



Estado del arte sobre los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias (2009-2019). Un análisis bibliométrico*

- State of the Art About the Scientific Instruments in the Science Teaching (2009-2019). A Bibliometric Analysis
- Estado da arte sobre os instrumentos científicos no ensino de ciências (2009-2019). Uma análise bibliométrica

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de una investigación documental cuyo objetivo fue determinar las principales tendencias sobre los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias durante los años 2009-2019, a partir de un estudio bibliométrico. Así, se realizó una metodología cualitativa tipo estado del arte como investigación documental a partir de cinco palabras clave: instrumentos científicos, aparatos, enseñanza de las ciencias, aprendizaje y educación en ciencias. Para tal efecto, se emplearon cinco categorías inductivas: enfoque, autores, disciplina científica, metodología y población objeto de estudio con sus respectivas subcategorías; los resultados y análisis permitieron identificar seis tendencias alrededor de este campo de investigación. Las principales conclusiones muestran, entre otros aspectos, el papel clave de los instrumentos científicos desde una perspectiva interdisciplinaria e histórica con fines didácticos, así como la necesidad de superar el énfasis didáctico-instrumental y fortalecer los artículos tipo investigación. Lo anterior resalta la importancia de los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave

análisis bibliométrico; enseñanza de las ciencias; estado del arte; instrumentos científicos

Abstract

This paper presents the findings of a documentary research which aims at setting up the main trends about the scientific instruments in the science teaching during the 2009 - 2019 years from a bibliometric study. Thus, it followed a qualitative methodology - state of the art type, from five key words: scientific instruments, apparatus, science teaching, learning and science education. For doing so, it considered five inductive categories: approach, authors, scientific

Alejandro Leal Castro**
Henry Giovany Cabrera Castillo***

* Trabajo derivado de la tesis doctoral titulada *El papel de los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias. Un estudio histórico y filosófico asociado a la radioactividad.*

** Mg. Profesor Universidad Santiago de Cali, Facultad de Educación; estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación (DIE-Univalle). Correo electrónico: alejandro.leal@correounivalle.edu.co. Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0947-9751>

*** PhD, Profesor Universidad del Valle, Instituto de Educación y Pedagogía. Correo electrónico: henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co. Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4476-4427>



discipline, methodology and target population with their related subcategories. The findings and analysis allowed us to identify six trends around that research scope. The main conclusions point out, among other aspects, the key role of the scientific instruments from an interdisciplinary and historical approach in accordance with didactic purposes, as well as the need of overcoming the didactic – instrumental focus and strengthening the research articles. The aforementioned highlights the value of the scientific instruments in the science teaching

Keywords

bibliometric analysis; science teaching; scientific instruments; statement of art

Resumo

Este artigo apresenta as conclusões de uma pesquisa documental que visa estabelecer as principais tendências sobre os instrumentos científicos no ensino de ciências durante os anos de 2009 a 2019, a partir de um estudo bibliométrico. Assim, realizou-se uma metodologia qualitativa - do estado da arte, a partir de cinco palavras-chave: instrumentos científicos, aparelhos, ensino de ciências, aprendizagem e ensino de ciências. Para tanto, utilizou cinco categorias indutivas: abordagem, autores, disciplina científica, metodologia e população alvo com suas subcategorias relacionadas. As descobertas e análises permitiram identificar seis tendências em torno desse escopo de pesquisa. As principais conclusões apontam, entre outros aspectos, para o papel fundamental dos instrumentos científicos de uma abordagem interdisciplinar e histórica, de acordo com os objetivos didáticos, bem como a necessidade de superar o foco didático - instrumental e fortalecer os artigos de pesquisa. Acima, destaca o valor dos instrumentos científicos no ensino de ciências

Palavras-chave

afirmação de arte; análise bibliométrica; ensino de ciências; instrumentos científicos

Introducción

Los instrumentos científicos desempeñan un papel fundamental tanto en la construcción de conocimiento científico como en la práctica científica misma son de vital importancia en la producción de conocimiento escolar, en la enseñanza de las ciencias en donde han estado ligados a la enseñanza de diversos temas como cambio químico, punto de ebullición, resistencia eléctrica, electricidad, magnetismo, electromagnetismo y uso de baterías (Chang, 2004; García, 2014; Hacking, 1992; Metz, 2015; Rhee, 2015), principalmente. Por lo anterior, la necesidad de realizar un estado del arte, tipo estudio bibliométrico, en este campo de investigación.

Uno de los propósitos al momento de realizar un estado del arte a partir de un estudio bibliométrico consiste en encontrar tendencias y vacíos en las investigaciones precedentes en relación con el problema de investigación. Así, el estado del arte puede ser concebido como una investigación documental (Galeano, 2012; Londoño et ál., 2014) de análisis de bases de datos (Öchsner, 2013).

De acuerdo con lo anterior, este artículo presenta los resultados de una investigación documental cuyo objetivo consistió en determinar las principales tendencias sobre los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias durante los años 2009-2019 a partir de un estudio bibliométrico. Para esto, la pregunta de investigación planteada fue ¿Cuáles son las tendencias más importantes en el estado del arte acerca de los instrumentos científicos entre 2009 y 2019?

Marco teórico

El giro pragmático en los estudios sobre la ciencia registrado en los años 1980 y 1990 significó la presencia de la historia de los ex-

perimentos, los instrumentos y la práctica en términos científicos como una temática central (Eggen et ál., 2012); asimismo, el estudio de estos se puede inscribir en el giro material en la historia de la ciencia (Lourenço et ál., 2014), de allí la importancia de reconocer que la actividad científica tiene una doble condición en tanto práctica y cultura (Pickering, 1995), la cual tiene que ver con las cosas hechas, en la que se destacan los instrumentos científicos. De acuerdo con Turner (2012) los instrumentos hacen parte de la cultura material en educación en ciencias, para su estudio es fundamental reconocer la comprensión teórica del fenómeno, la construcción técnica y conceptual del instrumento, las observaciones realizadas, los datos generados y los procedimientos aplicados (Höttecke et ál., 2012).

La difusión del uso de instrumentos científicos para estudiar la naturaleza e ilustrar sus fenómenos es una de las consecuencias de la revolución científica (Brenni, 2012). Su importancia es tal que “los instrumentos no solamente son el sustento intelectual; ellos ocupan el mismo nivel de las más grandes contribuciones teóricas para entender el mundo” (Baird, 2004, p. xvii); así, el uso de nuevos instrumentos puede abrir territorios desconocidos sin la necesidad de tener una teoría de base.

Los instrumentos, según Roberts (1991), nunca son pasivos y operan, junto con el lenguaje, por la “orientación de ciertas habilidades perceptuales, procesos manipulativos y organización de categorías” (p.268). De hecho, para el estudio de los fenómenos naturales se hace necesario manipular de manera adecuada los instrumentos científicos a partir de tres modelos que, estos es: el modelo del fenómeno (comprensión conceptual del fenómeno); modelo instrumental (comprensión conceptual del instrumento y del experimento); y el procedimiento material (acción manipulativa) (Pickering, 1989).

El uso de los instrumentos en la enseñanza de las ciencias no solamente tiene un carácter demostrativo de los fenómenos o leyes de la naturaleza, sino que promueven la investigación y permiten tejer una red de narrativas, evidencias y experiencias; en términos educativos, los instrumentos también se encuentran vinculado a museos de ciencias, centros científicos y al engranaje en el aula de clases (Anderson et ál., 2013).

Adicionalmente, según Höttecke et ál. (2012) replicar instrumentos históricos permite estudiar el carácter procesual y situado de la ciencia y los experimentos. Estos mismos autores resaltan la necesidad de conectar dichos experimentos con la cultura en la cual se encuentran inmersos y los materiales requeridos para su implementación, así como la importancia que se otorga a que los estudiantes participen en su diseño, lo cual implica comprender el principio de trabajo científico del instrumento, así como los detalles técnicos.

De este modo, los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias presentan diferentes perspectivas, de igual forma, son útiles para representar un fenómeno o un suceso natural, así como para medirlo y caracterizar sus propiedades. Su uso, en este sentido, no está ligado exclusivamente a considerarlo como un medio para validar o falsar lo que el profesor ha explicado previamente en el aula de clase. Además, los instrumentos científicos guardan por sí mismo un potencial que le permite al estudiante interrogar la naturaleza de tal manera que esta se despliega de acuerdo con la manera en que se le interroga, al tiempo que permite cultivar una imagen de ciencia humana y contextualizada.

Diseño metodológico

El estudio que se presenta es de corte cualitativo, tipo estado del arte como investigación documental. De este modo, se busca ir tras las huellas del campo de conocimiento que se pretende ahondar, permitiendo estudiar cómo ha sido tratado este y cuáles son las tendencias (Rojas, 2007; Caro et ál., 2005). Según Mora (2018) para elaborar un estado del arte es necesario seguir una ruta que consiste en seis pasos: primero, identificar las palabras clave; segundo, elegir bases de datos bibliográficas de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas; tercero, se seleccionan todos los artículos que emergieron a partir de la búsqueda; cuarto, se adquieren los artículos a partir de la base de datos de documentos (Scienedirect) en toda su extensión; quinto, se sistematizan dichos documentos en un gestor bibliográfico (Mendeley); y sexto, se determinan las categorías emergentes.

De este modo, las palabras claves fueron: instrumentos científicos, aparatos, enseñanza de las ciencias, aprendizaje y educación en ciencias. Posteriormente, se realizó la búsqueda en las bases de datos como Springer, Web of Science, Scopus, Science Direct, Elsevier, Scielo, Google académico y Latindex, entre los años 2009-2019. Con el fin de sistematizar los artículos se realizó una codificación

y una lectura preliminar; posteriormente, se realizaron los respectivos resúmenes analíticos educativos que sintetizaron los principales

aspectos de cada artículo. La elaboración de tales resúmenes permitió la emergencia de cinco categorías (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías emergentes y subcategorías

Categoría emergente	Subcategoría
Enfoque	Didáctico
	Histórico
	Epistemológico
Autores	Nombre
Disciplina científica	Física
	Astronomía
	Química
	Biología
Metodología	Descriptivo
	Propositivo
	Estudio de caso
Población objeto de estudio	Instrumento científico
	Personaje Científico
	Estudiantes

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la fase de análisis y resultados de cada artículo sirvió para inferir, a partir de las categorías establecidas, rasgos comunes que permitieron plantear las tendencias acerca de los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias durante el año 2009-2019. Dicho ejercicio de inferencia se realizó desde una mirada inductiva.

Resultados y análisis

A continuación, se presentan los principales hallazgos derivados del análisis documental alrededor de las seis categorías emergentes. La escritura empieza con la primera categoría

de análisis “enfoque” que responde, genéricamente, a la pregunta por la intencionalidad de los artículos analizados.

Categoría 1. Enfoque

En esta categoría emergieron tres subcategorías. En la primera, de tipo didáctico (77,7%), se ubican los trabajos con una intención formativa explícita en lo relacionado con la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. La segunda subcategoría, compuesta por el 18,5% de los manuscritos se corresponde con artículos enmarcados exclusivamente en la historia de la ciencia (Figura 1).

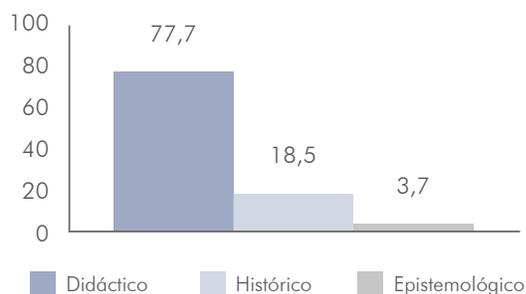


Figura 1. Distribución de subcategorías en la categoría de enfoque relacionada con la enseñanza de las ciencias en el período 2009-2019

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la última subcategoría que representa el 3,7% del total del material bibliográfico analizado atañe únicamente a aspectos de tipo epistemológico. Lo anterior es comprensible toda vez que las palabras de búsqueda estaban directamente relacionadas con el aprendizaje, la enseñanza y la educación en ciencias. A continuación, se presenta el análisis de cada subcategoría, empezando por la categoría enfoque (Tabla 2).

Histórico (18,50%)

En esta subcategoría se ubica el manuscrito elaborado por Carolino (2012) que se centra en la astronomía en la Escuela Politécnica de Lisboa y su papel en la construcción y la tecnología moderna en Portugal durante el siglo XIX. Adicionalmente, Ganci (2009) ilustra un capítulo de la historia de la física en Italia acaecido entre la segunda mitad del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX, donde resalta el interés científico en el pequeño pueblo de Chiavari que se destacó por albergar a diversos constructores de instrumentos científicos, a pesar de su aislamiento geográfico.

Aquí también se instala el trabajo realizado por Rawson (2015), al resaltar el trabajo de James Gregory, inventor del telescopio reflector que se interesó por establecer un observatorio en la Universidad de St. Andrews. Finalmente, Suay-Matalla (2019), presenta la colección de instrumentos científicos del laboratorio de aduanas de Lisboa creada a finales del siglo XIX.

Epistemológico (3,70%)

En referencia a la subcategoría epistemológico el artículo que presentan Rodríguez et al. (2016) se enfoca en una propuesta para la enseñanza de la epistemología de la física, en el contexto de la epistemología de la imaginación. A partir de allí, se presenta una categorización de instrumentos catalogándolos como instrumentos científicos, herramientas metodológicas y desarrollos tecnológicos.

Tabla 2. Matriz analítica de contenido relacionada con la categoría enfoque durante el período 2009-2019

Categoría	Subcategoría	Código artículo	Tendencias		
			Primera agrupación	Segunda agrupación	
Enfoque	Didáctico	001			
		009	Interdisciplinariedad: diálogo entre ciencia, arte y cultura; interacción HC, museos, personal científico y educadores en ciencias; articulación EDUTECH y EDUCIC.		
		020			
		024			
		002		Es posible agrupar los artículos analizados en tres grandes tendencias:	
		004			
		006	Instrumental: procedimientos mecánicos, ejercicios de laboratorio mediados por TIC con formalismo matemático. El papel del instrumento es corroborar la teoría y extender los sentidos.		
		018			
		022			
		003	Libros de texto: instrumentos ópticos de textos de física de secundaria.		<ol style="list-style-type: none"> 1. El conjunto de artículos (40,7%) que le otorgan un papel didáctico instruccional a los instrumentos pues solamente los vinculan al desarrollo de competencias, aprendizaje de conceptos científicos, procedimientos de tipo matemático, actividades de laboratorio con pasos estandarizados, además de entenderlos como extensión de los sentidos 2. El grupo de artículos que le apuesta a un enfoque no instruccional que no enfatiza necesariamente en la historia de la ciencia, sino resalta el rol del instrumento en la actividad experimental y de este también a nivel interdisciplinar 3. La clase de artículos que también son no instruccionales a través de trabajos de tipo histórico (42,85%) desempeñan un papel porcentual importante
		007	Competencias: desarrollo del ser, hacer y saber a través de los instrumentos científicos.		
		011	Actividad experimental: relación entre construcción de fenómenos experimentales, instrumentos científicos y observación.		
		008			
		012			
	013				
	014	Histórico: relevancia material antiguo en formación en ciencias; clasificación de instrumentos históricos con criterios didácticos; historia centros de enseñanza y sus colecciones; conceptualización instrumento científico; proyecto didáctico con instrumentos de los siglos XVIII y XIX; réplicas de instrumentos científicos históricos.			
	015				
	016				
	019				
	026				
	027				
	Histórico	005		Conjunto de artículos que se centran exclusivamente en la Historia o Epistemología de la Ciencia, pero que no muestran una preocupación explícita por los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias	
		017	Astronomía e instrumentos científicos en Portugal; Historia de la Física en Italia entre siglos XIX y XX; los trabajos sobre James Gregory; instrumentos científicos de Antony van Leeuwenhoek.		
		021			
		023			
		025			
	Epistemológico	010	Enseñanza de la epistemología de la Física a partir de la epistemología de la imaginación.		

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta que más de la tercera parte de los artículos analizados se inscriben dentro de la subcategoría didáctico, se hizo necesario establecer una serie de códigos emergentes en la primera agrupación, tales como interdisciplinariedad, instrumental, libros de texto, desarrollo de competencias, actividad experimental e histórico. La distribución relativa de la primera agrupación se presenta a continuación (Figura 2).

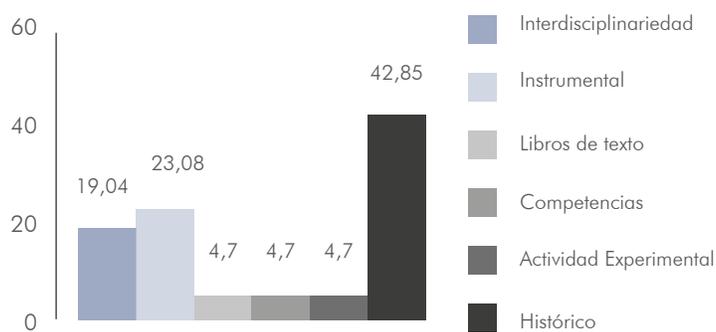


Figura 2. Tendencias (primera agrupación) relacionadas con la subcategoría didáctico en el período 2009-2019

Fuente: elaboración propia.

Interdisciplinariedad (19,04%)

Algunos trabajos resaltan explícitamente la interacción entre historia de la ciencia, museos, personal científico y educadores en ciencias (Anderson, 2014). Por su parte, otros artículos destacan, a nivel teórico, el papel de los instrumentos científicos como ejes articuladores de la educación en ciencias y la educación en tecnología (Mora et ál., 2018).

Adicionalmente, Metz (2015) destaca el potencial de un instrumento científico denominado el puente de Wheatstone, empleado para medir la resistencia eléctrica, como un caso que ilustra el diálogo entre la ciencia, el arte y la cultura. Diversos aspectos al respecto pueden ser empleados en la enseñanza de las ciencias a partir de sus trabajos, entre estos, las conexiones curriculares entre acústica, luz y electricidad, así como cuestiones relativas a la naturaleza de la ciencia que surgen de la integración entre ciencia, arte y cultura.

En la categoría interdisciplinariedad cabe destacar asimismo el manuscrito de Vázquez et ál. (2017), que gira entorno a la idea del encuentro entre la ciencia y el arte, a partir de la construcción del telescopio de Galileo; lo anterior permite resaltar la integración entre ciencia y arte en la enseñanza de las ciencias. Dicho enfoque, según los autores, aporta cuestiones adicionales de naturaleza de la ciencia y tecnología (nacimiento de la ciencia), las relaciones ciencia-tecnología (instrumentación científica) y las relaciones generales de ciencia y tecnología con la sociedad (arte).

Instrumental (23,08 %)

De la misma forma, se encuentran investigaciones caracterizadas por una perspectiva didáctica-instrumental a través de estrategias y procedimientos instruccionales, generalmente mediados por la implementación de tecnologías y el predominio del formalismo matemático. Tal es el caso del trabajo realizado alrededor del Arduino (Suwondo et ál., 2017), instrumento que permite comprender nociones tales como corriente, voltaje, ondas de voltaje en capacitores cargados y descargados.

También se ubica en esta categoría el escrito realizado por el grupo de trabajo de Alvarado et ál. (2012), quienes presentan un aparato de medición elaborado, principalmente, por una fuente de corriente precisa, un medidor de voltaje, un computador y un alambre de platino, que permite determinar la conductividad térmica basada en el método de alambre caliente. Igualmente, se encuentra la contribución elaborada por Riaz et ál. (2019), quienes elaboran un aparato capacitor de placas paralelas mejorado, para la estimación de constantes dieléctricas de materiales sólidos.

De manera análoga Olafsson et ál. (2009) reconocen que la actividad experimental ha sido frecuentemente restringida a ejercicios simples de laboratorio en condiciones controladas y que los trabajos asociados a fenómenos naturales no controlables son normalmente dejados a científicos e investigadores. Por este motivo, destacan la creación de una maleta de ciencia espacial en Noruega con una versión de instrumentos que les permiten monitorear la actividad solar y geofísica cerca del espacio terrestre. A los artículos anteriores se añade el llevado a cabo por Wolfschmidt (2015) en el observatorio de Hamburgo, sitio idóneo para historiadores de la astronomía y profesores interesados en este campo del conocimiento,

que contiene telescopios para observar los fenómenos astronómicos.

Libros de texto (4,70 %)

En esta categoría se encontraron trabajos que propendieron por analizar la relación entre la alfabetización científica y los libros de texto que trabajan instrumentos ópticos de textos de física de secundaria. La perspectiva de “alfabetización científica” de este trabajo (Rokhmah et ál., 2017) se centra en aspectos tales como estudiar la formación de análisis en los ojos, identificar instrumentos ópticos para personas con alguna dificultad visual, detectar las partes de un telescopio y analizar la formación de las imágenes en una cámara, entre otros aspectos. De esta manera, su enfoque se centra en los resultados propios del conocimiento científico, en este caso, de la óptica, es decir, en los conceptos asociados a este tema como imagen, cámara, telescopio y lentes, lo cual dista de situarse en la enseñanza de las ciencias a partir de sus procesos tales como creatividad, duda, imaginación error y trabajo colectivo.

Desarrollo de competencias (4,70 %)

Para otros autores los instrumentos científicos desempeñan un rol fundamental en el desarrollo de competencias (Turcio et ál., 2015). Es así como estos son importantes en la construcción de conocimientos útiles, ayudan a desarrollar capacidades para planear, organizar, ejecutar y autocriticar el trabajo de investigación y desempeñan un rol clave para la comunicación oral y escrita, al tiempo que pueden potenciar el trabajo en equipo.

Actividad experimental (4,70 %)

El trabajo realizado por Castro et ál. (2016) aborda tres elementos en la formación inicial de profesores de ciencias naturales que se

encuentran interrelacionados a nivel experimental, como son la construcción de fenómenos experimentales, el papel de los instrumentos científicos y el rol de la observación, que a su vez está mediada por tales instrumentos.

Histórico (42,85%)

Se hallaron, artículos que reflexionan sobre la relevancia del material antiguo durante la formación de los estudiantes en Física y Química y su aplicación didáctica, tanto en la educación secundaria como en el Bachillerato en lo relacionado con el estudio de fenómenos físicos a nivel de mecánica (Callejón, 2010). También se detectan textos en relación con los instrumentos antiguos de los gabinetes de física a través de estudios sobre colecciones de instrumentos de física junto con manuales de física del siglo XIX, laboratorios de investigación y laboratorios escolares actuales. Para ello, se aplicó un esquema clasificatorio basado en criterios didácticos (Fernández et ál., 2013).

El grupo de trabajo de Bertomeu et ál. (2011) alude a las colecciones de instrumentos científicos de los institutos de enseñanza secundaria del siglo XIX en España; allí, se destacan sus promotores, usuarios, usos y razones que condujeron a su abandono. Estos mismos autores elaboran un documento de trabajo (Bertomeu et ál., 2010) donde ofrecen una revisión de la historia de los centros de enseñanza secundaria y sus colecciones, desde sus orígenes hasta la situación actual. En esta misma dirección se ubica González (2011), quien presenta un artículo sobre las tareas de recuperación y documentación del material científico antiguo existente en el actual instituto San Isidro de Madrid, dentro del cual hacen parte instrumentos científicos como fonógrafos, cámaras fotográficas estereoscópicas y de microfotografía, entre otros.

Pantano et ál. (2010) desarrollan un proyecto didáctico para estudiantes entre los 11 y 18 años, que contó con la colaboración de físicos, trabajadores del museo de historia de la física de Padua, Italia, y profesores locales de secundaria; en este sentido, se emplearon instrumentos científicos de los siglos XVIII y XIX como esferas metálicas y péndulos. Los investigadores destacan la importancia de comprender cómo trabajan los instrumentos científicos y cómo fueron usados.

Categoría 2. Autores

En esta categoría se muestran quiénes fueron los autores más representativos en cada subcategoría perteneciente a la categoría enfoque. Lo anterior en aras de identificar los principales referentes abordados en las publicaciones analizadas sobre instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias durante el periodo 2009-2019, tal como se muestra en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Autores más representativos en cada subcategoría dentro de la categoría enfoque durante el período de tiempo 2009-2014

Tendencias	Año						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Autores según el enfoque		Olafsson, K.	Callejón, F.	Sánchez, J.R.	Alvarado, S.	González, M.	Anderson, K.
		Ostgaard, N.	Sánchez, J.R.	González, L.	Marín, E.	Anderson, K.	García, A.
		Tanskanen, E.	Lorente, M.		Juárez, A.J.	Frappier, M.	Lourenço, M. C
			Belmar, A.		Calderón, A.	Neswald, E.	Gessner, S.
			Castel, J. S.		Ivanov, R.	Trim, H.	
			Pantano, O.		Brenni, P.	Fernández, M.	
			Talas, S.		Eggen, P.	Sánchez, J.	
					Kvittingen, L.		
					Lykknes, A.		
					Wittje, R.		
					Höttecke, D.		
					Henke, A.		
					Riess, F.		
					Castel, J. S.		
				Cuenca, M.			
				Turner, S. C.			
	Histórico	Ganci, S.		Carolino, L. M.			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Autores más representativos en cada subcategoría dentro de la categoría enfoque durante el período de tiempo 2015-2019

Tendencias	Año					
	2015	2016	2017	2018	2019	
Autores según el enfoque		Metz, D.	Vázquez, M.	Ramírez, W.	Riaz, M.	
		Turcio, D.		Vázquez, Á.	Mora, W.	Kanwal, N.
		Palacios, J.		Suwondo, N.		
	Didáctico		Heering, P x 2	Sulisworo, D.		
			Winchester, I.	Rokhmah, A.		
			Rhees, D. J.	Sunarno, W.		
				Masykuri, M.		
		Rawson, H.	Zuidervaart, H.			Matallana, I.
	Histórico		Douglas, A.			
			Rodríguez, L.			
Epistemológico		Rosas, C.				

Fuente: elaboración propia.

Para terminar, García (2014) presenta un documento donde aborda la constitución del conocimiento científico a partir de la práctica experimental. Para esto, realiza una disertación teórica sobre qué se entiende por instrumento científico, lo cual le permite desembocar en el análisis de la Cuba Pneumática como instrumento científico empleado en el estudio del estado gaseoso durante la revolución química. Así, se han elaborado réplicas de instrumentos científicos históricos que permiten estudiar el carácter procesual y situado de la ciencia y los experimentos (Heering, et ál., 2015; Höttecke et ál., 2012).

Los autores que registran mayor frecuencia se encuentran resaltados en escala de grises. De manera particular, se destaca la presencia de dos autores españoles como José Ramón Bertomeau y Josep Simón Castel, quienes han realizado trabajos de tipo histórico con fines didácticos en colecciones científicas escolares y gabinete españoles de instrumentos científicos. Otros autores reiterativos son Katharine Anderson, quien ha realizado trabajos sobre la comprensión del conocimiento científico a través de instrumentos históricos y experimentos en ambientes formales y no formales de aprendizaje. Finalmente, se encuentra Peter Heering, que se ha enfocado en trabajar con réplicas históricas, en especial, en el Proyecto Galilei, caracterizado porque los estudiantes pueden crear sus propios instrumentos que han tenido un significado histórico

Categoría 3. Disciplina científica

En esta categoría se analizan los artículos en función de la disciplina científica escolar, esto es, se identifica si el documento hace énfasis en temas relacionados con física, química, biología o astronomía, junto con la temática específica (Tabla 5). Adicionalmente, se identifican los principales instrumentos científicos en función de cada temática.

Tabla 5. Artículos en función de la disciplina científica relacionados con la enseñanza de las ciencias en el período 2009-2019

<p>Física (50,00%)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Electrónica (2) - Óptica - Fluidos - Mecánica - Electromagnetismo - Electricidad - Electrostática (2) - Movimiento de proyectiles 	<p>Astronomía (19,23%)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Astronomía Geodésica - Actividad solar y geofísica cerca del espacio terrestre - Observación del espacio celeste (3)
<p>Química (15,38%)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cambio Químico 	<p>Biología (3,84%)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biología celular

Fuente: elaboración propia.

Del conjunto de artículos analizados, no es posible ubicar 5 de ellos (19,23%) en una disciplina científica en concreto. Tales artículos son de tipo *book review* que presenta las actas de la *Conferencia Internacional de Historia de la Ciencia en la Educación en ciencias en el año 2012*, donde se resalta el diálogo entre Historia de la Ciencia, museos, personal científico y educadores en ciencias (Anderson, 2014); así, la propuesta pretende articular la enseñanza de la ciencia y la tecnología asumiendo el diseño de instrumentos científicos como un eje articulador (Ramírez et ál., 2018).

De este grupo también hace parte el texto que ofrece una revisión de la historia de las colecciones de instrumentos científicos en los

institutos de enseñanza secundaria en España, la mayor parte creadas a mediados del siglo XIX (Bertomeu et ál., 2011), la presentación de la colección de instrumentos científicos del laboratorio de aduanas de Lisboa creada a finales del siglo XIX (Suay-Matallana, 2019) y el artículo que plantea razones fundamentales para implementar la Historia y la Filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias (Höttecke, et ál., 2012).

Física (50,00%)

Las temáticas específicas más reiterativas fueron electrónica y electrostática. Los principales instrumentos científicos en relación con cada temática específica se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Principales instrumentos científicos identificados en Física por temática durante el período 2009-2019

Temática	Instrumento científico
Electrónica	Arduino, Capacitor de placas paralelo
Óptica	Lupas, telescopios, microscopios, cámaras
Fluidos (líquidos)	Alambre caliente, fuente de corriente, medidor de voltaje, computador, cable de platino
Mecánica	Tubo de Newton, planos inclinados, péndulo de Galileo, máquinas centrífugas, poleas, doble cono ascendente, cilindro ascendente, tornos y tornillos
Electromagnetismo	Aparato galvánico de Ørsted
Electricidad	Botella de Leyden, Pila de Volta
Electrostática	Máquina electrostática, Puente de Wheatstone
Movimiento de proyectiles	Péndulo, esfera metálica

Fuente: elaboración propia.

Otros instrumentos científicos que no fueron especificados por los autores en relación con una temática en particular fueron: aerómetro, máquina de Atwood, caja de resistencia, centrifugadora, barómetro, imán y pila de

Volta (González, 2011). De igual forma, reguladores de viento y lámparas incandescentes (Bertomeu et ál., 2011); también la máquina eléctrica, eudiómetro, bomba neumática y campanas (Bertomeu et ál., 2010).

Astronomía (19,23%)

Los trabajos alrededor de esta disciplina científica privilegiaron las experiencias de observación del espacio celeste; el instrumento científico predilecto en este sentido fue el telescopio (Tabla 7).

Tabla 7. Principales instrumentos científicos identificados en astronomía por temática durante el período 2009 - 2019

Temática	Instrumento científico
Astronomía Geodésica	Geodésica
Actividad solar y geofísica cerca del espacio terrestre	telescopios solares, magnetómetro, contador de Geiger
Observación del espacio celeste (3)	Telescopio, telescopio reflector

Fuente: elaboración propia.

Química (15,38%) y Biología (3,84%)

En el campo de la Química, el único trabajo que registra un instrumento científico es el de García (2014) por medio de la Cuba Pneumática, asociada a la temática del Cambio Químico. Las restantes contribuciones relacionadas con esta disciplina no mencionan ninguno en particular. Por su parte, el único artículo que se refiere de alguna manera a la Biología se enfoca en el microscopio y las lentes.

Categoría 4. Metodología

En esta categoría se estudia, en primer lugar, si en el conjunto de documentos analizados existe una sección denominada explícitamente como metodología, método, enfoque metodológico u otras expresiones afines. En este sentido, llama la atención que el 76,9%, es decir, un poco más de las 3/4 partes de los artículos no incluyen un título que se refiera expresamente a esta.

En este mismo sentido, no es posible detectar expresamente que algún artículo se enmarque en las perspectivas de investigación clásicas a nivel cualitativo o cuantitativo; a pesar de lo anterior, en un ejercicio inferencial, las contribuciones fueron clasificadas desde lo metodológico según su énfasis descriptivo y otros de corte más propositivo (Tabla 8).

Tabla 8. Resultado del análisis de la categoría metodología durante el período 2009-2019

Descriptivo (66,6%)	Artículo	Propositivo (14,2%)	Artículo
- Funcionamiento de un instrumento científico en particular	001, 006	- Propuesta la para la enseñanza de la epistemología de la física que incluye una clasificación de instrumentos	010
- Implementación de porcentajes de análisis	002	- Se presenta un proyecto didáctico con instrumentos científicos históricos con el fin de involucrar a los estudiantes en aspectos experimentales de la física en su contexto histórico y cultural	022
- Derivaciones matemáticas a partir del uso de los instrumentos científicos	006	- Desarrollo de una propuesta didáctica haciendo uso de la Historia de la Ciencia por medio del arte haciendo: interdisciplinariedad	024
- Formas de organización del grupo de estudiantes	007		
- Identificación y caracterización de colecciones de instrumentos científicos	008, 014, 015, 016, 025		
- Descripción de experiencias interdisciplinarias o experimentales mediadas por instrumentos científicos	011, 020		
- Observaciones astronómicas	018, 022		
Estudios de caso (19,04%)			
- Aportes de Felipe Foloque para la enseñanza de la astronomía en Portugal (005)			
- Estudio de los constructores de instrumentos científicos en un pueblo pequeño italiano llamado Chiavari (017).			
- Esfuerzos por establecer la Universidad de St. Andrews a cargo de James Gregory y la adquisición de instrumentos científico (021)			
- Microscopios y lentes elaborados por Leeuwenhoek's (023).			

Fuente: elaboración propia.

Algunos trabajos no mencionan elementos metodológicos debido a su tipo, entre estos se ubican las revisiones de libro (Anderson, 2014), los artículos de carácter reflexivo (Ramírez et ál., 2018), los capítulos de libro (García, 2014) y los manuscritos tipo *working paper* (Sánchez, 2010).

Las contribuciones con una perspectiva metodológica descriptiva se presentan con mayor recurrencia; en este grupo se destaca el interés por identificar, catalogar y caracterizar las colecciones de instrumentos científicos de gabinetes escolares, así como la información sobre dichos instrumentos en manuales, colecciones y gabinetes de ciencias antiguos.

A nivel propositivo se categorizan tres artículos con diversos énfasis. Uno de ellos que se centra en el problema de cómo se puede enseñar la constitución misma del conocimiento de tipo físico; otro, que reconoce la importancia de trabajar de manera simultánea los instrumentos científicos y la actividad experimental, reconociendo la importancia de los aspectos culturales e históricos en la actividad científica. Finalmente, otro manuscrito que le apunta a desarrollar propuestas didácticas para la integración ciencia y arte.

Para terminar, el grupo de trabajos que hacen parte de los estudios de caso presenta como coincidencia un énfasis centrado de manera exclusiva en asuntos propios de la Historia de la ciencia, a excepción del artículo que propende por detectar aspectos de tipo histórico en función de la enseñanza de la astronomía.

Categoría 5. Población objeto de estudio

En esta última categoría se analiza el conjunto de artículos según la población objeto de estudio. De este modo, los trabajos se distribuyen de la siguiente manera: instrumento científico (52,38%), personaje científico (19,04%) y estudiantes (28,57%) (Figura 3).

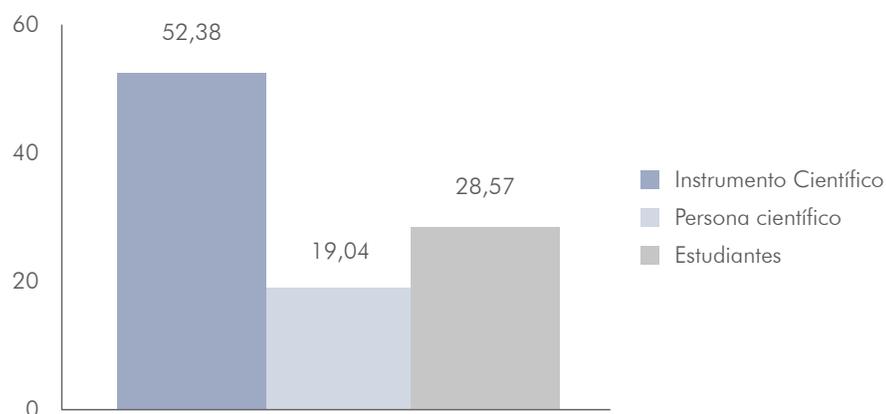


Figura 3. Tendencias categoría población objeto de estudio durante el período 2009-2019

Fuente: elaboración propia.

Instrumento científico (52,38 %)

La mayoría de los trabajos se interesan por estudiar el instrumento científico desde dos perspectivas. La primera, de manera individual, se caracteriza por identificar un instrumento en particular (el alambre, el capacitor paralelo de placas y el telescopio) describir su funcionamiento y resaltar las bondades de este en la apropiación de determinados contenidos científicos con su correspondiente derivación matemática (Alvarado et ál., 2012; Riaz et ál., 2019) y en la elaboración de propuestas de enseñanza a partir del estudio del telescopio de Galilei (Vázquez et ál., 2017).

La segunda perspectiva muestra cierta tendencia a trabajar el instrumento científico desde la pluralidad, a través de la caracterización y reconocimiento de instrumentos científicos en colecciones antiguas, gabinetes científicos escolares, centros de enseñanza y manuales de la época (Callejón, 2010; Ganci, 2009; González, 2011; González, 2013; Suay-Matallana 2019; Rodríguez et ál., 2016; Sánchez et ál., 2010; Sánchez, 2011) a nivel de educación media y secundaria, instrumentos de física del siglo XIX, institutos españoles y portugueses.

Estudiantes (28,57 %)

Cerca de la tercera parte de los artículos presentan como objeto de estudio un grupo de estudiantes en los niveles de educación media (Rokhmah et ál., 2017; Wolfschmidt, 2015); secundaria (Olafsson et ál., 2009; Pantano et ál., 2010; Wolfschmidt, 2015), superior (Suwondo et ál., 2017) y futuros profesionales de Química e Ingeniería Química (Turcio et ál., 2015).

Personaje científico (19,04 %)

El objeto de estudio principal para el 19,04 % de los trabajos consiste en un personaje que ha tenido alguna vinculación con alguna

disciplina científica en particular como, Filipe Folque en la enseñanza de la Astronomía en Portugal (Carolino, 2012). O que se han destacado por sus contribuciones a nivel científico, cultural y artístico como Charles Wheatstone (Metz, 2015). También se presenta el caso de James Gregory y sus esfuerzos por establecer un observatorio en la Universidad de St. Andrews (Rawson, 2015). Finalmente, se ubica aquí mismo el artículo que se centra en Antony van Leeuwenhoek (Zuidervaar et ál., 2016).

Conclusiones

El análisis bibliométrico de la producción académica acerca de los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias durante el periodo 2009-2019 permitió evidenciar lo siguiente:

El 40,7% de los artículos les otorgan un papel didáctico instruccional a los instrumentos científicos pues solamente los vinculan al aprendizaje de conceptos científicos, procedimientos de tipo matemático, actividades de laboratorio con pasos estandarizados y rutinas mecánicas. Además de entenderlos como extensión de los sentidos.

Un grupo de artículos que representa el 42,85% de los trabajos hacen uso de la Historia de la Ciencia con fines didácticos. Dentro de este conjunto, se destacan los esfuerzos por identificar, catalogar y preservar colecciones de instrumentos científicos, manuales de física, laboratorios de investigación y laboratorios escolares actuales. Igualmente, proyectos didácticos y réplicas de instrumentos históricos que permiten estudiar el carácter procesual y situado de la ciencia y los experimentos.

Los instrumentos científicos se han constituido en una posibilidad importante para fomentar la interdisciplinariedad en la enseñanza de las ciencias a través de la integración entre ciencia, arte y cultura. En el mismo sentido,

estos tejen puentes de diálogo entre la educación en ciencias y la educación en tecnología, permiten la vinculación entre museos, historia de la ciencia, personajes científicos y educadores en ciencias.

Es importante reconocer el esfuerzo académico que se ha realizado a través de los trabajos del tipo experiencias y reflexiones; sin embargo, es necesario que las investigaciones sobre los instrumentos científicos trasciendan al nivel de artículos de investigación en aras de reflexionar empíricamente acerca de sus implicaciones didácticas.

El 50% de los artículos analizados se ubica en temáticas relacionados con la física. Lo anterior se constituye en un reto e implica la necesidad de diversificar el campo de la enseñanza de las ciencias con mayor presencia de trabajos relacionados con la enseñanza de la química y la biología. En este sentido, se destaca que casi la quinta parte (20%) de los manuscritos presentan énfasis en la astronomía.

A nivel metodológico, el 66,6% de los trabajos analizados tiende hacia lo descriptivo, es decir, relatan cómo funciona instrumento científico y sus derivaciones matemáticas, así como la identificación de estos en colecciones científicas y observaciones sobre el espacio celeste. Lo anterior se encuentra en coherencia con la necesidad de trascender de los trabajos del tipo experiencia a aquellos con un tono más analítico-investigativo.

Referencias

- Alvarado, S., Marín, E., Juárez, A. G., Calderón, A., y Ivanov, R. (2012). A hot-wire method based thermal conductivity measurement apparatus for teaching purposes. *European Journal of Physics*, 33(4), 897-906. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/33/4/897>
- Anderson, K., Frappier, M., Neswald, E., y Trim, H. (2013). Reading Instruments: Objects, Texts and Museums. *Science and Education*, 22(5), 1167-1189. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9391-y>
- Anderson, K. (2014). Enabling Scientific Understanding Through Historical Instruments and Experiments in Formal and Non-formal Learning Environments. Flensburg Studies in the History and Philosophy of Science in Science Educa. *Science & Education*, 24(3), 339-341. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9729-3>
- Baird, D. (2004). *Thing Knowledge. A philosophy of Scientific Instruments*. University of California.
- Bertomeu, J., Mar, M., García, A. y Simon, J. (2010). Los instrumentos científicos de los centros de enseñanza secundaria en España: Historia, estado actual y futuro del patrimonio científico educativo. *Coleções Científicas de Instituições Luso-Brasileiras: Patrimônio a Ser Descoberto*, 15-46.

- Bertomeu, J., Cuenca-Lorente, M., García Belmar, A., y Simon, J. (2011). Las colecciones de instrumentos científicos de los institutos de enseñanza secundaria del siglo XIX en España. *Historia de La Educación: Revista Interuniversitaria*, 30, 167-193.
- Brenni, P. (2012). The Evolution of Teaching Instruments and Their Use Between 1800 and 1930. *Science and Education*, 21(2), 191-226. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9326-z>
- Callejón, F. (2010). Aplicaciones didácticas de los instrumentos de Física antiguos. *Innovación y Experiencias Educativas*, 32, 1-10.
- Caro Gutiérrez, M. A., Rodríguez Ríos, A., Calero, C., Fernández-Medina, E. y Piattini, M. (2005). Análisis y revisión de la literatura en el contexto de proyectos de fin de carrera: una propuesta. *Revista Sociedad Chilena de Ciencia de la Computación*, 6(1). <http://www.dcc.uchile.cl/%7Emmarin/revista-sccc/sccc-eb/Vol6/CCESC08.pdf>
- Carolino, L. (2012). Measuring the Heavens to Rule the Territory: Filipe Folque and the Teaching of Astronomy at the Lisbon Polytechnic School and the Modernization of the State Apparatus in Nineteenth Century Portugal. *Science Education*, 21(1), 109-133. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9320-5>
- Castro, J. y Garzón, I. (2016). El trabajo de laboratorio en la formación inicial de profesores de ciencias : la construcción de fenómenos, el papel de los instrumentos científicos y el rol de la observación. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, Número extraordinario, 798-803.
- Chang, H. (2004). *Inventing Temperature: Measurement and scientific progress*. Oxford University Press. doi:10.1093/0195171276.001.0001
- Eggen, P.-O., Kvittingen, L., Lykknes, A., y Wittje, R. (2012). Reconstructing Iconic Experiments in Electrochemistry : Experiences from a History of Science Course. *Science & Education*, 21, 179-189. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9316-1>
- Fernández, M. y Sánchez, J. (2013). Scientific Instruments in Physics Cabinets : *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 231-249.
- Galeano M.E. (2012). *Estrategias de investigación social cualitativa*. La Carreta Editores.
- Ganci, S. (2009). Makers of Scientific Instruments in a Little Italian Town. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(3), 3602.1-3602.3. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172009005000003>
- García-Martínez, Á. (2014). Prácticas experimentales e instrumentos científicos en la construcción de conocimiento científico escolar. En M. Quintanilla, S. Daza, y H. Cabrera (Eds.) *Historia y Filosofía de la Ciencia* (pp. 101-131). Editorial Bellaterra.
- González, L. (2011). Instrumentos científicos antiguos en el Instituto San Isidro. Recuperación y contextualización. *Arbor*, 187(749), 561-571. <https://doi.org/10.3989/arbor.2011.749n3009>
- Hacking, I. (1992). *Representing and intervening*. Cambridge University Press.
- Heering, P., y Winchester, I. (2015). History of Science and Science Education: The Uses of Old Instruments and Developing Institutions in Developing New Conceptions. *Interchange*, 46(1), 1-3. <https://doi.org/10.1007/s10780-015-9246-6>
- Höttecke, D., Henke, A., y Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching : Strategies , Methods , Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science y Education*, 21, 1233-1261. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9330-3>

- Londoño, O., Maldonado, L. y Calderón, L. (2014). *Guía para construir estados del arte*. IcnK.
- Lourenço, M. C., y Gessner, S. (2014). Documenting Collections: Cornerstones for More History of Science in Museums. *Science and Education*, 23(4), 727-745. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9568-z>
- Metz, D. (2015). The Scientific Instruments of Charles Wheatstone and the Blending of Science, Art, and Culture. *Interchange*, 46(1), 19-29. <https://doi.org/10.1007/s10780-015-9233-y>
- Mora, W. (2018). La metodología de investigación en tesis doctorales: el caso de la línea "Inclusión de la dimensión ambiental en la educación en ciencias". En *Research strategy, culture development and Doctoral Support: Tools and Techniques for Latin American Universities* (pp. 162-184). Erasmus; Programme of the European Union.
- Öchsner, (2013). *Introduction to Scientific Publishing*. Springer Heidelberg.
- Olafsson, K., Ostgaard, N., y Tanskanen, E. (2009). The Space Science Suitcase - Instruments for Exploring Near-Earth Space from the Classroom. *Earth, Moon and Planets*, 104(4), 73-75. <https://doi.org/10.1007/s11038-008-9261-z>
- Pickering, A. (1989). Living in the material world. En Gooding, Pinch y Schaffer (Eds.). *The Uses of Experiment* (pp. 275-298). The Cambridge University Press.
- Pickering, A. (1995). *The Mangle of Practice: Time, Agency y Science*. The University of Chicago Press.
- Pantano, O., y Talas, S. (2010). Physics Thematic Paths: Laboratorial Activities and Historical Scientific Instruments. *Physics Education*, 45(2), 140-146. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/2/002>
- Rawson, H. (2015). James Gregory, the University Observatory and The Early Acquisition Of Scientific Instruments at the University Of St. Andrews. *Notes and Records*, 69, 109-133. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2014.0026>
- Riaz, M., y Kanwal, N. (2019). An Improved Parallel-Plate Capacitor Apparatus for the Estimation of Dielectric Constants of Solid Materials. *European Journal of Physics*, 40(2). <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aafe94>
- Rhees, D. J. (2015). Sparks and Shocks: Replicas of Historical Instruments in Museum Education. *Interchange*, 46(1), 45-56. <https://doi.org/10.1007/s10780-015-9237-7>
- Roberts, L. (1991). A word and the world. The significance of naming the calorimeter. *ISIS*, 82, 198-222. <http://dx.doi.org/10.1086/355725>
- Rodríguez-Salazar, L., y Rosas-Colín, C. (2016). Hacia la enseñanza de la física a través de sus instrumentos: una visión cognitiva. *Latin American Journal of Physics Education*, 10(4), 1-17.

- Rojas, S. (2007). El estado del arte como estrategia de formación en la investigación. *Revista Studiositas*, 2(3), 5-25. http://portalweb.uca-tolica.edu.co/easyWeb2/files/1_64_el-estado-del-arte.pdf
- Rokhmah, A., Sunarno, W. y Masykuri, M. (2017). Science Literacy Indicators in Optical Instruments of Highschool Physics Textbooks Chapter. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 13(1), 19-24. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v13i1.8391>
- Suay-Matallana, I. (2019). A cultura material do laboratório da Alfândega de Lisboa. *Conservar Património*, 30, 131-139. <https://doi.org/DOI:10.14568/cp2018001>
- Suwondo, N. y Sulisworo, D. (2017). Hands-on learning activity using an apparatus for transient phenomena in RC circuit based on Arduino UNO R3-LINX-Labview. *International Journal of Online Engineering*, 13(1), 116-124. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v13i01.6317>
- Turcio-Ortega, D. y Palacios-Alquisira, J. (2015). Experiencias en la enseñanza experimental basada en competencias. *Educación Química*, 26(1), 38-42. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(15\)72096-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(15)72096-3)
- Turner, S. (2012). Changing Images of the Inclined Plane : A Case Study of a Revolution in American Science Education. *Science & Education*, 21, 245-270. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9322-3>
- Vázquez, M., y Vázquez, Á. (2017). Ciencia y arte se encuentran : el caso del telescopio de Galileo. *Enseñanza De Las Ciencias*, 3, 195-215.
- William, J., Cano, R., Manuel, W. y Penagos, M. (2018). El diseño de instrumentos científicos como articulador de la educación en ciencias y la educación en tecnología. *Tecné, Episteme y Didaxis*, Número extraordinario.
- Wolfschmidt, G. (2015). Learning by Doing: Science Education at the Hamburg Observatory. *Interchange*, 46(1), 57-71. <https://doi.org/10.1007/s10780-015-9242-x>
- Zuidervaart, H. J., y Anderson, D. (2016). Antony van Leeuwenhoek's Microscopes and Other Scientific Instruments: New Information from the Delft Archives. *Annals of Science*, 73(3), 257-288. <https://doi.org/10.1080/00033790.2015.1122837>

Para citar este artículo

- Leal, A. y Cabrera, H. (2021). Estado del arte sobre los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias (2009-2019). Un análisis bibliométrico. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (49), 311-332. <https://doi.org/10.17227/ted.num49-1027>

