudiantes trabajan con ellos, no utilizan el ordenador para los mismos fines con que se emplean en la ciencia, es decir, en la resolución de problemas que serían difíciles, o imposibles, de solucionar de otro modo [10]. Al trabajar con ellos, el estudiante se aproxima directamente a un modelo físico, ahora virtual, sin transitar por el proceso de construcción del modelo y muchas veces sin estar en contacto directo con el sistema físico real. La simulación computacional ya ha sido configurada de manera que las propiedades (entradas) a estudiar están establecidas; aspecto que limita el desempeño del estudiante al ejecutar la actividad.

Otros investigadores como Bryan, Brown, Abeleira, Abeleira y Vázquez, Ayala [11], [12], [13], [4], [14] giran sus propuestas en torno a la segunda orientación. Al emplear recursos como *Intelligent Digital Explore System* (IDES) y el análisis de videos es posible la obtención y procesamiento de datos experimentales de sistemas físicos reales. Estas tecnologías ofrecen nuevas ventajas para el diseño y ejecución de investigaciones experimentales en el aula y facilitan la aproximación del trabajo de los estudiantes al quehacer de los científicos en el proceso de obtención del conocimiento.

En el caso de IDES, los datos del sistema real son tomados mediante un grupo de sensores inteligentes conectados a la computadora (hardware) y del programa (software) previamente instalado [14]. En el caso del análisis de video los datos del sistema real son obtenidos a partir de la calibración del video. Ambos recursos brindan la posibilidad de diseñar actividades experimentales que permiten la construcción de modelos físicos (virtuales) y matemáticos, durante el estudio del sistema físico real. En estos casos las simulaciones computacionales (modelo físico virtual) están estrechamente vinculadas al sistema físico real con que interactúa el estudiante.

Respecto al uso de las modelaciones cinemáticas y dinámicas de partículas con video análisis, en la literatura se refiere que las comparaciones visuales que realiza el estudiante son rápidas, intuitivas y capaces de discriminar pequeñas diferencias. Los acuerdos visuales facilitan validar modelos más convincentemente que las comparaciones numéricas o gráficas. Los desacuerdos visuales conducen naturalmente a exploraciones de las limitaciones y el perfeccionamiento de los modelos [12].

Los acuerdos y desacuerdos visuales a los que se hace referencia no son más que la correspondencia o no de la “traza” que dejan los puntos del modelo y los puntos por los que realmente pasó el cuerpo. Una simple observación de estas trazas es suficiente para valorar la correspondencia o no del modelo elaborado con la propiedad en estudio, lo que constituye el punto de partida para luego hacer las comparaciones numéricas o gráficas.

Entre otras ventajas estos recursos permiten una rápida toma de datos en tiempo real, disminuir los errores asociados a las mediciones y establecer relaciones teoría práctica más convincente. Aunque el estudiante trabaja en un entorno virtual los datos obtenidos corresponden a sistemas físicos reales, aspecto que influye en la motivación por el objeto de estudio y que no siempre se garantiza con las simulaciones computacionales [15].

Además, permiten al profesor adaptar la experiencia de aprendizaje a los objetivos, disminuir o aumentar el nivel de complejidad, incluir o excluir ciertos aspectos, adoptar condiciones idealizadas y crear situaciones experimentales que permiten a los estudiantes concentrarse en los conceptos fundamentales o participar en la construcción de modelos de sistemas físicos reales, en la experimentación con ellos y hacer abstracción de múltiples aspectos secundarios presentes en cualquier situación real, todo lo cual incide en el desempeño investigativo experimental.

2.3. Desempeño investigativo experimental

Dada la ambigüedad que existe en el uso del término competencia se considera oportuno hacer una distinción entre las categorías competencia y desempeño. En el artículo titulado “Formación y desarrollo de competencias en la educación superior cubana” su autora la doctora Nancy Montes de Oca, haciendo uso de las categorías aristotélicas de potencia y acto llega a la “relación entre competencia y actuación, por lo cual la competencia pasa inevitablemente por la acción y por una serie de actos o desempeños” [16].

De acuerdo con esta distinción el desempeño se expresa en el comportamiento o la conducta en las tareas a cumplir, este término designa lo que el sujeto en realidad hace y no sólo lo que sabe hacer, es una expresión del desarrollo alcanzado en las competencias. No es lo mismo saber investigar que estar investigando. Así, un estudiante puede ser muy competente para ejecutar investigaciones experimentales, pero es en la actividad donde manifiesta esta cualidad.

Álvarez, en total correspondencia con la definición de competencia propuesta por Tobón define el desempeño investigativo experimental como “la cualidad a través de la cual se manifiesta la disposición, la comprensión y la actuación experimental del estudiante para alcanzar los propósitos planteados al efectuar las prácticas de laboratorio de la disciplina Física en carreras universitarias. Es poner a funcionar todos los procesos pertinentes del pensamiento y la acción que le permita al estudiante solucionar los conflictos propios de la actividad

investigativa experimental y que lo conduzca a un mejoramiento continuo de sus conocimientos, habilidades, estrategias, conforme a valores, con metacognición y ética” [3].

La definición anterior es asumida con lógicas adecuaciones atendiendo a que los desempeños asociados a la investigación experimental en Física no solo tienen lugar en el contexto de la práctica de laboratorio. Estos desempeños pueden manifestarse en la solución de tareas diseñadas con orientación investigativa y cuya solución exija un proceder experimental con el empleo de recursos informáticos y recursos del laboratorio de Física, durante cualquier tipo de clase o durante la actividad extradocente.

Los criterios de desempeño, entendidos como los resultados esperados en términos de productos de aprendizaje (evidencias), establecen las condiciones para inferir el desempeño. Ambos elementos (criterios y evidencias) son la base para evaluar y determinar si se alcanzó la competencia. Por esta razón, los indicadores de evaluación están estrechamente relacionados con las características de la competencia a evaluar [13].

Fueron asumidos como indicadores de esta investigación los criterios de desempeño y sus correspondientes evidencias propuestos por Álvarez [3] para caracterizar la competencia investigación experimental, estos son:

- **Identifica el conocimiento:** Como evidencias de este indicador se evaluará cuando el estudiante es capaz de identificar los conocimientos tanto de la disciplina Física como de otras que se consideren sean los apropiados para abordar el proceso de solución experimental del fenómeno físico en estudio, limitar el problema y predecir su evolución (emite hipótesis).
- **Emplea la estrategia adecuada:** Como evidencias de este indicador se evaluará la capacidad del estudiante para desarrollar cada etapa del método investigativo experimental, obtener la información experimental necesaria y suficiente con el empleo del video análisis y los medios del laboratorio, cumplir con las medidas de seguridad en el laboratorio y colabora para que sus compañeros de clases también lo hagan.
- **Interpreta la información experimental:** En este caso se evaluará el dominio de métodos matemáticos como los mínimos cuadrados u otro que evidencie el rigor científico del proceso investigativo experimental asumido mediante el uso de los recursos informáticos para el procesamiento de la información. Si busca identificar una ley Física debe reconocer en la expresión matemática obtenida la relación entre las constantes y variables dependiente e independiente correspondientes al fenómeno Físico en estudio. Si busca la propiedad del proceso o fenómeno de estudio debe obtener la pendiente de la curva de ajuste, reconocer el significado del valor del coeficiente de correlación e identificar la propiedad en estudio.
- **Comunica los resultados:** Como evidencias de este indicador el estudiante debe notificar de forma escrita y oral los resultados del proceso investigativo experimental. Se tendrán en cuenta la disposición para comunicar sus resultados, la calidad de la comunicación, suficiencia de las ideas expuestas, apego a la teoría, etc.
- **Actúa con apego a las normas, los valores y la ética:** Como evidencias de este indicador se tomará en cuenta la disciplina, el cuidado de los recursos del laboratorio, la colaboración con sus compañeros de grupo para cumplir y hacer cumplir lo establecido, la honradez y dedicación al trabajo.

La escala valorativa de estos indicadores y sus correspondientes evidencias por niveles de desempeño se determina a partir de un rango establecido al que le corresponden ciertos resultados o evidencias de desempeño. De acuerdo con Álvarez [3] los niveles de desempeño establecidos son: preformal, receptivo, resolutivo, autónomo y estratégico.

En investigaciones anteriores, este mismo autor citado por Abeleira y Vázquez, define como procedimiento investigativo experimental “aquel proceso que partiendo del problema en estudio se predice la evolución del mismo y se elabora el diseño investigativo experimental requerido para la solución del referido problema, ello demanda la utilización de equipos, instrumentos y accesorios así como, de diferentes recursos tecnológicos lo cual aportará la información pertinente, ésta será analizada con los recursos necesarios, debiendo el estudiante

comunicar de forma oral y escrita los resultados alcanzados lo cual permitirá reestructurar o sistematizar el conocimiento que posee y como expresión del desempeño investigativo experimental alcanzado” [4].

La Figura 1 ilustra la secuencia de las acciones descritas en la definición anterior, como se puede observar durante el video análisis es posible obtener datos experimentales del sistema físico real y hacer análisis de sus resultados de acuerdo a lo planteado en las secciones anteriores.

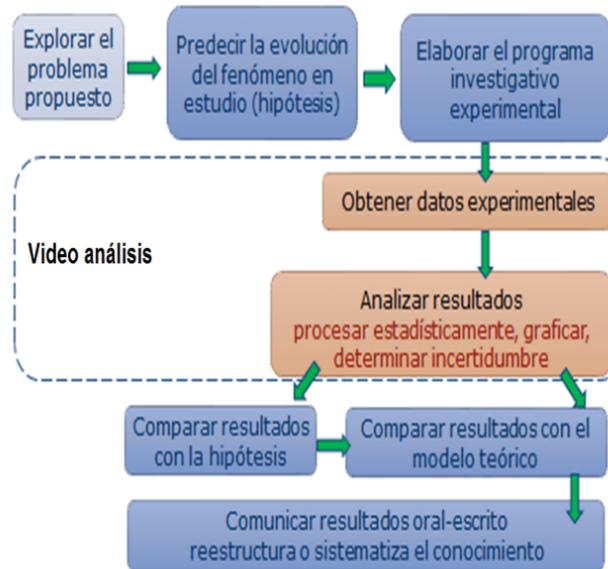


Figura 1. Procedimiento investigativo experimental.

La sistematización de este proceder desde variadas actividades contribuye a favorecer el desempeño investigativo experimental de los estudiantes [3]. Sobre las acciones para el diseño, ejecución y evaluación de las actividades fueron tomadas en cuenta las propuestas por Abeleira y Vázquez [4].

3. Materiales y métodos

La implementación de las actividades experimentales diseñadas exige el análisis de video para su solución. Pese a la variedad de plataformas existentes para hacer análisis de videos se elige Tracker dadas las características referidas por Abeleira y Vázquez [4].

Para el cumplimiento del objetivo propuesto fueron empleados diferentes métodos de investigación. La sistematización teórica para la determinación de los presupuestos teóricos que sustentan la investigación y el diagnóstico. La modelación para el diseño de las actividades experimentales implementadas. El estudio de los productos del proceso pedagógico, la observación y las pruebas pedagógicas para evaluar el nivel de desarrollo de la competencia investigación experimental. Se realizó un experimento pedagógico formativo para constatar cuantitativamente la factibilidad de las actividades diseñadas, lo que permitió enriquecer la valoración cualitativa correspondiente al desempeño investigativo experimental de los estudiantes.

El experimento pedagógico formativo tuvo dos momentos de intervención. Para ello se aplicaron la segunda y tercera pruebas pedagógicas, que, a diferencia de la aplicada para el diagnóstico inicial, exigían para su solución el empleo del video análisis. De esta forma se descarta la posibilidad de que las diferencias entre los resultados de ambas pruebas se deban al empleo de recursos diferentes. Para comprobar la efectividad de la propuesta se hace una comparación entre los resultados integrales de la segunda y tercera observación del desempeño

correspondientes a las pruebas pedagógicas 2 y 3. Ambas pruebas pedagógicas, espaciadas temporalmente entre sí, forman parte de las tareas experimentales implementadas a lo largo del estudio.

También, fueron empleados diferentes procedimientos matemático-estadísticos como la prueba de Wilcoxon, para determinar el progreso de los estudiantes antes y después de aplicadas las actividades experimentales y determinar si las diferencias encontradas son significativas. La muestra estuvo constituida por 12 estudiantes de la carrera de Licenciatura en Educación. Física, correspondientes al período académico 2019-2020.

4. Resultados

Los resultados de la investigación son agrupados en dos secciones: la primera dirigida a la propuesta, se presenta a manera de ejemplo una de las actividades diseñadas e implementadas en la propuesta; la segunda dirigida a la evaluación del desempeño, resume los resultados del experimento pedagógico formativo.

4.1. Ejemplificación de una actividad experimental diseñada

Las actividades experimentales propuestas complementan la metodología referida anteriormente y en su diseño fueron tomadas en cuenta las etapas de planificación de la actividad, orientación-motivación, ejecución y evaluación [4]; además constituyen el aporte práctico de esta investigación. En total fueron implementadas en la práctica pedagógica 25 actividades en dos asignaturas de la disciplina Física Básica y a manera de ejemplo proponemos el análisis de una de ellas.

La actividad se incluye durante el estudio del tema “Mecánica de Fluidos” en el primer año académico de la carrera y como objetivo de la clase se propuso: resolver problemas experimentales relativos al flujo de fluidos utilizando las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli, empleando los recursos informáticos disponibles y haciendo valoraciones del impacto de estos resultados científicos en la tecnología y la sociedad.

Desde el estudio de temas anteriores ya los estudiantes han empleado Tracker para resolver diferentes problemas experimentales. Su uso en las conferencias o clases prácticas ha contribuido a la sistematización del proceder investigativo experimental y motivar a los estudiantes mediante el estudio de sistemas y cambios físicos difíciles de realizar empleando los recursos tradicionales del laboratorio. Durante el tratamiento a los contenidos del tema son abordados conceptos y fundamentos físicos como: fluido ideal, flujo o descarga de un fluido, flujo volumétrico, flujo de masa, la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli entre otros.

Durante el tratamiento en clase de estos fundamentos físicos se crean las condiciones para desarrollar la actividad experimental que tiene como título: “Medición del gasto de agua”. Para la presentación del problema el profesor puede hacer uso de un sistema constituido por un recipiente con agua, abierto en su parte superior y que tiene una abertura, con un tapón, que se encuentra por debajo del nivel del agua contenida de manera que al retirar el tapón el agua se derrama. ¿Qué volumen de líquido saldrá por dicha abertura en la unidad de tiempo? ¿Cuál es la velocidad de salida del líquido? ¿De qué factores depende, el alcance del chorro de agua, medido desde la vertical que pasa por el orificio de salida?

Aunque el problema presentado está bien limitado, el nuevo conocimiento a que arriban los estudiantes debe llevarlos a caracterizar el sistema físico en particular que se les muestra. Para ello deben diseñar una actividad experimental y arribar a conclusiones. No es una actividad tipo receta pues, aunque se le proporciona el problema no se ofrece el procedimiento ni las acciones a seguir paso a paso. En este momento el profesor debe estimular desde el trabajo en equipos de estudiantes a la emisión de ideas que permitan encontrar la vía de solución.

En este caso, como se trata de hacer un cálculo (gasto de agua) la hipótesis debe estar sustentada en el modelo físico (fluido ideal) y el modelo matemático (la ecuación de continuidad). Por tanto, como hipótesis podría quedar que: si consideramos el fluido incompresible, no viscoso, irrotacional y estacionario entonces el flujo de agua a través de las dos secciones es constante, o sea:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{constante} \quad (1)$$

En la ecuación anterior los parámetros involucrados Q es el flujo o descarga de un fluido (gasto), A_1 y A_2 son las áreas de las secciones transversales por donde pasa el fluido, v_1 y v_2 sus velocidades.

En la elaboración del programa investigativo experimental se deben tomar en cuenta los recursos disponibles para hacer las mediciones necesarias. El profesor debe estimular la mayor variedad de propuestas sobre cómo ejecutar el experimento, qué instrumentos utilizar, qué magnitudes serán medidas, el orden de las acciones, las ventajas y desventajas de cada propuesta etc. Como el tiempo de vaciado del recipiente es relativamente corto resulta conveniente emplear el video análisis para resolver el problema y no otros medios.

Para la solución del problema empleando video análisis es necesario que los estudiantes haciendo uso de una cámara digital filmen un clip de video donde se capten imágenes el proceso de vaciado del recipiente, o este video puede ser facilitado por el profesor. Una vez realizadas las operaciones básicas como importar el video, seleccionar los fotogramas a analizar y calibrar Tracker haciendo uso de la regla graduada que aparece en la imagen entonces es posible medir directamente los diámetros d_1 y d_2 de las secciones del recipiente haciendo uso de la herramienta de medida cinta métrica que ofrece el programa.

Para obtener el valor de la velocidad de descenso de la superficie del líquido v_1 se debe ubicar la referencia, crear una masa puntual y hacer el seguimiento de un punto sobre la superficie horizontal del líquido. En la ventana principal se obtiene una imagen como la mostrada en la Figura 2. La misma contiene un fotograma del video, la tabla de datos experimentales y un gráfico en el que se evidencia el cambio de la posición de la superficie horizontal del líquido respecto al tiempo.

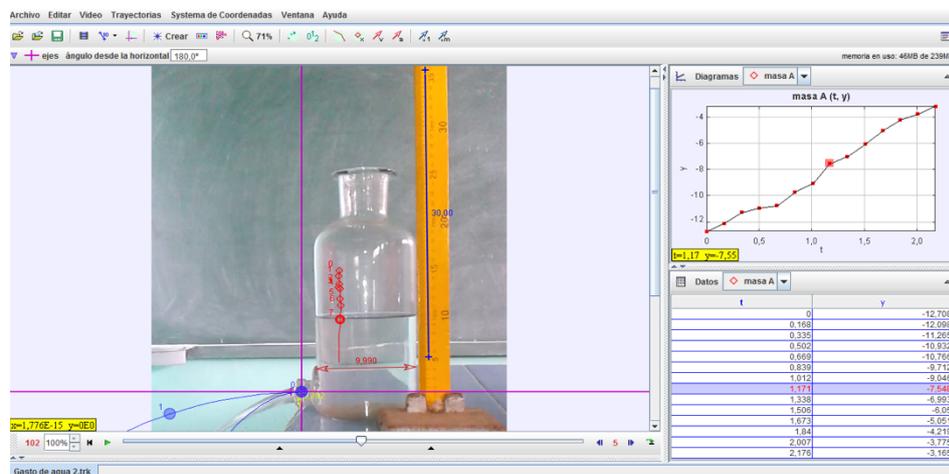


Figura 2. Ventana principal de Tracker.

Para encontrar el valor de la velocidad v_1 se procede a hacer el análisis del gráfico de posición en función del tiempo. Haciendo uso de las herramientas de datos se traza la curva de ajuste seleccionando los puntos de máxima amplitud, los resultados de esta acción se muestran en la Figura 3.

De la ventana herramienta de datos se obtiene la ecuación de la curva de ajuste. En este caso ya los alumnos conocen que es una función lineal cuya pendiente coincide con el valor de la velocidad de descenso de la superficie del líquido que resulta ser $v_1 = 4,64 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$. Como el recipiente es de base circular con los valores de los diámetros se calculan los valores de A_1 y A_2 . De la ecuación (1), sustituyendo los valores de v_1 , A_1 y A_2 se calcula el valor de v_2 . Los resultados encontrados se organizaron en la Tabla 1.

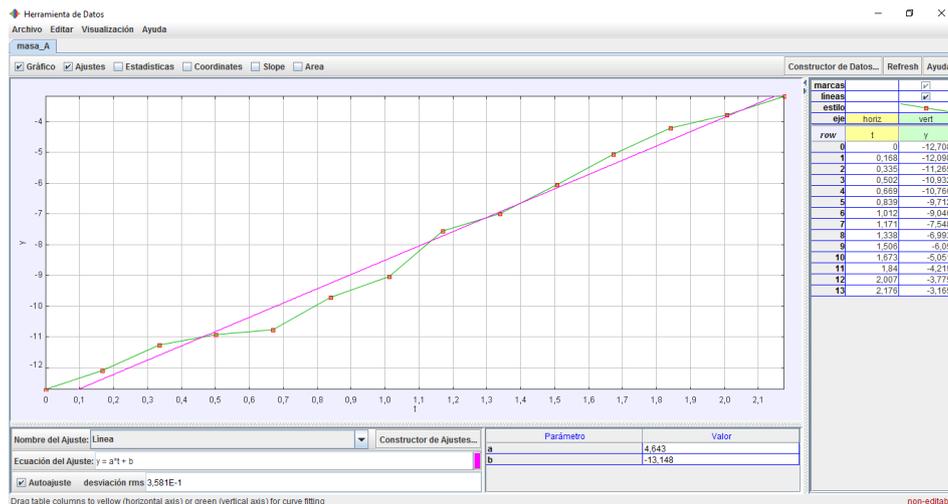


Figura 3. Ventana herramienta de datos.

Tabla 1. Resultados del experimento.

Diámetros (10^{-2} m)	Áreas ($10^{-4}m^2$)	Velocidades (10^{-2} m/s)	Gasto ($10^{-6} m^3/s$)
$d_1 = 9,9$	$A_1 = 76,93$	$v_1 = 4,64$	$Q_1 = 356,9$
$d_2 = 2,4$	$A_2 = 4,52$	$v_2 = 78,95$	$Q_2 = 356,8$

Fuente: Elaboración propia.

La proximidad en los resultados del gasto en ambas secciones del recipiente demuestra la correspondencia entre el modelo físico (fluido ideal) y el sistema físico real (agua). Respondiendo las primeras dos preguntas se puede plantear que como el gasto es aproximadamente $Q = 357 \cdot 10^{-6} m^3/s$ entonces el volumen de agua que sale por la abertura en un segundo es $V = 357 \cdot 10^{-6} m^3$.

Para responder a la tercera pregunta sobre los factores que determinan el alcance se puede hacer uso de la herramienta constructor de modelos, a partir de ella es posible hacer modificaciones a los valores de algunas variables del modelo matemático, los acuerdos visuales facilitarán validar dicho modelo de manera convincente. Por ejemplo, al aumentar el valor de la velocidad de salida (v_2) o disminuir el valor de la aceleración de la gravedad (g) la traza de puntos se aleja de la trayectoria descrita por el chorro de agua (ver líneas azules en la Figura 2), mostrando que el alcance sería mayor en estos casos, pero cuando los datos que se introducen al modelo se corresponden con los del sistema real entonces la correspondencia es mayor.

También es importante analizar que las diferencias o desacuerdos visuales observados pueden estar asociados a las limitaciones del modelo. Por ejemplo, para describir la trayectoria seguida por el chorro de agua se ha empleado un modelo matemático que no tuvo en cuenta la fricción con el aire y en el cálculo de la velocidad de salida también partimos de la suposición de que el líquido era un fluido ideal.

Con los resultados obtenidos los estudiantes deben elaborar un informe de investigación, el cual debe discutir en colectivo. Para la evaluación serán tomados en cuenta los indicadores de desempeño y sus correspondientes evidencias presentados anteriormente. Durante la discusión del informe el profesor puede realizar las siguientes preguntas:

1. ¿Qué le ocurre al valor de la velocidad de salida v_2 si se reduce el diámetro de la abertura?
2. ¿Qué le ocurriría al alcance del chorro de agua si repetimos este experimento en la Luna?
3. ¿Podemos afirmar que la velocidad de descenso del nivel de líquido en el recipiente fue constante?
4. ¿Existe correspondencia entre sus resultados experimentales y el modelo teórico?
5. ¿Qué sugerencias usted propone para perfeccionar el sistema experimental empleado?

Con el desarrollo de las actividades implementadas los autores han podido confirmar que los recursos informáticos en general y el análisis de videos en particular pueden jugar un importante papel en la gestión el conocimiento [17] y en la enseñanza de la Física permiten caracterizar con mayor precisión los sistemas físicos reales.

4.2. Evaluación del desempeño investigativo experimental de los estudiantes

Como resultados de la indagación empírica se confirman las manifestaciones de insuficiencias que dieron lugar a la investigación. Los instrumentos aplicados (primera prueba pedagógica y primera observación del desempeño) permitieron evaluar a los estudiantes por niveles de desempeño. En el primer momento de intervención ningún estudiante alcanza las categorías de autónomo ni estratégico, la variable desempeño investigativo experimental es evaluada en los niveles preformal y receptivo en todos los estudiantes. Se revelan potencialidades relacionadas con una actuación de disposición hacia la actividad experimental, la colaboración y el trabajo en equipos.

Al comparar los resultados integrales del desempeño, obtenidos al iniciar y concluir el experimento (segunda y tercera pruebas pedagógicas y observaciones del desempeño) se verifica que todos los estudiantes modifican discretamente los resultados en varios indicadores, pero no todos los cambios en la puntuación provocan cambios positivos en el nivel de desempeño. Aunque 4 estudiantes alcanzan un nivel de desempeño autónomo, la variable se evalúa en el segundo momento de intervención en un nivel de desempeño resolutivo, ya que los resultados obtenidos en los cinco indicadores apuntaron a que la mayoría de los estudiantes logran elaborar el protocolo de la investigación, muestran los conocimientos teóricos necesarios y comprensión en la utilización de herramientas tecnológicas, pero no todos alcanzan a aplicar sus conocimientos a nuevos contextos con suficiente independencia.

De los 12 estudiantes 7 modifican a un nivel de desempeño superior, 4 estudiantes no modifican su nivel de desempeño y 1 estudiante modifica su desempeño a un nivel inferior. En la Figura 4 se muestra la cantidad de estudiantes por niveles de desempeño en cada momento de intervención experimental.

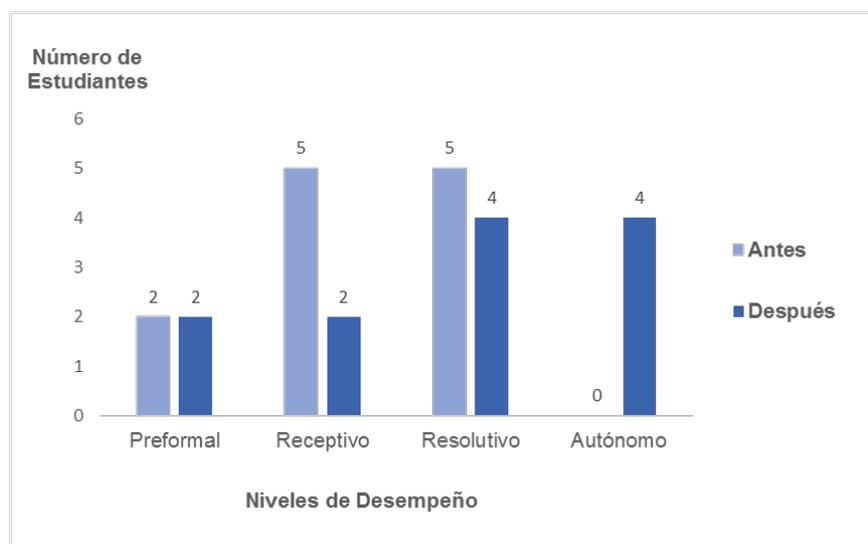


Figura 4. Distribución de estudiantes por niveles de desempeño.

Teniendo en cuenta que el estudio fue realizado con una pequeña cantidad de estudiantes, fue necesario comprobar que las diferencias encontradas son estadísticamente significativas y no resultados del azar. Como la distribución de los datos es libre de curva (no tiene una distribución específica) y la variable dependiente se mide en una escala ordinal entonces es posible hacer la comparación de las muestras relacionadas por medio de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

Para el procesamiento de los datos se empleó el software SPSS 15.0 para Windows. Los resultados de la prueba de Wilcoxon muestran 4 rangos negativos, 7 rangos positivos y un empate para un total de 12 pares de datos. La suma de los rangos positivos es significativamente superior a la suma de los rangos negativos ($10 << 56$) como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	4 (a)	2,50	10
Rangos positivos	7 (b)	8,00	56
Empates	1 (c)		
Total	12		

a Después < Antes
b Después > Antes
c Después = Antes

Fuente: Elaboración propia.

Como el valor de p [Sig. asintót. (bilateral)] resultó ser menor que 0,05, entonces se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que existen diferencias estadísticas significativas que permiten probar que las actividades experimentales implementadas influye en el desempeño investigativo experimental de los estudiantes.

5. Conclusiones

La literatura revisada permite concluir que el estudio experimental de sistemas físicos reales exige desempeños diferentes a los estudios experimentales realizados sobre sistemas físicos modelados, aspecto que debe ser atendido desde la didáctica de las ciencias experimentales. Sin perder de vista la necesidad de incorporar los recursos informáticos a la actividad experimental se debe hacer una selección crítica de su empleo de manera que permitan relacionar a los estudiantes con los conceptos y procedimientos que caracterizan la actividad científica contemporánea.

Las actividades experimentales diseñadas garantizan la convergencia del procedimiento investigativo experimental y el análisis de videos de esta forma complementan propuestas con estos fines, su implementación en la práctica pedagógica para profundizar en el estudio de sistemas físicos reales permite, a diferencia de otros tipos de recursos, involucrar a los estudiantes en el proceso de construcción del modelo físico por lo que constituye una vía para favorecer el desarrollo de la competencia investigación experimental.

La evaluación inicial de los estudiantes, a partir de los indicadores seleccionados, permitió confirmar las manifestaciones de insuficiencias que dieron lugar a la investigación. Los resultados obtenidos, a través de la aplicación de diferentes instrumentos en los dos momentos de intervención experimental, confirman la factibilidad de aplicación de las actividades experimentales diseñadas para favorecer el desempeño investigativo experimental de los estudiantes.

Los autores proponen para futuras investigaciones profundizar en los procesos de comunicación que tienen lugar durante la ejecución de investigaciones experimentales asistidas por recursos informáticos. Estos tienen la particularidad de que la información fluye por los canales virtual y real y donde tienen un alto significado la interpretación de textos discontinuos (tablas de datos, gráficos, ecuaciones, imágenes, etc) que se obtienen directamente del procesamiento de la información experimental.

6. Referencias

- [1] Hernández Leyva, C., Ramírez Gutiérrez, Y., Ramírez Camejo, G., Olano Hernández, Y., Estrada Molina, O. (2017). Las aulas virtuales en la creación y gestión de proyectos educativos: estrategia de capacitación a docentes en la formación de ingenieros. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 5 (9), 91-99. Recuperado de: <https://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/51>

- [2] MES. (2016). *Modelo del profesional. Plan de estudio E. Carrera de Licenciatura en Educación. Física*. La Habana: Ministerio de Educación Superior.
- [3] Álvarez Martínez de Santelices, C. (2016). *Formación-desarrollo de la competencia investigación experimental en la Física para estudiantes de carreras de ingeniería* (Tesis Doctoral). Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz".
- [4] Abeleira Ortiz, J., Vázquez Vargas, N. (2018). Investigaciones experimentales asistidas por video análisis: un ejemplo en la enseñanza de la física universitaria. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 6 (12), 50-56. Recuperado de: <https://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/137>
- [5] González, R. M., Pérez Gómez, Z., Acosta Hernández, S., Sánchez Chávez, X. (2018). *Física. Octavo Grado*. La Habana: Pueblo y Educación.
- [6] Fritzon, P. (2015). *Introduction to modeling and simulation of technical and physical systems with Modelica*. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118094259>
- [7] Fendt, W. (2001). *Applets Java de Física*. Recuperado de: <http://www.walterfendt.dhs.org/default.htm>
- [8] Ibarra, C. (2011). *El proceso de simulación computacional de fenómenos físicos en el área de Ciencias Exactas* (Tesis doctoral). Universidad de Ciencias Pedagógicas Frank País García, Santiago de Cuba, Cuba.
- [9] Legañoa, M., Hernández, M., Pérez, L. (2015). El aprendizaje autónomo de la física: web didáctica de electromagnetismo para estudiantes de ingeniería eléctrica. *Transformación*, 11 (1), 38-48. Recuperado de: <http://transformacion.reduc.edu.cu/index.php/tra>
- [10] Valdés Castro, R. (1996). Papel de la informática en la enseñanza de la Física. En A. Cruz, D. Gil, P. Valdés, C. Furió, J. Carrascosa, J. Colado, J. Mieres, E. Ascencio, J. Fraga, J. M. Perdomo (Eds.), *Temas escogidos de la didáctica de la física* (pp. 102-111). La Habana, Cuba: Pueblo y Educación.
- [11] Bryan, J. (2004). Video analysis software and the investigation of the conservation of mechanical energy. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 4 (3), 284-298.
- [12] Brown, D. (2008). *Video Modeling: Combining Dynamic Model Simulations with Traditional Video Analysis*. Recuperado de: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker>
- [13] Abeleira Ortiz, J. L. (2019). *Metodología para favorecer el desempeño investigativo experimental en la enseñanza aprendizaje de la Física* (Tesis de Master), Universidad de Las Tunas, Las Tunas, Cuba.
- [14] Ayala, L. (2006). Aplicaciones de las computadoras para el diseño y simulación de demostraciones y prácticas de laboratorio de Física. Trabajo presentado en *IV Congreso Internacional Didáctica de las Ciencias*, La Habana, Cuba.
- [15] Abeleira Ortiz, J. L., Vázquez Vargas, N., Peña Duarte, C. R. (2018). Tendencias en la enseñanza de la física universitaria respecto al desempeño investigativo experimental y el empleo de recursos informáticos. En Colectivo de autores (Eds.), *Ciencia e innovación tecnológica, Volumen II*, (pp. 5231-5240). Las Tunas: Editorial Académica Universitaria. Recuperado de: <http://edacunob.ult.edu.cu/xmlui/handle/123456789/73>
- [16] Montes de Oca, N. (2014). Formación y desarrollo de competencias en la educación superior cubana. Humanidades Médicas. *Centro de Desarrollo de las Ciencias Sociales y Humanísticas en Salud*, 14(1), 145-159.
- [17] Díaz Rosabal, E., Gorgoso Vázquez, A., Díaz Vidal, J., Santiesteban Reyes, D. (2017). Las TIC y la gestión del conocimiento. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información (RITI)*, 5 (10), 28-35. Recuperado de: <https://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/60>