

Incorporación de sistemas de adquisición de datos en prácticas de laboratorio: una revisión

Incorporation of data acquisition systems in laboratory practices: a review

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Laura Alegre¹, Cecilia Culzoni¹, Gabriel Bircher¹, Antonela Fissore¹, Manuel Quiroga¹ y Juan Lagrutta¹

¹Facultad Regional Rafaela de la Universidad Tecnológica Nacional
Acuña 49 (2300) Rafaela, Santa Fe, Argentina.

E-mail: laura3556@hotmail.com

Resumen

Se realiza una revisión bibliográfica del tema: incorporación de sistemas de adquisición de datos en experiencias de laboratorio para la enseñanza de la Física. Con este objetivo se analizaron 26 artículos publicados en revistas internacionales y nacionales con referato e indexadas, planteándose diferentes categorías conceptuales para su clasificación. La búsqueda está relacionada con revisiones anteriores logrando una diferenciación a partir de la incorporación de nuevos sistemas de adquisición de datos (SAD) constituidos por los teléfonos celulares y fundamentos didácticos no expresados anteriormente como la educación STEM, sigla de Science, Technology, Engineering, Math.

Palabras clave: Sistemas adquisición de datos; Laboratorio; Física; Revisión.

Abstract

A bibliographic review of the subject "Data Acquisition Systems in Laboratory Experiences for the Teaching of Physics" has been carried out. With this objective, 26 articles, which were published in international and national refereed and indexed journals, have been analyzed, considering different conceptual categories for their classification. The search is related to previous reviews, achieving a differentiation given by the incorporation of new DAS (Data Acquisition Systems) constituted by cell phones and learning foundations not previously expressed as STEM education (Science, Technology, Engineering, Math).

Keywords: Data acquisition systems; Laboratory; Physics; Review.

I. INTRODUCCIÓN

Los sensores son elementos que "se utilizan para medir alguna magnitud física o química, o para detectar la presencia de alguna sustancia o material en algún sistema" (Carranza y otros, 2013).

En la actualidad los sensores de casi todas las magnitudes físicas o químicas responden al estímulo con una señal eléctrica que es transformada hasta llegar a una computadora, tablet o teléfono para mostrar un resultado. Esta cadena formada por el sensor más otros equipos transforma una señal analógica en una digital, posible de ser leída y procesada por una variedad de dispositivos fijos y móviles.

Este tipo de sistemas de adquisición de datos es cada vez más utilizado en los laboratorios para prácticas educativas tanto en el nivel superior como en las escuelas secundarias. Carranza y otros (2013) consideran que "las TIC se constituyen en un valioso recurso para apoyar la actividad experimental en la enseñanza de la física".

Si bien existen diferentes posturas con relación a la utilización de este tipo de tecnologías en el laboratorio, en general se acepta que facilitan el proceso de medición porque es posible obtener resultados más precisos y mejor presentados, si bien no han mejorado mucho la exactitud de los mismos (Bigliani y otros, 2014).

Dentro del proyecto de investigación "Integración de contenidos de ciencias básicas a través de experiencias de laboratorio", se consideró necesario realizar una investigación bibliográfica acerca del uso de las tecnologías mencionadas en prácticas de laboratorio para la enseñanza de las ciencias. En este

caso se informan los resultados que corresponden a dichas prácticas sólo para el proceso de enseñanza y aprendizaje de la física.

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo conocer el estado actual de la incorporación de sistemas de adquisición de datos en prácticas experimentales para la enseñanza de la física, sus limitaciones, ventajas y las recomendaciones que realizan los docentes e investigadores acerca de su utilización. Todos estos aspectos son requeridos para el diseño de nuevas prácticas que incorporen esta tecnología.

La pregunta que guía la presente investigación es ¿cómo aporta la incorporación de sistemas de adquisición de datos a la enseñanza de la Física en diferentes niveles educativos?

II. ANTECEDENTES

Como antecedentes a este trabajo de revisión se pueden citar los siguientes artículos: En primer lugar “Una revisión de literatura sobre el uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la educación básica, media y en la formación de profesores”(Cardona, 2017). En este artículo se exponen los resultados de un relevamiento sobre el uso de sistemas de adquisición de datos en experiencias de laboratorio para la enseñanza de física, clasificando su uso en enseñanza en la formación media y superior y enseñanza para la formación de profesores.

Dentro de cada una de estas categorías se analizan el nivel educativo en el que se implementa la propuesta, los campos conceptuales de física abordados, el referente teórico, los principales tipos de sistemas de adquisición de datos utilizados, así como los software utilizados para el procesamiento de los datos. (Cardona y Lopez, 2017)

En segunda instancia se puede mencionar el artículo denominado “Los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias: tendencias en revistas especializadas” (Franco Moreno y otros, 2016). Los autores sostienen que

el estudio permitió realizar una clasificación admisible de las tendencias en los TPL, en la que predominan las experiencias de aula, seguidas del análisis de sus implicaciones didácticas y de la aproximación a la investigación. En lo tocante a las disciplinas en las que se enfocan los TPL, el orden descendente encontrado es química, biología, física y ciencias naturales. (Franco Moreno y otros, 2016)

En “Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias”(Romero Ariza y Quesada Armenteros, 2014) los autores presentan una revisión bibliográfica y un análisis crítico acerca de la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en todas sus formas para la enseñanza de las ciencias, no sólo sobre sistemas de adquisición de datos. Esto deviene en un abordaje breve y parcial del tema. Por otra parte Velazco y Buteler (2017) realizan una revisión bibliográfica en su artículo “Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años”, abarcando simulaciones computacionales y laboratorios virtuales. En estos artículos es posible observar la tendencia a analizar el impacto que tiene la utilización de simulaciones en el desempeño de los estudiantes.

III. OBJETIVOS

- Conocer el estado actual de la utilización de sistemas de adquisición de datos en la realización de experiencias de laboratorio para la enseñanza de la física;
- Identificar aspectos que favorezcan el aprendizaje y aquellos que puedan dificultarlo, así como el impacto que producen en la educación;
- Establecer en qué niveles educativos se utilizan estas tecnologías;
- Conocer en qué campos conceptuales se están implementando.

IV. METODOLOGIA

Para realizar este trabajo de revisión bibliográfica

...se tuvieron en cuenta los fundamentos que respaldan el desarrollo de los estados del arte como investigación documental; investigación desde la que se obtiene y se trasciende el conocimiento acumulado en torno a un objeto de estudio en un momento determinado. (Chacón y otros, 2013)

Es un proceso que consiste en ir tras las huellas del conocimiento que se pretende profundizar posibilitando determinar cómo ha sido tratado ese conocimiento y cuáles son las tendencias actuales. Esto implica definir claramente qué huellas seguir para dar respuesta al problema de investigación y cómo realizar ese proceso de seguimiento para garantizar el rigor de la consulta y revisión.

Es de destacar que la construcción de un estado del arte o revisión de una temática específica no constituye un trabajo acabado, sino que es insumo para futuras investigaciones y sus ampliaciones. En el caso que nos ocupa se definió la búsqueda especificando un núcleo temático: uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en los diferentes niveles educativos.

En concordancia con los objetivos de esta investigación, se definieron categorías de análisis de los artículos seleccionados, teniendo en cuenta los antecedentes citados.

La búsqueda bibliográfica se acotó en principio en el tiempo fijando un período de 5 años de antigüedad, o sea artículos publicados entre los años 2013 y 2018. Luego, este período se flexibilizó un par de años, debido a que se encontraron trabajos interesantes con uno o dos años más de antigüedad. Esto muestra que el proceso fue flexible, retroalimentándose a sí mismo con los resultados obtenidos.

Se decidió buscar en revistas indexadas en español, portugués e inglés tomando como base la clasificación de Journal Scholar Metrics,

un portal bibliométrico desarrollado por el Grupo de Investigación EC3 de la Universidad de Granada en el que podemos encontrar el impacto científico de las revistas de Arte, Humanidades y Ciencias Sociales. (Deusto, 2018)

Se seleccionaron revistas de educación en ciencias, tecnología educativa, investigación educativa de Europa, América Latina y Estados Unidos. Se incorporaron algunas revistas argentinas aunque no se encontraran en el portal para conocer cuál es la situación del tema en nuestro país. En el caso de las revistas argentinas, se buscaron revistas indexadas que procedieran de universidades nacionales para asegurar su nivel científico.

En un principio se tomó el criterio de consultar revistas de acceso libre y se prefirió optar por aquellas que se encuentran en el cuartil Q1 o Q2. Luego se flexibilizó este criterio ya que se encontraron numerosos resúmenes de trabajos en revistas pagas. En el caso de no haber revistas específicas sobre la temática en dichos cuartiles se seleccionaron del Q3 y Q4.

Una vez identificadas las revistas, la búsqueda se realizó por palabras clave que fueron las siguientes: sensores, sistemas adquisición de datos, física, laboratorio, enseñanza, TIC, tecnología, combinadas de diferentes formas. Otra metodología fue buscar por artículos en ERIC, buscador de artículos de educación, y en JSTOR, que es un buscador de artículos y libros científicos.

Las revistas seleccionadas fueron:

- Revista Enseñanza de la Física (7)
- The Physics Teachers (9)
- Formación Universitaria (1)
- Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada (1)
- Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (2)
- Physics Education (3)
- The Science Teacher (1)
- Elsevier (1)
- Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología (1)

En primer lugar, se dividieron los artículos según correspondiesen a propuestas didácticas, con o sin evaluación, o a artículos sobre impacto y reflexión acerca del uso de sistemas de adquisición de datos (SAD) en experimentación para la enseñanza. Luego se realizaron las siguientes categorizaciones: según el campo conceptual de la física, según el nivel educativo y de acuerdo al tipo de SAD que se utilizan, estableciendo las siguientes categorías: SAD comerciales, cerrados o programables, SAD artesanales y

Alegre y otros

smartphone. Por último se analizan los artículos de reflexión identificando las categorías conceptuales que abordan.

V. RESULTADOS

Se leyeron en total veintiséis artículos, que se detallan a continuación, y se realizó un análisis minucioso de cada uno para encuadrarlos dentro de las categorías propuestas.

TABLA I. Artículos analizados.

Interfaces educativas. (Scagliotti y otros, 2015)
La cinemática en las prácticas experimentales utilizando nuevas tecnologías. (Bordone y otros, 2015)
Modelo de enseñanza-aprendizaje para el estudio de la cinemática de un volante inercial usando tecnologías de la información y la comunicación en un laboratorio de física. (Enrique, 2013)
Uso de TIC en circuitos de corriente continua: propuesta didáctica y evaluación. (Enrique, 2015)
Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio de física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple. (Martínez Perez, 2015)
Estudio del campo magnético de un solenoide con experimento remoto y simulación. (Kofman y otros, 2011)
Conectando ciencias: interfaces educativas usando el entorno Arduino. (Llera y otros, 2017)
Despertando en el secundario el interés por las carreras científico-tecnológicas a través del trabajo experimental. (Juanto y otros, 2017)
Magnetic field 'flyby' measurement using a smartphone's magnetometer and accelerometer simultaneously. (Monteiro y otros, 2017)
Using smartphone pressure sensors to measure vertical velocities of elevators, stairways, and drones. (Monteiro y Martí, 2017)
Turn your smartphone into a science laboratory: five challenges that use mobile devices to collect and analyze data in physics. (Vieyra y otros, 2015)
Experiments using cell phones in physics classroom education: the computer-aided g determinations. (Vogt y otros, 2011)
Heat transfer lab kit using temperature sensor based arduino for educational purpose. (Prima y otros, 2017)
Introducción a la teoría del caos empleando TIC con experiencias de mecánica clásica en el laboratorio de física. (Enrique, 2014)
Friction coefficient determination by electrical resistance measurement. (Tunyagi y otros, 2018)
The inverse-square law with data logger. (Bates, 2013)
Math machines: using actuator in physics classes (Thomas, 2018)
Rotational energy in a physical pendulum. (Monteiro, 2014)
Studying 3D collisions with smartphones. (Pereyra, y otros 2017)
The seven-segment data logger. (Bates, 2015)
Investigation of the rolling motion of a hollow cylinder using a smartphone's digital compass. (Wattanayotin y Otros 2017)
Reflexiones sobre las nuevas tecnologías, la medida de los tiempos y las incertezas asociadas. (Bigliani y otros 2014)
Measurement of g using a magnetic pendulum and a smartphone magnetometer (Pilli y otros, 2018)
An Arduino-based magnetometer. (McCaughy, 2017)
Representaciones de los estudiantes sobre sensores en tanto instrumento de medición. (Yanitelli, 2011)
Hacia la integración de las TIC en el aula una propuesta de trabajo sobre cinemática utilizando sensores electrónicos de distancia. (Hurovich y otros, 2015)

Es necesario destacar que, además de las revistas citadas, se buscaron artículos en varias revistas más de enseñanza de la física, enseñanza de las ciencias, didáctica de ciencias experimentales, etc. Sin encontrarse trabajos específicos sobre el uso de SAD para trabajos de laboratorio en enseñanza de la física. Relacionando esto con uno de los artículos de antecedentes, podemos observar que en general hay menos publicaciones de TPL de Física que de otras ciencias.

La disciplina de mayor publicación es la biología con seis artículos en la revista Eureka, seguida de la química con cinco artículos en las revistas Alambique y Eureka. En cuanto a la física y las ciencias naturales en general, la cantidad de publicaciones es baja. (Franco Moreno, 2016)

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a las categorías: tipo de artículo, nivel académico, tipo de SAD y los campos conceptuales de física abordados.

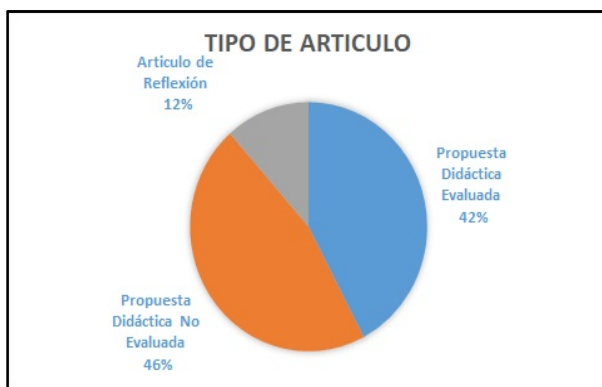


FIGURA 1. Caracterización de los artículos según tipo.



FIGURA 2. Caracterización de los artículos según nivel académico.



FIGURA 3. Caracterización de los artículos según sistemas de adquisición de datos.



FIGURA 4. Caracterización de los artículos según temas.

Se puede observar que el 88% de los artículos corresponden a propuestas didácticas y sólo el 42% del total presentan evaluación. Se encontraron sólo 3 artículos de reflexión o análisis de la temática en general que no corresponden a propuestas didácticas.

El 62% de los artículos corresponden a nivel universitario y el 27% a ambos niveles, lo que evidencia una mayor investigación dedicada a la docencia en el nivel superior. Este resultado coincide con el encontrado en la investigación de (Cardona, 2017).

El 8% de los artículos se refieren a SAD artesanales o contruidos por los mismos docentes, el 73% utiliza sistemas comerciales, destacándose la plataforma Arduino cuyas ventajas presentaremos en un análisis posterior, y el 19% no especifica qué tipo de sistema utiliza. En esta revisión se puede observar el uso de los teléfonos celulares como dispositivos de adquisición de datos, lo que constituye un aspecto novedoso. La mecánica es el campo conceptual más abordado en propuestas didácticas que incorporan SAD, luego siguen el magnetismo y la electricidad. Sólo se encontró un artículo de termodinámica y uno de óptica.

VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A. Consideraciones tecnológicas y pedagógicas de las propuestas didácticas

A partir del relevamiento realizado se pudo tomar conocimiento de que la tecnología avanza en relación al uso de los teléfonos celulares y sus sensores como sistemas de adquisición de datos.




Los artículos que abordan este tema proponen experiencias de laboratorio utilizando estas herramientas, sin embargo muy pocas están fundamentadas pedagógicamente y casi ninguna presenta una evaluación de los aprendizajes logrados. Esto muestra la necesidad de enfocar la investigación en la evaluación de los resultados de la implementación de estos sistemas y la reflexión acerca de su utilización.

Es coincidente con otros relevamientos anteriores (Cardona, 2017) el hecho de que la mayoría de los trabajos se refieren a temas de mecánica y pocos a electromagnetismo, óptica y termodinámica. No se han encontrado propuestas referidas a Física Moderna.

De las 23 propuestas didácticas, sólo nueve presentan fundamentos pedagógicos o están basadas en alguna teoría del aprendizaje. Dos artículos están basados en el Aprendizaje Significativo, varios mencionan el Constructivismo y otros se apoyan en el aprendizaje colaborativo. Algunos autores se fundamentan en la "Motivación Intrínseca definida por Larkin y Chabay (1996)" (Enrique, 2014). En su trabajo, Scagliotti, et al (2015) "implementa la propuesta de Hodson (1999) con las fases de modelado, práctica guiada y aplicación. También se ha tenido en cuenta la "Perspectiva indagatoria de la enseñanza de Harlen, 2003" (Hurovich, Azpiazu, Cucchi, & Joselevich, 2015). En un artículo se hace referencia a la Educación STEM como fundamento de la propuesta didáctica presentada.

La siguiente tabla muestra un análisis realizado por los autores de este trabajo a partir de la bibliografía consultada.

TABLA II. Ventajas y desventajas de los diferentes SAD.

SAD	Ventajas	Desventajas
Sistemas Comerciales Cerrados 	Armado Inicial e Interfaz sencillas. Bajo Mantenimiento Incluye software de análisis de datos, con visualización en tiempo real Gran cantidad de funciones matemáticas para análisis de datos. Conectividad bluetooth Toma de datos sencilla y rápida	Costo de adquisición alto Cierta dificultad para que el alumno comprenda el funcionamiento del sensor. No se pueden realizar cambios en el software
Plataforma Arduino 	Libre para programar Flexible Adquisición y mantenimiento económico Gran variedad de Sensores Es adecuado para escuelas técnicas y/o carreras de ingeniería	Armado inicial complejo El docente debe contar con conocimiento de programación
Teléfonos Celulares 	Interfaz conocida para los alumnos Interpretación de datos sencilla y directa Es accesible a la mayoría de los estudiantes Apps de acceso disponibles en Play store Esta tecnología es reciente y avanza muy rápidamente	La calidad de los sensores depende del teléfono Limitada variedad de sensores Presenta algunas dificultades en su operación Software de análisis de datos muy básico
Sistemas artesanales	Adquisición y mantenimiento económico	Docente requiere conocimientos sobre electrónica y programación Es más difícil de implementar en escuelas

B. Artículos de reflexión

Dentro de los artículos, solo tres corresponden a la categoría de artículos de reflexión. Analizan la incertidumbre en las mediciones realizadas con sensores y su percepción por parte de los estudiantes, las representaciones mentales que tienen los alumnos de los sensores y los diferentes métodos de medición.

A partir de sus conclusiones se puede decir que los procedimientos de adquisición de datos que utilizan herramientas TIC, si bien han mejorado mucho su exactitud, no han mejorado demasiado su precisión. Es necesario evaluar seriamente la calibración y puesta a punto del equipamiento de adquisición de datos, siendo importante que el equipo muestre con claridad las variables en juego, el modo de medición de dichas variables y de qué dependen las incertidumbres que se les asocian. Al comparar la medición de la aceleración de la gravedad, g , mediante sensores de teléfonos celulares con métodos tradicionales, como un péndulo simple, se observa un coeficiente de variación aceptable, con una incertidumbre bastante baja.

VII. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los autores de las propuestas didácticas evaluadas coinciden en que las experiencias con sensores resultan atractivas a los alumnos, mejoran el proceso de adquisición de datos, éste es más rápido y se mide con mayor exactitud. Esta forma de realizar las mediciones en el laboratorio relaciona a los alumnos con una tecnología de uso actual en todos los ámbitos.

En general, sostienen que este tipo de experiencias requieren capacitación del docente en el uso de los diferentes SAD y software específico y todas las experiencias evaluadas reportan que fueron positivas para el aprendizaje de los conceptos. Además,

...el uso de sistemas de adquisición de datos contribuye al desarrollo de habilidades de tipo manual (montaje, medición) y capacidades de tipo intelectual o destrezas científicas (capacidad de observación y de expresión, orden, perseverancia, reconocimiento de errores, representación y análisis de datos...) que ofrecen una oportunidad de manifestarse mucho mayor que en otras actividades, como la resolución de problemas. (Cardona, 2017)

La literatura especializada muestra que el empleo de recursos digitales multimedia en actividades de pre y pos laboratorio permite aumentar el valor formativo de las prácticas de ciencias experimentales y optimizar el tiempo disponible en las sesiones presenciales. No es el medio en sí utilizado para la enseñanza sino el uso pedagógico que se haga de él lo que provoca una diferencia significativa en el aprendizaje adquirido. Esto demuestra que se requiere la intervención del docente para guiar al alumno en la construcción de conocimiento y, por lo tanto, es necesario ampliar la investigación en los aspectos pedagógicos y en la evaluación de las propuestas.

Se han presentado diversas variantes del uso de SAD en prácticas de laboratorio de física. No existe una receta, sino una amplia gama de posibilidades que puede ser aprovechada según las características sociales, culturales, económicas y de nivel académico de la institución educativa donde se aplicarán.

A pesar de las limitaciones y los riesgos descritos, consideramos que las TIC ofrecen recursos muy potentes para facilitar y potenciar el aprendizaje de las ciencias, en especial los SAD dentro de propuestas didácticas fundamentadas.

BIBLIOGRAFIA

- Bates, A. (2013). The Inverse-Square Law with Data Loggers. *The physics teacher*, 51(5), 290-292.
- Bates, A. (2015). The Seven-Segment Data Loggers. *The physics teacher*, 53(9), 542-544
- Bigliani, J., Capuano, V., Martín, J., Bordone, E., y Ruderman, A. (2014). Reflexiones sobre las nuevas tecnologías, la medida de los tiempos y las incertezas asociadas. *Enseñanza de la Física*. 26(extra),333-345.
- Bordone, E., Bigliani, J. y Capuano, V. (2015). La Cinemática en las prácticas experimentales utilizando nuevas tecnologías. *Enseñanza de la Física*. 27(extra),333-342.
- Cardona, M. y López, S. (2017). Una revisión de literatura sobre el uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la educación básica, media y en la formación de profesores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(4), 1-11.
- Carranza, P., Gianna, V., Gómez, M., Larrosa, N., López, A., Marín, M., Martínez, M., Martínez Riachi, S., Melchiorre, M., Peci, M., Ribotta, P., Saldís Heredia, N., Severini, H., Vaca Chávez, J. y Yorio, D. (2013). *Sensores. Una exitosa experiencia interdisciplinar en la enseñanza de las ciencias*. Córdoba: Editorial Brujas y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC.
- Chacón, B., Herrera, B. y Villabona, R. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. *Investigación bibliotecológica*, 27(61),83-105.
- Deusto, U. 2018. Biblioguías. goo.gl/WJJVjz. Sitio consultado en mayo de 2018.
- Enrique, C. (2013). Modelo de Enseñanza Aprendizaje para el estudio de la cinemática de un volante inercial usando tecnologías de la información y la comunicación en un laboratorio de física. *Formación Universitaria*, 6(1),3-12.
- Enrique, C. (2014). Introducción a la teoría del Caos empleando Tics con experiencias de mecánica clásica en el laboratorio de Física. *Revista Electrónica Iberoamericana de educación en ciencias y tecnología*, 5(3), 1-29.
- Enrique, C. (2015). Uso de Tics en circuito de corriente continua: propuesta didáctica y evaluación. *Revista Brasileira de Física Tecnológica*, 2(2), 1-16.
- Franco Moreno, R., Velasco Vásquez, M. y Rivero Toros, C. (2016). Los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias: tendencias en revistas especializadas. *TED*, 41,37-56.
- Hurovich, V., Azpiazu, S., Cucchi, G., y Joselevich, M. (2015). Hacia la integración de las TIC en el aula: una propuesta de trabajo sobre cinemática utilizando sensores electrónicos de distancia. *Enseñanza de la Física*, 27(extra),525-531.

Juanto, S., Prodanoff, F., Alustiza, D., Zervino, L., Ronconi, J., Cristofoli, N., y Stei, J. (2017). Despertando en el secundario el interés por las carreras científico-tecnológicas a través del trabajo experimental. *Enseñanza de la Física*, 29(extra),261-267.

Kofman, H., De Greef, M., Pessoa, J. y Lucero, P. (2011). Estudio del campo magnético de un solenoide con experimento remoto y simulación. *Enseñanza de la Física*,24(2), 55-64.

Llera, M., Scagliotti, A. y Jorge, G. (2017). Conectando ciencias: interfases educativas usando entorno Arduino. *Enseñanza de la Física*, 29(extra),381-389.

Martínez Perez, J. (2015). Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio de física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple. *Eureka sobre enseñanza y divulgación de la ciencia*, 12(2), 341-346.

McCaughey, M. (2017) An Arduino-Based Magnetometer. *The Physics Teacher*,55(5), 274-275.

Monteiro,M; Cabeza, C; y Martí,A. (2014).Rotational energy in a physical pendulum. *The Physics Teacher*,52(3), 180-181.

Monteiro, M. y Martí, A. (2017). Using smartphone pressure sensors to measure vertical velocities of elevators, stairways, and drones. *Physics Education*, 52(1), 1-11.

Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., y Martí, A. (2017). Magnetic field flyby measurement using a smarthphone's magnetometer and acelerometer simultaneously,*The Physics Teacher*, 55(9),580-581.

Pereira, V., Martín Ramos, P., Pereira da Silva, P. y Ramos Silva, M. (2017).Studying 3D collisions with smartphones. *The Physics teacher*,55, 312-313.

Pilli, U., Renante, V. y Ceniza, C. (2018). Measurement of g using a magnetic pendulum and a smart-phone magnetometer. *The Physics Teacher*,58, 258-259.

Prima, E., Karim, S., Utari, S., Ramdani, R., Putri, E., Riska, R. y Darmawati, S. (2017). Heat Transfer Lab Kit using Temperature Sensor based ArduinoTM for Educational Purpose. *Procedia Engineering*,170, 536-540.

Romero Ariza, M., y Quesada Armenteros, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 32(1),101-115.

Scagliotti, A. Llera, M. y. Jorge, G. (2015). Interfases Educativas. *Enseñanza de la Física*, 27(extra), 555-558.

Thomas, F., Chaney,R. y Gruesbeck, M. (2018) Math Machines: Using Actuators in Physics Classes. *The Physics Teacher*,56, 49-52.

Tunyagi, A; Kandrai, K; Fülöp, Z; Kapusi, Z y Simon, A. (2018) Friction coefficient determination by electrical resistance measurements. *Physics Education*, 53(3), 1-9.

Velasco, J. y Buteler, L. (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 35(2),161-178.

Vieyra, R., Vieyra, C., Jeanjacquot, P., Martí, A., y Monteiro, M. (2015). Turn Your Smartphone into a Science Laboratory. *The Science Theacher*, 82(9),32-40.

Vogt, P; Kuhn, J y Müller, S. (2011). Experiments Using Cell Phones in Physics Classroom Education: The Computer-Aided g Determination. *Physics Education*, 49, 383-384.

Wattanayotin, P., Puttharugsa, C., y Khemmani, S. (2017). Investigation of the rolling motion of a hollow cylinder using a smartphone's digital compass. *Physics Education*,52, 1-9.

Yanitelli, M., Massa, M. y Moreira Marco, A. (2011). Representaciones de los estudiantes sobre sensores en tanto instrumento de medición. *Revista Enseñanza de la Física*,24(1), 21-4.