



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

A literature review about data acquisition system in physics education in middle and high school levels, and in teacher training

Mónica Eliana Cardona*¹, Sonia López¹

¹Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Recibido el Diciembre 30, 2016. Revisado el Abril 06, 2017. Aceptado el Mayo 07, 2017

Este artículo presenta una revisión de literatura que hace un acercamiento al estado actual de la implementación de los sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de la física; principalmente en los niveles de educación básica y media y en la formación de profesores. La búsqueda se llevó a cabo en 35 revistas encontradas en las principales bases de datos: Science Direct, Scopus, Web of Science y Google Scholar. Algunos de los principales resultados que arrojó el análisis de los artículos seleccionados indican que la implementación de estas herramientas tecnológicas con un fundamento pedagógico y didáctico claramente definido se encuentra aún en una etapa incipiente, especialmente en los programas de formación de profesores. Lo anterior demuestra que es necesario reforzar la investigación en este campo con el propósito de introducir estrategias que permitan la apropiación de las diferentes herramientas que ofrecen las Tecnologías de la Información y la Comunicación y utilizarlas como apoyo para la conceptualización en física. Con respecto a las temáticas o campos conceptuales abordados en los trabajos, encontramos que predomina la Cinemática (8), el Movimiento Ondulatorio (6), el Electromagnetismo (5), la Termodinámica (4) y la Dinámica (2).

Palabras clave: sistemas de adquisición de datos, enseñanza de la física, actividad experimental, formación de profesores.

This paper presents a literature review that approaches the current state of the data acquisition systems implementation in physics teaching; mainly at Middle and High School levels and in teachers training. The main search was performed in 35 journals found in the following databases: Science Direct, Scopus, Web of Science and Google Scholar, taking into account, as selection criteria, articles related to the use of sensors in physics education, in middle and high school and teacher training. Some of the main results of the selected articles analysis show that the implementation of these technological tools with a clearly defined pedagogical and didactic basis is still in an incipient stage, especially in teacher training programs. This shows that it is necessary to strengthen research in this field with the purpose of introducing strategies that allow appropriation of the different tools offered by Information and Communication Technologies and use them for conceptualization in physics. Regarding the themes or conceptual fields addressed in the works, we find that predominate Kinematics (8), Wave Movement (6), Electromagnetism (5), Thermodynamics (4) and Dynamics (2).

Keywords: data acquisition systems, physics education, experimental activity, teachers training.

1. Introducción

Una mirada a publicaciones en enseñanza de las ciencias nos da una idea del importante uso que han adquirido las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en los últimos años. De tal manera que hoy en día es posible hablar de las TIC como una línea de investigación de la didáctica de las ciencias; entendiendo por línea de investigación “una sucesión continua e indefinida de estudios, re-flexiones sistemáticas y creativas, indagaciones y discusiones alrededor de un problema, que realizan personas curiosas, enlazadas entre sí y organizadas en

uno o varios equipos de trabajo para desarrollar actividades intelectuales y dinámicas, en medio de aciertos y desaciertos, logros, fracasos y éxitos, con el propósito común de construir y/o aumentar conocimientos sobre un determinado tópico” [1, p. 1].

Cabe resaltar el uso de las TIC en los últimos años con el fin de fortalecer y crear los contextos apropiados para la alfabetización científica de los estudiantes, de tal manera que se favorezca la construcción de aprendizajes significativos [2]. De esta manera, se destaca que estas herramientas tienen una influencia cada vez mayor en la educación científica, principalmente en la mejora del aprendizaje de los estudiantes en todos los niveles de la

*Correo electrónico: meliana.cardona@udea.edu.co.

educación, y con una creciente influencia en la formación inicial y permanente de los profesores de ciencias [3]. Además, consideramos que las TIC se constituyen en un valioso recurso para apoyar la actividad experimental en la enseñanza de la física, ya que ofrecen herramientas que permiten que los estudiantes se relacionen con su propio aprendizaje, desarrollen habilidades metacognitivas, resuelvan situaciones aplicables al contexto al que pertenecen, construyan una interpretación del mundo real, entre otras cosas [4, 5, 6].

Entre los posibles usos de las TIC en la enseñanza de la física, destacamos los sistemas de adquisición de datos, cuyo uso se concentra principalmente en las actividades experimentales; y al respecto, diferentes autores [7 a 27] proponen su implementación para la comprensión de fenómenos físicos en campos conceptuales como la cinemática, el electromagnetismo, la óptica, la mecánica de fluidos y el movimiento armónico simple. Una de las principales ventajas de este recurso es “librar al estudiante del arduo trabajo en la recolección de datos dejándolo libre para que se concentre en la comprensión de los conceptos físicos” [4, p.6]. De esta manera se reconocería el carácter experimental de esta ciencia y se transformaría la imagen que tienen los estudiantes, en cuanto al carácter técnico-instrumental y al uso de ecuaciones para resolver y entender fenómenos de la naturaleza.

Es importante reflexionar sobre lo anterior, al considerar que el uso de estas herramientas así como las estrategias para su implementación, añade a las prácticas de enseñanza un carácter innovador, en gran medida relacionado con el contexto, y favoreciendo la motivación en los estudiantes. Asimismo, se pueden evidenciar las relaciones que hay entre diferentes conceptos de una forma más dinámica, dado que el uso de computadores en los laboratorios ofrecen herramientas para poder observar una mayor variedad de fenómenos y analizarlos de una manera más expedita; además, considerando al computador como instrumento de modelación matemática se puede establecer una relación entre teoría y experimento que es difícil obtener con otros medios [28]. Conviene subrayar que la modelación matemática, se entiende como un sistema que reproduce o representa la realidad para hacerla más comprensible, es decir, “es una imagen analógica que permite volver cercana y concreta una idea o un concepto para su apropiación y manejo”, [29, p.52].

Un sistema de adquisición de datos se conforma por un dispositivo de medición que permite que los datos experimentales obtenidos con sensores de diversas magnitudes físicas sean leídos automáticamente, almacenados y analizados por un *software* computacional [30], citados en [7]. El *software* como tal, permite procesar y monitorear las variables del sistema físico en tiempo real, mientras que los sensores son “dispositivos con características internas directamente afectados por un fenómeno externo (parámetro), y, por lo tanto, hay una relación directa entre ellos. El fenómeno externo puede ser de temperatura, humedad, presión, etc., y la característica interna puede

ser, por ejemplo, la resistencia o capacitancia”, [31, p. 657]. Es decir, a través de los sensores se transforma en una señal eléctrica la magnitud que se desea medir, dicha señal se envía a un circuito llamado interfaz, que lo transforma en una secuencia de valores digitales de voltaje o tensión eléctrica que son leídos, procesados y almacenados por el computador. Todo el sistema de adquisición de datos requiere un sensor para convertir alguna cantidad física - tal como la temperatura, la fuerza, la presión - en una señal eléctrica que se suministra a continuación al computador para la recolección y análisis de datos [11].

Actualmente hay una enorme cantidad de sensores de bajo costo. Los más utilizados para enseñanza de la física son el potenciómetro, que posibilita la medida de la posición angular de un péndulo en función del tiempo; la termocupla para medir temperaturas; el fotodiodo para medir la intensidad de la luz; el sensor de efecto Hall para medir campo magnético; la fotoc compuerta para medir diferentes tipos de movimiento de los cuerpos; entre otros. De la gran cantidad de sensores que pueden ser utilizados para la medición de magnitudes físicas, se clasifican en dos tipos: analógicos y digitales. Los analógicos realizan una medición continua en un amplio rango; mientras que los digitales realizan una medición discreta, es decir, solo identifican dos estados de voltaje: alto (encendido) o bajo (apagado). Entre los sensores analógicos se encuentran las termocuplas, los micrófonos, potenciómetros y varios circuitos integrados; los fotodiodos e interruptores magnéticos son ejemplos de sensores digitales. En cualquiera de los casos, la interfaz analógica/digital es la que permite convertir la señal recibida por el microcontrolador a un lenguaje digital que sea leído por dispositivo que almacena los datos (computador personal, dispositivos móviles, microcomputadores) [11]. De igual manera, según su principio de funcionamiento, un sensor puede desempeñar un papel pasivo si solo detecta las señales emitidas por la magnitud física que mide en el sistema físico; y su papel es activo si está diseñado para generar por sí mismo señales representativas de las magnitudes a medir.

En la figura 1 se representan las etapas de un sistema de adquisición de datos para la medición de una variable en un sistema físico. En la etapa transductora, el transductor o sensor, siendo sensible a esta variable, la transforma en una señal eléctrica que luego ingresa a la etapa de acondicionamiento de señal. En esta etapa la señal es amplificadora o filtrada en frecuencias, para luego ser llevada al conversor análogo-digital donde es acoplada al sistema digital. Este sistema, que puede ser un microcontrolador como los presentes en las placas Arduino, puede realizar algún procesamiento de señal o solo enviarla al computador donde se realiza toda la etapa de procesamiento numérico correspondiente a cada experimento particular.

Teniendo en cuenta lo anterior, se generó un proyecto cuyo propósito es valorar la contribución de la implementación de sistemas de adquisición de datos a la

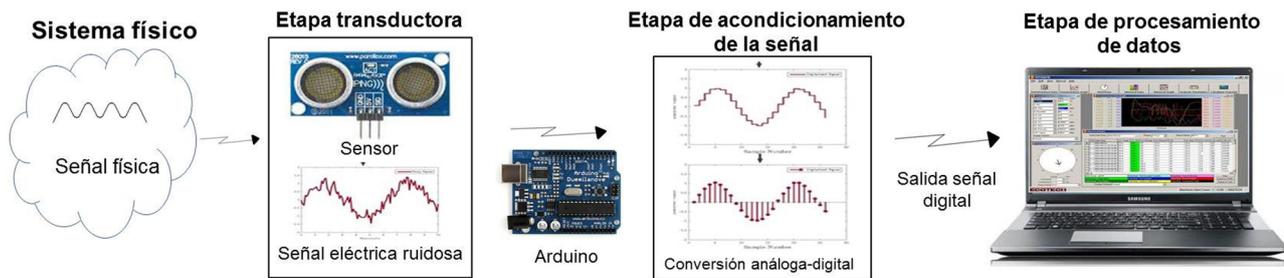


Figura 1: Diferentes etapas de un sistema de adquisición de datos

conceptualización en física de los maestros en formación de las Licenciatura en Matemáticas y Física, y la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad de Antioquia, Colombia. Este proyecto sugiere que se pueden proponer alternativas para pensar la enseñanza de la física, partiendo de otros elementos diferentes a las metodologías tradicionales; de tal forma que se permita el desarrollo de capacidades intelectuales, valores y habilidades en el proceso de aprendizaje, que promuevan la motivación por el estudio de la materia, comenzando por el fortalecimiento de diversos factores como la formación de los docentes, las metodologías y estrategias de enseñanza, y en particular la implementación de las TIC.

En virtud de lo anterior, la pregunta que orienta la presente revisión de literatura es:

¿Cómo contribuye la implementación de sistemas de adquisición de datos en la actividad experimental, a la conceptualización para la formación de profesores en física?

A manera de antecedente, es importante mencionar que las revisiones de literatura más recientes que hemos conocido se han concentrado de modo general en el uso de TIC en la educación [32 a 39]; otras, en el uso de TIC en la enseñanza de las ciencias [2, 40 a 42]. Y de manera más específica, localizamos dos revisiones de literatura sobre el uso de TIC en la enseñanza de la física [4 y 43]; la primera cuenta ya con más de diez años y la segunda es específica sobre el uso de modelación y simulación computacional, justificando en buena medida la publicación de este artículo. En ninguna de ellas se aborda de manera particular el uso de los sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física.

2. Metodología

La presente revisión de literatura se enmarca en un proyecto en el que se hace necesario conocer el estado actual de la investigación en el campo de la implementación de sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de la física. Para su desarrollo, se contemplan algunos elementos metodológicos planteados por Hoyos [44] sobre la investigación documental, como los *núcleos temáticos*, considerados los subtemas que delimitan el campo de conocimiento; es decir, aquellos asuntos que ayudan a

acotar el objeto de estudio y a identificar con mayor facilidad las fuentes de información. Otro elemento metodológico lo constituyen las *unidades de análisis*, que hacen referencia a un texto individual (cualquiera que sea su carácter: libro, ensayo, tesis, artículo, etc.) seleccionado para revisión y análisis. Adicionalmente, a los aspectos que destacan elementos de relevancia a señalar o a distinguir en una unidad de análisis, se les denomina *factores*.

Atendiendo a este referente metodológico fueron definidos dos núcleos temáticos denominados: *uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la educación básica y media*, y *uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la formación de profesores*; núcleos a la luz de los cuales se valora la totalidad de las unidades de análisis. Y en concordancia con el propósito de la investigación, los factores considerados a partir de cada unidad de análisis se refieren a aspectos como 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; elementos que toman relevancia en el proceso de contextualización, análisis e interpretación de cada unidad de análisis.

Asimismo, se recurre al análisis de contenido como procedimiento de recolección y análisis de la información; entendiendo este como el conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que provienen de procesos singulares de comunicación previamente registrados, que tienen por objeto elaborar y procesar datos relevantes sobre las condiciones mismas en que se han producido aquellos textos, o sobre las condiciones que puedan darse para su empleo posterior [45].

Para la revisión de literatura se consultaron 35 revistas encontradas en las principales bases de datos: Science Direct, Scopus, Web of Science y Google Scholar en el ámbito de la educación en general, de la educación en ciencias, de la educación en ciencia y tecnología y de la enseñanza de la física, en un rango de 12 años, entre 2005 y 2016; de las cuales se encontraron unidades de análisis en 12 de ellas, en busca de las siguientes palabras clave: "data acquisition system"; "automated data collection";

physics teaching”; “physics teacher training” (también las correspondientes palabras clave en español y portugués fueron usadas en la búsqueda). Los criterios establecidos para dicha revisión son: artículos relacionados con el uso de sensores en la enseñanza de la física para la educación básica y media y para la formación de profesores. En la Tabla 1 se presentan las revistas que consideramos relevantes en los ámbitos mencionados anteriormente.

En estas revistas fueron inicialmente identificados 140 artículos. No obstante, un importante número de estos trabajos se relacionaba de manera tangencial con el objeto de estudio de la revisión de literatura que aquí presentamos, por lo que no todos fueron considerados relevantes para el análisis, dado que no correspondían totalmente con los propósitos de este estudio. Entre estos se incluyen los relativos a: reflexiones de carácter general sobre el uso de TIC en la enseñanza de las ciencias o en la enseñanza de la física en particular, descripción de experimentos realizados con sistemas de adquisición de datos en los que no se especificaba el nivel educativo ni referentes pedagógicos que apoyaran su implementación en el aula. Es decir, no fueron considerados para esta revisión trabajos relacionados con los sistemas de adquisición de datos que se limitaban a la descripción de experimentos que buscaban verificar una teoría o que

planteaban prácticas de laboratorio tradicional, pero sin detallar la implementación en el aula de clase.

Aunque se encontró un gran número de estos trabajos, especialmente en el ámbito internacional, ellos fueron descartados para el análisis en coherencia con los núcleos temáticos definidos para la selección de las unidades de análisis; donde se tuvieron en cuenta exclusivamente aquellos trabajos que describen la implementación efectiva de actividades experimentales con sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de la física, que buscan contribuir a la conceptualización por parte de los estudiantes. Al tener en consideración este criterio, concretamente en los niveles de educación básica y media y en la formación de profesores de física, el número de trabajos se reduce a veintiocho (28).

3. Resultados y Discusión

Los resultados de esta revisión nos muestran que el uso de sistemas de adquisición de datos se concentra en los diferentes niveles de la educación, siendo en el universitario, especialmente en carreras de física pura e ingeniería; y mayor el número de trabajos que abordan propuestas para la enseñanza en niveles de educación básica y media, que para las carreras de formación de profesores de física.

Tabla 1: Revistas para la Revisión de Literatura

Categoría	Nombre de la Revista	País
Revistas de Educación	Revista Internacional de Investigación en Educación	Colombia
	Revista Brasileira de Educação, Educação e Pesquisa	Brasil
	Journal of Teacher Education	Estados Unidos
	Teaching and Teacher Education	Estados Unidos
	American Educational Research Journal	Estados Unidos
	Educación y Educadores	Colombia
	Folios	Colombia
	Revista Virtual Universidad Católica del Norte	Colombia
Revistas de Enseñanza de las Ciencias	Revista Ciência e Educação	Brasil
	International Journal of Science Education	Reino Unido
	Journal of Research in Science Teaching	Estados Unidos
	Journal of Science Teacher Education	Estados Unidos
	Science Education	Estados Unidos
	Enseñanza de las Ciencias	España
	Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências	Brasil
	Investigações em Ensino de Ciências	Brasil
	Experiências em Ensino de Ciências	Brasil
	Revista Virtual Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias	Colombia
	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	España
	Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	Argentina
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	Brasil	
Revistas de Educación, Ciencia y Tecnología	Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología	Argentina
	Computers & Education	Reino Unido
	Journal of Science Education and Technology	Estados Unidos
	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	Brasil
	Journal of Computer Assisted Learning	Reino Unido
Revistas de Enseñanza de la física	Revista Brasileira de Ensino de Física	Brasil
	Física na Escola	Brasil
	American Journal of Physics	Estados Unidos
	Physics Education	Reino Unido
	Latin American Journal of Physics Education	México
	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	Brasil
	Physics Today	Estados Unidos
The Physics Teacher	Estados Unidos	

Aunque cada vez existen más apuestas por incorporar herramientas TIC para abordar principalmente la enseñanza de algunos conceptos físicos que suelen tornarse un tanto complejos para los estudiantes, el número de trabajos se reduce significativamente cuando el interés se centra de manera específica en aquellos que buscan proponer estrategias didácticas para la implementación de sistemas de adquisición de datos en actividades experimentales.

Para el periodo de revisión 2005-2016, en las fuentes de información exploradas, se encontraron veintiocho (28) artículos que describen la implementación de sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de la física. En la Tabla 2 se presenta el número y las unidades de análisis encontradas por cada núcleo temático en las revistas revisadas hasta el segundo semestre de 2016.

En la Tabla 3 se muestran los principales factores que permiten realizar una caracterización general de los trabajos revisados. Un elemento importante a tener en cuenta en los trabajos analizados, es que muy pocos (10) hacen uso de referentes teóricos que apoyen diferentes estrategias para la implementación de los sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de la física [7, 13 a 16, 19, 24, 50 a 52]. Con respecto a las temáticas o campos conceptuales abordados en los trabajos, encontramos que predomina la Cinemática (8) [7, 17, 20, 21, 23, 25, 27, 48], el Movimiento Ondulatorio (6) [10, 12, 14, 16, 47, 52], el Electromagnetismo (5) [8, 9, 18, 22, 50], la Termodinámica (4) [13, 19, 49, 53] y la Dinámica (2) [46, 15]. De igual manera, con respecto a la metodología de investigación utilizada, se hallaron (7) investigaciones cualitativas con enfoque descriptivo [7, 13, 14, 17, 24, 49, 51], (4) investigaciones cuantitativas de tipo cuasiexperimental [19, 25, 46, 50], (9) que describen la implementación de una propuesta de enseñanza [9, 15, 17, 18, 20 a 22, 48 y 52] y (7) que no especifican claramente el enfoque [8, 10, 12, 16, 26, 27, 53].

Los sistemas de adquisición de datos han sido ampliamente utilizados en las ciencias, como un recurso que favorece la recolección y el procesamiento de datos en tiempo real. En el campo educativo, se han realizado

diferentes investigaciones que buscan establecer su potencialidad para la enseñanza, por ser una herramienta que puede apoyar la actividad experimental; en este caso, para la física en particular. A continuación se describen los principales hallazgos sobre propuestas en las que se implementan los sistemas de adquisición de datos en la educación básica y media y para la formación de profesores de física.

3.1. Educación básica y media

El uso de sistemas de adquisición de datos se presenta como una propuesta con amplias potencialidades para la enseñanza de la física en educación básica y media. En la revisión de los trabajos, se encontró que un número reducido de las unidades analizadas se apoyan en referentes teóricos de aprendizaje como la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel [13], la Interacción Social de Vygotsky [14] y la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird [15]; y otras hacen referencia a estrategias como el aprendizaje colaborativo [13, 14, 16], la física en tiempo real [50], el laboratorio basado en computador [15, 19, 49] y la resolución de problemas a partir de la actividad experimental [8, 9, 12 a 14, 16 a 18, 20 a 22, 47]. En cuanto a la implementación de los sistemas de adquisición de datos, en la Tabla 4 se encuentran los diversos trabajos que utilizan diferentes recursos para el proceso de medición.

Entre los hallazgos más significativos, se destaca que con el uso de estas herramientas los estudiantes pueden tener la oportunidad de realizar actividades a las que no están acostumbrados, como hacer el montaje de diferentes experimentos [8, 9, 12, 17, 20, 49], conocer *software* para el procesamiento de datos [8, 12, 19, 22], realizar mediciones en un tiempo más reducido [8, 13, 14, 19, 20, 48], negociar significados con sus compañeros, además de contar con mayor tiempo para interpretar y analizar el desarrollo de la actividad experimental como tal [8, 13, 16, 22]. Además, entre los propósitos de su implementación, se encuentran propuestas que van más allá de cumplir con un plan de estudios y buscan involucrar

Tabla 2: Unidades de análisis para la revisión de literatura

Ámbito de la revista	Nombre de la revista	Básica y media	Formación de profesores
Educación en ciencia y tecnología	Journal of Science Education and Technology	1 [46]	
Enseñanza de la Física	Caderno Brasileiro de Ensino de Física	4 [13, 18, 22, 47]	3[25, 26, 53]
	Física na Escola	1 [12]	1[52]
	Latin-American Journal of Physics Education	5[8, 15, 17, 48, 50]	1[10]
	Physics Education	1[20]	
	Revista Brasileira de Ensino de Física	2[16, 21]	2[23, 27]
	Revista de Enseñanza de la Física		1[24]
Enseñanza de las Ciencias	American Society for Engineering Education	1[9]	
	Experiências em Ensino de Ciências	1[14]	
	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências		1[51]
	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	1[49]	1[7]
	Science Education	1[19]	
Total Artículos		18	10

Tabla 3: Principales factores que caracterizan las unidades de análisis

Trabajos	Núcleo temático	Temática - Campo conceptual	Referente teórico	Tipo de sistema de adquisición de datos	Software
Grala y de Oliveira [12]	Básica y media	Velocidad del sonido	No se especifica	Microcomputador	<i>GoldWave</i> , 2005
Sias y Teixeira [13]	Básica y media	Termodinámica	Teoría de aprendizaje significativo Ausubel y Teoría de la mediación de Vygotsky	CBL (<i>Texas Instrument</i>) Laboratorio basado en computador	Calculadoras gráficas
da Silva [14]	Básica y media	Movimiento ondulatorio	Interacción social de Vygotsky	Microcomputador, fotodiodos, fototransistores, termistores	<i>Physlet</i> , <i>Excel</i> , <i>Visual Basic</i> , <i>Aqdatos</i>
Zucker <i>et al.</i> [46]	Básica y media	Fuerza, movimiento, transferencia de energía	No se especifica	<i>Probeware</i> (Laboratorio basado en microcomputador)	Sensor Portafolio
da Silva y Gobara [47]	Básica y media	Movimiento ondulatorio, sonido	No se especifica	<i>Soundgate</i> http://www.edy.pro.br/Soundgate	El software fue desarrollado utilizando <i>Macromedia Flash</i>
Garg <i>et al.</i> [8]	Básica y media	Electromagnetismo	No se especifica	Adquisición de datos USB con sensores	<i>LabVIEW 8.5</i>
da Rocha y Guadagnini [48]	Básica y media	Cinemática	No se especifica	Sensor sonar de movimiento <i>GoMotion</i> (Marca Vernier) Microcontrolador Basic Step -1 OEM	<i>Basic Step</i>
Torres [49]	Básica y media	Termodinámica, movimiento armónico simple, movimiento en plano inclinado.	No se especifica	Sensores marca PASCO	<i>Data Studio</i>
Rosenberg y Kevin [15]	Básica y media	Energía	Modelos mentales	Arduino	<i>Processing</i>
Andrades <i>et al.</i> [16]	Básica y media	Movimiento armónico simple	Constructivismo	Sensor de efecto Hall	<i>Basic</i>
da Rocha y Marranghello [17]	Básica y media	Mecánica newtoniana	No se especifica	Acelerómetro, sensor sonar <i>GoMotion</i>	<i>Visual Analyser 10.0.5</i>
Cavalcante <i>et al.</i> [18]	Básica y media	Electrónica, Física moderna, funcionamiento de un control remoto	No se especifica	Microcomputador Arduino	<i>Processing; Wiring, Audacity</i>
Chen <i>et al.</i> [19]	Básica y media	Ley de Boyle	Postcognitvismo	Microcontrolador	No se especifica
Quezada y Zavala [50]	Básica y media	Electricidad y magnetismo, corriente, resistencia	Aprendizaje activo	Calculadoras graficadoras Texas Instrument Nspire CX CAS conectadas a sensores Vernier	No se especifica
Huang [9]	Básica y media	Circuitos, voltaje, ley de Ohm	No se especifica	Arduino	<i>NI LabVIEW</i>
Kubínová y Šlégr [20]	Básica y media	Medición	No se especifica	Arduino	<i>Wiring</i>
Luiz <i>et al.</i> [21]	Básica y media	Movimiento	No se especifica	<i>Photogate</i> , microcontroladores	No se especifica
Rosa <i>et al.</i> [22]	Básica y media	Electromagnetismo	No se especifica	NI myDAQ	<i>LabVIEW 12.0</i>
Pontes <i>et al.</i> [7]	Formación de profesores	Caída libre	Cambio conceptual	Pasco	<i>Visual Basic 6.0; Sensores 1.0</i>
Cavalcante <i>et al.</i> [23]	Formación de profesores	Mecánica	No se especifica	Fotosensor y fototransistor	<i>Cool edit</i>
Moreira y Pontello [51]	Formación de profesores	No se especifica	Teoría de la actividad	No se especifica	No se especifica
Amrani y Paradis [10]	Formación de profesores	Movimiento armónico simple	No se especifica	PASCO	<i>Science Workshop Datastudio de PASCO</i>
Novicki <i>et al.</i> [52]	Formación de profesores	Efecto Doppler	Teoría de mediación de Vygotsky	Micrófono	<i>Spectrogram</i>
Yanitelli <i>et al.</i> [24]	Formación de profesores	Sensores	Modelos mentales	No especifican	No se especifica
Monteiro <i>et al.</i> [25]	Formación de profesores	Cinemática	No se especifica	Microcontroladores PIC	<i>Streaming, web</i>
Assis <i>et al.</i> [26]	Formación de profesores	No se especifica	No se especifica	Sensor infrarrojo	No se especifica
Varanis <i>et al.</i> [27]	Formación de profesores	Cinemática, oscilaciones	No se especifica	Arduino, acelerómetro, giroscopio, ultrasonido. Arduino Mega 2560 Rev. 3, basado en el Atmel ATmega2560 microcontroller.	<i>Python</i>
da Rosa <i>et al.</i> [53]	Formación de profesores	Termodinámica	No se especifica	Arduino	<i>Processing</i>

Tabla 4: Tipos de sensores utilizados en educación básica y media

Tipo de Sensor / Plataforma	Trabajos
Adquisición de datos USB con sensores	[8]
Sensores adaptados a microcomputadores	[12, 14, 18]
Sensores conectados a calculadoras	[13, 50]
Instrumentos científicos computarizados (Proeware)	[46]
Sensores de movimiento (acelerómetros, Go Motion, Photogate)	[17, 21, 48]
Sensores de luz (Fotoresistores, Fotodiodos, Termistores)	[14]
Altavoz y micrófono de computador	[47]
Sensores marca PASCO	[49]
Sensores para Arduino	[9, 15, 19, 20]
Sensor de Efecto Hall	[16]
Sensores magnéticos/ NI myDAQ	[22]

a los estudiantes en proyectos interdisciplinarios [9, 15, 17, 49] y utilizar estos recursos para que ellos mismos diseñen propuestas innovadoras y que contribuyan con la producción científica [15, 18], por lo cual, de acuerdo con Sias y Teixeira [13, p. 360], "se trata de un recurso con grandes potencialidades, no solo en la búsqueda de un aprendizaje más significativo por el alumno, sino también como recurso motivador en la discusión de fenómenos físicos".

Se identificaron pocos trabajos que definen claramente una estrategia de enseñanza implementada para apoyar los sistemas de adquisición de datos, entre las cuales se encuentran el aprendizaje colaborativo desde la perspectiva de Johnson *et al.* [54], la estrategia de Física en tiempo real, diseñada por Sokolof, *et al.* [55], como una secuencia introductoria para actividades de laboratorio basados en computador y el diseño de tutoriales [50].

El uso de sistemas de adquisición de datos, aliado a la motivación que se despierta en los estudiantes al manipular herramientas tecnológicas, propicia condiciones excepcionalmente favorables para la enseñanza y aprendizaje de los conceptos básicos de física [8, 12, 56]; siempre y cuando el docente tenga una planeación adecuada del uso de estas herramientas y estén enfocadas a que los estudiantes sean conscientes de cómo se construyen diferentes conceptos y, no a la mera reproducción de experimentos sin ningún sentido para ellos.

Particularmente, la interacción con estos dispositivos permite que los estudiantes puedan aprender de forma significativa, porque pueden desarrollar procesos que implican tareas cognitivas más complejas y enriquecedoras, tales como "generar predicciones a la luz de marcos teóricos de referencia, formular hipótesis, seleccionar métodos de control de las hipótesis formuladas, diseñar secuencias experimentales, recolectar, procesar, analizar e interpretar datos, elaborar síntesis y conclusiones y derivar nuevas preguntas o acciones para seguir profundizando e investigando" [57, p. 344]. Además, la mediación de la tecnología educativa en la educación científica ha sido identificada como una manera de desarrollar habilidades importantes

para la formación de ciudadanos independientes y críticos [13, 58].

Por otra parte, se resalta el apoyo de esta herramienta a la actividad experimental, considerando que "algunas críticas hechas a las actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias se refiere al hecho de que la mayor parte del tiempo es invertido en el montaje y la recolección de datos, dejando poco tiempo para el análisis, discusión de los resultados y al propio entendimiento de la actividad realizada" [13, p. 361]; además que en su mayoría, presenta algunas limitaciones como la falta de relación entre los conceptos y las actividades prácticas, el tiempo gastado en el montaje de equipos y en la recolección manual de los datos y la falta de consideraciones epistemológicas sobre la naturaleza de la ciencia, [17]; por lo cual, la implementación de sistemas de adquisición de datos favorece en gran medida que la actividad experimental sea un espacio propicio para la conceptualización.

La mayoría de los trabajos analizados utilizan sensores marca PASCO o placas de tipo Arduino [8, 9, 15 a 17, 19 a 22, 47 a 49], que corresponden a una versión más económica y de fácil manejo para los estudiantes. El Arduino es una plataforma física de computación de código abierto, basada en una placa microcontroladora que posee circuitos electrónicos con base en *hardware* y *software* de código abierto y fáciles de usar. "El lenguaje de programación de arduino es una implementación del *Wiring*, que es un conjunto de funciones C/C++, y tiene su desarrollo en un ambiente (IDE) de Arduino, que es basado en *Processing*. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos y se pueden comunicar con el programa, funcionando en un computador por la salida USB". [18, p. 622]

Más allá de la implementación de los sistemas de adquisición de datos para realizar experimentos a la luz de diversas teorías, nos encontramos con trabajos que buscan comparar diferentes estrategias para abordar la actividad experimental en el aula con ayuda de herramientas computacionales. Uno de ellos [46], se llevó a cabo en el marco de un proyecto llamado TEEMSS (Technology Enhanced Elementary and Middle School Science), en el cual se desarrolló un *software* con material didáctico y un curso en línea para preparar a los maestros en el uso de sensores; al comparar los resultados de dos grupos de estudiantes, luego de haber hecho parte de dicho proyecto, se obtuvo que "los estudiantes que usaron TEEMSS desarrollaron una mejor comprensión de los gráficos que aquellos que no usaron TEEMSS" [46, p. 47], siendo este resultado un reflejo del desarrollo de procesos superiores de pensamiento. En el otro trabajo analizado [19] se comparan los laboratorios basados en microcomputador (MBL) y los laboratorios basados en simulación (SBL) del que se puede resaltar que, aunque ambas estrategias se basan en herramientas computacionales, el laboratorio basado en microcomputador puede inspirar la elaboración de más experimentos prácticos.

La manipulación virtual puede ser muy buena estrategia para el aprendizaje de conceptos científicos; sin embargo, para objetivos tales como cultivar la capacidad de investigación y acercar a los estudiantes a la construcción del conocimiento científico, la manipulación física podría ser la elección más pertinente [19].

En general, es importante que el papel de la actividad experimental se fortalezca desde la formación de profesores, para revisar el proceso de conceptualización en la enseñanza de la física y para asumir una postura crítica frente al uso del computador en el aula de clase [17].

3.2. Formación de profesores

En esta categoría se identificaron propuestas para la implementación de sistemas de adquisición de datos específicamente en programas de formación de profesores de física y se incluyen algunas que buscan apoyar la práctica docente en carreras como ingeniería o física pura [24, 25]. Las investigaciones están enfocadas a la implementación de esta herramienta como apoyo en diferentes dimensiones del papel de la actividad experimental para la labor docente:

- Diseño y montaje de experimentos que sirvan como material de apoyo para la enseñanza de conceptos de Física [25 a 27, 53]
- Aprendizaje de técnicas experimentales [7]
- Sugerencias para la inclusión de las TIC en el laboratorio de física [23]
- Apropiación de estrategias de enseñanza o metodologías para acompañar el proceso de aprendizaje de los estudiantes mediado por sistemas de adquisición de datos [10, 24, 51, 52]

En la revisión de los trabajos, se encontró que un número reducido de las unidades analizadas se apoyan en referentes teóricos de aprendizaje como la Teoría de la actividad [51], la Teoría de la mediación de Vygotsky [52], la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird [24], y el cambio conceptual [7]; entre estos trabajos se hace referencia a estrategias como el aprendizaje colaborativo [10, 51, 52], la actividad experimental [18, 24 a 27], el laboratorio basado en computador y el uso de tutoriales [7]. En cuanto a la implementación de los sistemas de adquisición de datos, la mayoría de los trabajos hace uso de microcontroladores de marca Arduino o PASCO [7, 10, 18, 25 a 27, 53], los cuales se utilizan para realizar mediciones con acelerómetros, giroscopios y ultrasonido [27], fotosensores y fototransistores [18] y sensores infrarrojo [26]; solo uno [52] hace uso del micrófono para determinar la velocidad de una fuente de sonido y dos investigaciones no especifican el sistema de adquisición de datos empleado [24, 51].

En relación con lo anterior, se destaca que estos trabajos se constituyen en una oportunidad para reflexionar sobre la apropiación en general de las TIC por parte de los docentes, ya que son estos los encargados de diseñar

estrategias para su implementación en el aula. En particular, los sistemas de adquisición de datos ofrecen la oportunidad de ayudar a mejorar la comprensión de conceptos físicos, siempre y cuando los docentes permitan que los estudiantes tengan más autonomía al interactuar con esta herramienta y adquieran mayor compromiso con su propio aprendizaje [23, 51, 52].

En lo relativo a la implementación de TIC en la enseñanza de la física, encontramos que en especial los sistemas de adquisición de datos pueden considerarse como herramientas cognitivas (*mindtools*), porque permiten que los estudiantes empleen necesariamente habilidades de orden superior al comenzar a recoger y registrar datos en tiempo real y su posterior interpretación de la relación entre las variables medidas [53]; por lo cual “el computador puede convertirse en una herramienta cognitiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje, creando un ambiente en el que el alumno construya su interpretación del mundo real organizando y sistematizando sus conocimientos. El profesor, actuando como mediador, puede utilizar esta herramienta en el sistema de enseñanza objetivando preparar al alumno para la inserción en el mundo informatizado” [51, p. 4].

En lo que se refiera al énfasis de las estrategias propuestas por los docentes o por los programas de formación de profesores, para el diseño de actividades experimentales con el uso de sistemas de adquisición de datos, predomina la investigación y el aprendizaje colaborativo centrado en el estudiante [7, 10, 23, 51], lo cual aumenta la motivación y el compromiso de los estudiantes, además de contribuir a mejorar significativamente la capacidad de interpretar datos y de establecer relaciones entre variables, así como el desarrollo del pensamiento crítico y el fortalecimiento de habilidades de orden superior, constituyendo una valiosa contribución a la visión actual de la educación en ciencias.

Las estrategias de enseñanza utilizadas para apoyar la implementación de estas herramientas tecnológicas tienen un papel importante en los trabajos analizados, atendiendo a la necesidad de generar propuestas que le permitan a los docentes en ejercicio y en formación apropiarse del uso de las TIC con criterio pedagógico y didáctico. En este orden de consideraciones, es importante tener en cuenta las dificultades que se pueden presentar en dicho proceso, entre los cuales Cavalcante *et al.* [23] destacan la falta de preparación para manipular sensores y para el análisis de los datos recogidos por estos mismos, lo que puede generar retrocesos en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. La familiarización con estas herramientas es de suma importancia para favorecer la conceptualización y la adquisición de aprendizajes significativos [10].

En lo que se refiere al enfoque constructivista predominante actualmente en la educación, puede verse este como un enfoque filosófico que se ocupa de cómo el individuo conceptualiza a partir de la construcción de su propia estructura cognitiva; pues los principios o postulados de este enfoque coinciden en señalar que el desarrollo

y el aprendizaje humanos son básicamente el resultado de un proceso de construcción [7, 24, 51, 52]. De este modo, el principal referente teórico abordado en las unidades e análisis, es la perspectiva de la Mediación de Vygotsky, que afirma que el desarrollo cognitivo ocurre en un entorno sociocultural. Además, “según Vygotsky, el desarrollo cognitivo es la transformación de relaciones sociales en funciones mentales a través de la mediación entre instrumentos y signos. El instrumento es aquello que puede ser usado para hacer algo, mientras que el signo es algo que tiene significado. De ese modo, el desarrollo cognitivo se da en la apropiación de instrumentos y signos, por vía de la interacción social” [52, p. 4].

El análisis de los trabajos que implementan los sistemas de adquisición de datos en la formación de profesores de física o que proponen alternativas para que profesores en ejercicio se apropien de estas herramientas, muestra que su implementación tiene un gran potencial para la mejora del aprendizaje y la conceptualización, tanto para los docentes como para los estudiantes [18, 25, 52, 53]; favorece el aprendizaje significativo, la capacidad de razonar y comprender conceptos científicos [7, 10, 25, 53], establecer relaciones entre variables [10, 24, 26, 27], realizar mediciones de magnitudes físicas y reflexionar sobre cómo éstas explican diferentes fenómenos de la naturaleza [10, 24, 26, 51, 53]; contribuyen al enriquecimiento de la estructura cognitiva y al desarrollo de habilidades de orden superior otorgando una dinámica diferente a las actividades experimentales [51, 52]. En consecuencia, “el énfasis está puesto en que el estudiante desarrolle su potencialidad cognitiva y se convierta en aprendiz estratégico para apropiarse significativamente no sólo de los contenidos curriculares sino también de los instrumentos que proporciona la cultura, en particular, las actuales tecnologías de la comunicación y la información” [24, p. 39].

En general, los trabajos realizados en esta área de interés reflexionan sobre las ventajas que ofrecen los sistemas de adquisición de datos, permitiendo mejorar la recolección de datos, la modificación de parámetros durante las actividades experimentales, la elaboración de gráficos para entender la relación entre las variables y pasar la mayor parte del tiempo observando los fenómenos. No obstante, no se han desarrollado muchos estudios que reflexionen sobre el papel de estas herramientas en la formación de profesores de física, por lo que con la investigación en la que se enmarca la presente revisión de literatura, se tiene como propósito lograr que los maestros en formación incorporen los sistemas de adquisición de datos en las prácticas de laboratorio para propiciar la conceptualización y la reflexión sobre la forma en que se construye el conocimiento científico.

Al respecto, se resalta lo que afirman Haag [59, p. 81] en cuanto a que la intención de estas propuestas es contribuir “en el sentido de dar al profesor herramientas para adaptar las actividades del laboratorio didáctico de física en el mundo moderno que está en constante cambio,

para mostrar la física como una ciencia, no solamente como insertada en este contexto, sino como un agente importante de estas transformaciones. Nuestros profesores requieren estar conscientes de la importancia de integrar nuevas tecnologías en el laboratorio didáctico y necesitan ser ayudados en esta tarea [...] No se hace necesario un conocimiento profundo por parte del profesor o de un lenguaje de programación o de *hardware*, basta tener la mente abierta a las nuevas tecnologías, pues la enseñanza de la Física para la ciudadanía necesariamente obliga al profesor a repensar su papel en el aula y en el laboratorio”.

4. Consideraciones Finales

A pesar de que, entre los docentes y los mismos estudiantes predomine la imagen de la actividad experimental como un espacio para la manipulación de instrumentos al margen de una teoría, o que son simples ejercicios de aplicación de un concepto al margen de un procedimiento [60 a 63], cabe resaltar que, la experimentación como tal llevada al ámbito de la enseñanza, ayuda a la construcción de conocimiento mediante factores como la interacción social, el desarrollo del pensamiento teórico y procedimental, la resolución de problemas y el cuestionamiento [63]. Así mismo, lograr la realización de actividades experimentales, a partir de situaciones problemas, ayuda a desarrollar habilidades experimentales y a dedicar más tiempo a la modelización personal como una oportunidad para la adquisición de aprendizajes significativos [64].

De esta manera, se podría afirmar que la actividad experimental en la enseñanza de la física, y particularmente, en la formación de profesores de física, debe crear espacios para diseñar estrategias que permitan a los estudiantes acercarse a la construcción del conocimiento científico, teniendo en cuenta las anteriores consideraciones y, principalmente, que la construcción del conocimiento es una tarea colectiva. La implementación de las TIC como apoyo para la actividad experimental requiere un enfoque pedagógico coherente con las exigencias de la educación científica en la actualidad y que esté dirigida hacia la alfabetización científica.

Desde esta perspectiva, a través del uso de sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de conceptos de física, se tiene como propósito lograr que los profesores de programas de formación de maestros incorporen esta herramienta en las actividades experimentales; de tal manera, que puedan dedicar más tiempo a la conceptualización y a la reflexión en torno a los procesos de construcción de conceptos y el papel de la experimentación en la construcción de los mismos. Sin embargo, es importante tener en consideración, que ahora el profesor debe tener un buen dominio de estos sistemas y procurar porque el estudiante también dedique tiempo para aprender a manejarlos; una buena alternativa que surge a partir de esta revisión, es el uso de tutoriales que

permitan acercar al estudiante al buen manejo de estas herramientas.

Es usual que en la mayoría de los trabajos se destaque como principal potencialidad de los sistemas de adquisición de datos, la reducción del tiempo en la toma de datos de una actividad experimental; sin embargo, inicialmente los estudiantes toman un tiempo considerable al familiarizarse con los equipos. Por tal razón, es necesario que los estudiantes realicen una actividad preliminar para que manipulen diferentes sensores, observen variaciones en las variables que puedan medir y registren los datos en un formato de texto como Excel. Más que una dificultad, este proceso de apropiación de los sistemas de adquisición de datos es una razón más para introducir estas actividades en la enseñanza de la física, ya que uno de los objetivos de la actividad experimental es la familiarización con instrumentos de medición; además, porque las preguntas que surgen durante la implementación de esta herramienta llevan a reflexionar sobre la apropiación de los conceptos involucrados en el fenómeno estudiado, lo que en muchas ocasiones pasa desapercibido en los laboratorios tradicionales [11].

Consideramos que los sistemas de adquisición de datos son una alternativa para que a través de la experimentación apoyada en esta herramienta se proporcione una imagen más amplia del fenómeno a estudiar, al disponer de gráficos de forma casi inmediata, que muestran la relación entre las variables involucradas en la situación [59]. Además, como lo mencionan Pontes *et al.* [7, p. 264], 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”.

Con la realización de esta revisión de literatura se logra hacer un importante acercamiento al estado actual de la implementación de los sistemas de adquisición de datos en la enseñanza de la física, siendo una valiosa oportunidad para reflexionar sobre la manera como estas herramientas pueden aportar a la actividad experimental, desde referentes pedagógicos y/o didácticos. De igual manera, se espera abrir un panorama para la formulación de nuevas propuestas que aporten a la implementación de TIC en los programas de formación de profesores de ciencias en general, como una de las principales exigencias del sistema educativo en la actualidad.

Referencias

- [1] M.A. Agudelo, Revista *ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa* **1**, 1 (2004).
- [2] V. Capuano, *Virtualidad, Educación y Ciencia* **2**, 79 (2011).
- [3] A. Pontes, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **2**, 330 (2005).
- [4] I.S. Araujo, E.A. Veit y M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **4**, 5 (2004).
- [5] I.S. Araujo y E.A. Veit, en: *14^a Jornada Nacional de Educação* (2008), disponible en http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/midias/apoio/14_Jornada_UNIFRA_2008.pdf.
- [6] M. Menezes, D. Schiel, I. Müller y E. Marega, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 97 (2002).
- [7] A. Pontes, J. Gavilán, M. Obrero y A. Flores, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **3**, 251 (2006).
- [8] A. Garg, R. Sharma y V. Dhingra, *Latinoamerican Journal of Physics Education* **4**, 523 (2010).
- [9] B. Huang, en: *122nd ASEE Annual Conference & Exposition (Paper ID #14073)* (2015), disponible en: <https://www.asee.org/public/conferences/56/papers/14073/download>.
- [10] D. Amrani y P. Paradis, *Latinoamerican Journal of Physics Education* **4**, 511 (2010).
- [11] R. Haag, I.S. Araujo y E.A. Veit, *Física na Escola* **6**, 69 (2005).
- [12] R. Grala y E. de Oliveira, *Física na Escola* **6**, 26 (2005).
- [13] D.B. Sias y R.M. Teixeira, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **23**, 360 (2006).
- [14] L. da Silva, *Experiências em Ensino de Ciências* **1**, 18 (2006).
- [15] J. Rosenberg y K. Cuff, *Latin-American Journal of Physics Education* **6**, 39 (2011).
- [16] J.C. Andrades, A. Schiappacassa y P.F. Santos, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 2503 (2013).
- [17] F.S. da Rocha y G.F. Marranghello, *Latin-American Journal of Physics Education* **7**, 37 (2013).
- [18] M.A. Cavalcante, T.T. Rodrigues y D.A. Bueno, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **31**, 2500 (2014).
- [19] S. Chen, W.H. Chang, C.H. Lai y C.Y. Tsai, *Science Education* **98**, 905 (2014).
- [20] S. Kubínová y J. Šlégr, *Physics Education* **50**, 472 (2015).
- [21] F.F. Luiz, L.E. Souza y P.H. Domingues, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **38**, 2504 (2016).
- [22] P.F. Rosa, F.S. Silva, L. Benyosef y A.R. Papa, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **38**, 1501 (2016).
- [23] M.A. Cavalcante, A. Bonizzia y L.C. Gomes, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 2501 (2008).
- [24] M. Yanitelli, M. Massa y M.A. Moreira, *Revista de Enseñanza de la Física* **24**, 21 (2011).
- [25] M.A. Monteiro, I.C. de Castro, J.S. Germano y F.S. Junior, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 191 (2013).
- [26] A. Assis, J. Miranda, J. Junior, y H.B. de Oliveira, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 809 (2015).
- [27] M. Varanis, P.H. Brunetto y R.F. Gregolin, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **38**, 1301 (2016).
- [28] C. Aguiar y F. Laudares, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 371 (2001).
- [29] M. Ochoa, en: *Estándares Básicos de Competencias en Matemáticas* (Ministerio de Educación Nacional Bogotá, 2006), p. 46.
- [30] S. Gil y E. Rodríguez, *Experimentos de Física Usando Nuevas Tecnologías* (Prentice Hall / Pearson, Buenos Aires, 2001).

- [31] J. Martins y A. Viana, *Latinoamerican Journal of Physics Education* **5**, 656 (2011).
- [32] J. Osborne and S. Hennessy, *Literature Review of ICT: Promise, Problems and Future Directions* (Futurelab, Bristol, 2003).
- [33] S. Hennessy, B. Onguko, D. Harrison, E.K. Ang'ondi, S. Namalefe, A. Naseem and L. Wamakote, *Developing the Use of Information and Communication Technology to Enhance Teaching and Learning in East African Schools: Review of the Literature* (University of Cambridge, Cambridge, 2010).
- [34] M. Claro, *Impacto de las Tic en los Aprendizajes de los Estudiantes: Estado del Arte* (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, 2010).
- [35] M. Nussbaum y P. Rodríguez, en: *Conferencia Internacional Impacto de las tic en Educación* (2010), disponible en http://licroelrodas.info/admin/Insercion/actividades/a02c5d_TICS%20EN%20EDUCACION.pdf.
- [36] J.C. Méndez, *Revista Virtual Universidad Católica del Norte* **34**, 35 (2011).
- [37] A. Vacchieri, *Programa Tic y Educación Básica: Estado del Arte Sobre la Gestión de las Políticas de Integración de Computadoras y Dispositivos Móviles en los Sistemas Educativos* (Unicef, Nueva York, 2013).
- [38] R.E. Lizárraga, *Etic@ net* **1**, 1 (2014).
- [39] O. Hernández, H. Jurado y Y. Romero, *Revista Colombiana de Educación* **66**, 103 (2014).
- [40] C. Murphy, *Literature Review in Primary Science and ICT* (Futurelab, Bristol, 2003).
- [41] K. Scalise, M. Timms, A. Moorjani, L. Clark, K. Holtermann and P.S. Irvin, *Journal of Research in Science Teaching* **48**, 1050 (2011).
- [42] L.K. Smetana and R.L. Bell, *International Journal of Science Education* **34**, 1337 (2012).
- [43] S.Y. López, E. A. Veit y I.S. Araujo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **38**, 2401 (2016).
- [44] C. Hoyos, *Un Modelo para Investigaci' on Documental: Guía Teórico-Práctica Sobre Construcción de Estados del Arte con Importantes Reflexiones Sobre la Investigación* (Señal Editora, Medellín, 2000).
- [45] J.L. Piñuel, *Sociolinguistic Studies* **3**, 1 (2002).
- [46] A.A. Zucker, R. Tinker, C. Staudt, A. Mansfield y S. Metcalf, *Journal of Science Education and Technology* **17**, 42 (2008).
- [47] E.W. da Silva y S.T. Gobara, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **26**, 379 (2009).
- [48] F.S. da Rocha y P.H. Guadagnini, *Latin-American Journal of Physics Education* **4**, 306 (2010).
- [49] Á.L. Torres, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciências* **7**, 693 (2010).
- [50] M. Quezada y G. Zavala, *Latin-American Journal of Physics Education* **8**, 2507 (2014).
- [51] A.F. Moreira y I. Pontelo, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **9**, 148 (2009).
- [52] A. Novicki, E. Latosinski y R. Pogliá, *Física na Escola* **12**, 4 (2011).
- [53] C.T. da Rosa, A.B. da Rosa, M.A. Trentin y A.C. Giacomelli, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **33**, 292 (2016).
- [54] D. Johnson, R. Johnson y E. Holubec, *El Aprendizaje Cooperativo en el Aula* (Paidós, Buenos Aires, 1999).
- [55] D. Sokolof, P. Thornton y R. Laws, *European Journal of Physics* **28**, 83 (2004).
- [56] V. da Fonseca, K.F. de Mello, H. Libardi y I. Santo Damo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 146 (2002).
- [57] M.M. Andrés, M.A. Pesa y J. Meneses, *Enseñanza de las Ciencias* **26**, 343 (2008).
- [58] L. Ferracioli, T. Gomes, G. Gava, R. Marques, M. Hombre, R. Rodrigues, M. Morelato, K. Fehsenfeld y C. Henrique, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **29**, 679 (2012).
- [59] R. Haag, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23**, 176 (2001).
- [60] D. Hodson, *Studies in Science Education* **12**, 25(1985).
- [61] D. Gil, A. Beléndez, A. Martín y J. Martínez, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* **12**, 43 (1991).
- [62] D. Gil, C. Furió, P. Valdés, J. Salinas, J. Martínez, J. Guisasaola, E. González, A. Dumas, M. Goffard y A. Pessoa, *Enseñanza de las Ciencias* **17**, 311 (1999).
- [63] A.L. Cortés y M. de la Gándara, *Enseñanza de las Ciencias* **30**, 435 (2011).
- [64] E.A. Jaime y C. Escudero, *Enseñanza de las Ciencias* **29**, 115 (2011).