

Actividades experimentales abiertas mediadas por tecnología *Arduino*TM como propuesta de formación docente en Física

Open experimental activities mediated by *Arduino*TM technology as a proposal for teacher training in Physics

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Víctor Furci¹, Oscar Trinidad¹, Carlos Dicosmo², Luis Peretti² y Roberto Ferrari²

¹Universidad Pedagógica Nacional, Paraguay 1255, C1057AAS CABA, Argentina.

²Dirección General de Cultura y Educación, Calle 12 e/50 y 51, B1900ATI La Plata, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: vfurci@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se analiza una propuesta viable, pertinente y fundamentada consistente en la implementación de actividades experimentales abiertas mediadas por tecnología *Arduino*TM, atendiendo a un enfoque de educación STEM, en un proceso de análisis de las prácticas desde la perspectiva de la didáctica profesional, en la formación docente inicial y continua en Física. De este modo se pretende dar respuesta a ciertos problemas de la formación docente inicial y continua en física, vigentes en la actualidad, especialmente puestos de manifiesto en los procesos de integración curricular de tecnologías digitales en la enseñanza de la Física.

Palabras clave: Formación docente continua; Tecnología *Arduino*TM; Secuencias didácticas de Física; Actividades experimentales abiertas.

Abstract

In the present work a viable, pertinent and well-founded proposal is analyzed, consisting of the implementation of open experimental activities mediated by *Arduino*TM technology, attending to a STEM education approach, in a process of analysis of the practices from the perspective of professional didactics, in initial and continuing education in Physics. In this way it is intended to respond to certain problems of initial and ongoing teacher training in physics, currently in force, especially highlighted in the processes of curricular integration of digital technologies in the teaching of physics.

Keywords: Continuing teacher training; *Arduino*TM technology; Didactic sequences of Physics; Open experimental activities.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto ofrecer una respuesta viable, pertinente y fundamentada al abordaje de algunos problemas de la formación docente inicial y continua en física, vigentes en la actualidad. Con base en la experiencia del grupo de autores en dispositivos de formación docente inicial y continua, se han seleccionado seis problemas señalados recurrentemente por distintos actores que participan en dichos dispositivos (Birgin, 2012). Se presentan a continuación:

- Los dispositivos de formación habituales (cursos, talleres o seminarios) suelen acrecentar la brecha entre los modelos teóricos y la práctica profesional docente en contexto;
- Baja atención, en los dispositivos de formación docente tradicional, a las “situaciones profesionales” concretas de desempeño docente;
- Formatos de evaluación *sumativa* muy atados a los procesos de acreditación, vinculados a criterios de enjuiciamiento de la práctica, por sobre procesos formativos y de desarrollo de la reflexión didáctica;
- Formación compartimentada, fragmentada y desconectada de otros espacios formativos y de desempeño profesional;

- e. Formación centrada en aspectos conceptuales de la ciencia, por sobre el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior (HOCS) y habilidades de comunicación;
- f. Dificultades de incorporación e integración curricular de tecnologías digitales en la enseñanza de la física.

En forma particular, el problema de integración de tecnologías en las prácticas docentes, sobre todo en las actividades experimentales, puede considerarse como un problema por demás relevante, ya que, de alguna manera, puede involucrar gran parte de los obstáculos presentados anteriormente. Tomando como base los resultados de investigaciones realizadas por el grupo de autores, se caracterizaron diversos procesos llevados adelante por un conjunto de docentes para incorporar tecnologías en sus actividades experimentales y se relevaron las dificultades que éstos manifestaban en la implementación de sus propuestas. En general, parece existir un conjunto de saberes (algunos relacionados con el uso de tecnologías, otros de carácter didáctico) que condicionan la integración efectiva de tecnologías en las prácticas, junto con otras dificultades, tales como los tiempos escolares, que condicionan el desarrollo de estos saberes por parte de los docentes. A partir de lo expuesto, proponemos que la implementación de actividades experimentales abiertas, mediadas por tecnología *Arduino*TM y atendiendo a un enfoque de educación STEM, en un proceso de análisis de las prácticas desde la perspectiva de la didáctica profesional, reviste una alta potencialidad didáctica y formativa en la formación docente inicial y continua en Física, que puede dar respuesta a los problemas señalados. Analizaremos con más detalle esta hipótesis de trabajo en los siguientes apartados.

II. MARCO CONCEPTUAL

En este apartado desarrollaremos brevemente elementos conceptuales utilizados en la formulación de nuestra hipótesis de trabajo.

El concepto de “*potencialidad didáctica*” es tomado del modelo didáctico de investigación escolar, presentado por el grupo IRES (Porlán Ariza y García Pérez, 2000), en el que la clase es considerada como un “sistema”, en el que los “flujos de información” son permanentes, como consecuencia de la diversidad de interacciones simultáneas, de distinta intensidad que se dan entre alumnos, profesores, materiales didácticos, contexto físico, etc. y aportan al sistema aula una determinada organización, de la que emergen unas cualidades y potencialidades propias de cada situación en contexto. Así descrita, el aula constituye, sobre todo, “un sistema de comunicación”. Finalmente, una secuencia será potencialmente didáctica si de alguna manera presenta posibilidades para generar estos diversos tipos de interacciones dentro de la clase de Física.

Intentaremos ampliar este concepto de “potencialidad didáctica”, considerando algunos trabajos de didáctica específica (Zoller y Scholz, 2004) que promueven la investigación sobre la importancia del desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior (HOCS) en relación con las más tradicionales de orden inferior (LOCS). Teniendo en cuenta esta perspectiva las propuestas didácticas deben considerar y poner en juego, de forma equilibrada, los conceptos físicos específicos, sus aplicaciones y relaciones, los procesos de medición, registro y cálculo como así también las cuestiones relacionadas con los impactos sociales, ambientales y económicos de las cuestiones tratadas.

También incluiremos en la caracterización de la potencialidad didáctica de una propuesta, su grado de apertura y las oportunidades que ofrece para el desarrollo de procesos de *análisis y reflexión sobre la práctica* profesional docente (Rickenmann, 2007), en el marco de la *didáctica profesional* (Pastré, 2011)

El concepto de “*actividades experimentales abiertas*” se enmarca en el debate sobre el sentido de incorporación de actividades experimentales en la enseñanza de la física. Por un lado, en los diferentes programas internacionales para la formación de profesores de física queda fuera de toda discusión que las actividades experimentales resultan un componente fundamental en el desarrollo de un conocimiento profesional docente (Hofstein y Lunetta, 2003; Leite, 2004) En el marco de la formación docente, resulta central poder comprometer a los estudiantes en este espacio tan particular que presenta tantas potencialidades para la enseñanza. En especial, en el desarrollo de competencias argumentativas que posibiliten el pensamiento crítico y reflexivo, y no tanto en la simple comprobación de modelos teóricos asumidos en forma acrítica (Hodson, 2000). Frente a esta realidad de prácticas insuficientes e incompletas, para desarrollar las competencias científicas y aprovechar las potencialidades del trabajo de laboratorio, es fundamental que se tenga en cuenta cuáles son los diferentes tipos de actividades y cuáles los propósitos específicos de cada uno de ellos. En ese sentido se toman como referencia los trabajos de Caamaño (2004), Leite (2004) y Veiga (2000). En síntesis, consideramos un marco diversificado de trabajo en el laboratorio, que permita un recorrido desde propuestas cerradas, para el desarrollo de habilidades de bajo nivel (LOCS), hacia propuestas *abiertas* para el desarrollo de habilidades de alto nivel (HOCS), brindan-

do oportunidades para desarrollar competencias científicas tales como la formulación de preguntas científicamente investigables, elaboración de hipótesis explicativas, puesta a prueba de conjeturas por medio del diseño e implementación de dispositivos experimentales, consideración de explicaciones alternativas y comunicación de resultados.

*Latecnología Arduino*TM, una plataforma compuesta por *hardware* y *software* abierto, económica y accesible, facilita el desarrollo de aplicaciones en distintas áreas de la electrónica, permitiendo al usuario con conocimientos básicos en electrónica e informática la adquisición y procesamiento de señales y el control de dispositivos. Esta plataforma ha tomado relevancia a nivel mundial (Santillán Tovar y Campos Delgado, 2014) no solo por ser una plataforma abierta, sino porque existe una gran comunidad de usuarios que comparten diseños electrónicos y código de programación para la resolución de problemas tecnocientíficos típicos. En el caso particular de la enseñanza de la física, es cada vez más habitual encontrar en los congresos y publicaciones de didáctica de la física, propuestas didácticas de actividades experimentales que incorporan esta tecnología para la medición o simulación de fenómenos físicos (Cremades, 2017; Christiansen, 2016; Odetto y otros, 2016).

En este contexto cobra importancia el concepto de “saber digital”, considerado desde la perspectiva de la formación docente, que incluye el pensamiento computacional, la computación física y el diseño y fabricación digital, en el contexto del hacer digital crítico y de la fluidez digital (Bordignon, 2017).

Otro elemento conceptual que consideramos de importancia en la actualidad es el de la *educación STEM* (Science, Technology, Engineering and Mathematics) como marco para el diseño y análisis de propuestas didácticas. Si bien existen controversias sobre el origen, alcance y profundidad de este enfoque (Bybee, 2010), como para ser considerado un “modelo didáctico de enseñanza de las ciencias”, resulta interesante como una fuente de categorías de análisis de las propuestas didácticas a desarrollar e implementar, dado que en la actualidad son numerosos los trabajos de investigación que se desarrollan en esta línea, especialmente en el contexto latinoamericano. Este enfoque, que surgió inicialmente en EE. UU. como una preocupación en términos de política educativa y desarrollo productivo (Bosch y otros, 2011) fue derivando en los últimos años en una preocupación didáctica para promover la mejora en la enseñanza de las ciencias por medio de la enseñanza integrada de disciplinas STEM, intentado superar los problemas generados por la tradicional compartimentación de su abordaje. Básicamente propone el diseño de recursos didácticos basados en: exploración y resolución de problemas; diseño y desarrollo de dispositivos experimentales para adquisición de datos y control (este aspecto fuertemente asociado a los saberes de la ingeniería); trabajo en equipo; expresión de conceptos y comunicación de resultados y dificultades. En otras palabras, se trata de una perspectiva didáctica de “aprendizaje activo”, que promueve y enfatiza el desarrollo de competencias y habilidades de orden superior (HOCS), para el abordaje creativo e innovador de situaciones problemáticas complejas y no solamente reproduciendo conceptos y procesos propios de cada disciplina (Bybee, 2010). El énfasis en el desarrollo de los aspectos creativos y de una “epistemología la imaginación” (Rodríguez Salazar, 2011), llevó a propuestas de reformulación de la sigla *STEMaSTEAM* (Cilleruelo y Zubiaga, 2014), incluyendo el Arte entre las disciplinas a integrar en el proceso de aprendizaje.

Un último concepto que adoptamos como organizador del análisis de las prácticas es el denominado *Conocimiento Didáctico del Contenido*. El estudio de los saberes que se ponen en juego en la práctica de los profesores data de los comienzos de la década del noventa del siglo pasado. Esos trabajos describen la naturaleza interconectada de todos los conocimientos que posee un profesor, superando ampliamente el conocimiento de la disciplina científica de su especialidad. Los trabajos de Shulman (1987) resultaron decisivos para comenzar a estructurar el pensamiento de los profesores en un conocimiento profesional específico. El modelo que hoy conocemos como conocimiento didáctico del contenido (CDC) ha sido convertido en uno de los programas de investigación más utilizado para caracterizar los saberes profesionales docentes. De acuerdo con esta teoría, los docentes manejan y ponen en juego cinco tipos distintos de saberes en forma integrada en la planificación e implementación de sus prácticas: orientaciones para la enseñanza de la ciencia, conocimientos y creencias sobre el currículo de la ciencia, sobre el aprendizaje de los alumnos de temas específicos de ciencia, sobre evaluación en ciencia y sobre estrategias didácticas en la enseñanza de la ciencia. Diversos autores fueron caracterizando el CDC generando distintas representaciones, por ejemplo, Park y Olivier (2007) incorporaron un nuevo dominio de conocimiento a los cinco iniciales, la percepción de autoeficacia. Según este modelo los profesores no solo somos receptores pasivos de información, sino que creamos conocimiento a partir de esta información y de nuestras experiencias y esta es una característica fundamental que tenemos y que nos hace profesionales y no meros ejecutores de recetas diseñadas por investigadores. Resulta de gran importancia, en este sentido, promover en los procesos de formación docente, el *desarrollo de competencias reflexivas* (Levy y Puig, 2001; Gutiérrez, 2013).

Considerando los conceptos desarrollados, cobra nuevo valor la hipótesis de trabajo presentada: la implementación de actividades experimentales abiertas mediadas por tecnología *Arduino*TM, atendiendo a un

enfoque de educación STEM, en un proceso de análisis de las prácticas desde la perspectiva de la didáctica profesional, en la formación docente inicial y continua en Física, reviste una alta potencialidad didáctica y formativa, que puede dar respuesta a los problemas señalados en la introducción.

III. PROCESO DE INVESTIGACION EN QUE SE BASA LA PROPUESTA

Particularmente durante los años 2016 y 2017 el grupo de docentes de Ciencias Naturales de UNIPE, realizó una investigación en la que se aborda el estudio de las estrategias didácticas adoptadas por profesores de la formación docente en ciencias naturales que integran tecnologías digitales (particularmente, tecnología *Arduino*TM) en el desarrollo de actividades experimentales para la enseñanza. El trabajo consta de un estudio cualitativo, desde una perspectiva STEM, de los casos de tres profesores de institutos de formación docente de ciencias de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, que tienen a cargo materias con gran presencia de trabajo experimental (Física, Química y Biología).

Una primera etapa se orientó a la (re)construcción de conocimientos y fundamentos teóricos sobre el trabajo de laboratorio en la enseñanza de las ciencias y sobre las capacidades de pensamiento mediante el relevamiento y la apropiación de diferentes conceptualizaciones y marcos teóricos. En esta fase se realizaron las siguientes actividades junto a los docentes de la muestra:

- 1) Propuesta y discusión de ideas y experiencias sobre lo que se entiende por competencias científicas, ejemplos relevantes para el trabajo en el laboratorio mediado por TIC;
- 2) Presentación de la plataforma *Arduino*TM. Conocimientos básicos para su utilización. Funcionamiento y ejemplos. lectura de documentos sobre nuevas tecnologías y plataformas para resolver problemas y obtener datos para el análisis;
- 3) Discusión de información proveniente de la bibliografía analizada y de los dispositivos implementados.

En la segunda etapa del proyecto se realizó el trabajo de campo. Durante un cuatrimestre se realizó el seguimiento de la tarea de enseñanza de tres profesores formadores de ciencias naturales seleccionados, uno en cada disciplina (Física, Química y Biología). En esta fase, se analizó la construcción de actividades de laboratorio promotoras del desarrollo de competencias científicas mediadas por TIC. Se focalizó especialmente el contexto de tareas mediado por la plataforma *Arduino*TM procurando identificar las capacidades cognitivas propuestas en cada caso.

Un resumen apretado de las conclusiones del trabajo muestra que los problemas para la integración curricular de la tecnología son numerosos y variados: equipamientos necesarios y costos de los mismos, escasa tradición en implementación de proyectos de investigación escolar, problemas técnicos relacionados al funcionamiento de la placa, diseños de dispositivos, etc. Resumiendo, podemos decir que la implementación concreta de proyectos de educación que integren tecnología (principalmente en formato STEM) en aulas de Física, se encuentra dificultada por conocimientos (tecnológicos y didácticos) que los docentes deben construir en tiempos escolares que los condicionan.

Otra cuestión, no menor, son las escasas publicaciones de materiales (propuestas de aula) que pudieran servir como orientación para la formación docente. Entendemos que para un avance en las posibilidades de implementación real de proyectos de educación STEM en las aulas, no solo hace falta avanzar en el desarrollo de propuestas, sino que estas propuestas deben ser analizadas desde su implementación en contextos reales de desempeño, caracterizando así su potencialidad didáctica para la enseñanza de la física desde la investigación, analizando en qué medida promueven el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior en los estudiantes.

Todas estas dificultades, conforman una brecha entre las prácticas deseables y pensadas desde marcos teóricos como el de la educación STEM y las posibles para un gran número de docentes que tienen que salvar estos obstáculos generalmente por cuenta propia. Entendemos que un problema a resolver para la integración de la tecnología en las clases de Física, consiste en intentar estrechar la brecha anteriormente descrita, diseñando y poniendo a prueba, una propuesta de formación docente que involucre no solo fundamentos de la didáctica de la física y materiales concretos de aula, sino también (y, sobre todo) procesos de reflexión sobre la práctica que tengan en cuenta las problemáticas concretas de la práctica profesional.

IV. DESARROLLOS ACTUALES

Algunos proyectos desarrollados en la UNIPE en los últimos años, orientados a la formación de docentes capaces de promover este tipo de situaciones de enseñanza, pueden considerarse como antecedentes de la presente propuesta.

Durante el año 2015, el LabTIC/UNIPE y miembros del área de Ciencias Naturales de la universidad trabajaron junto a docentes de escuelas secundarias, ISFD y universidades en el programa “Más Allá de las Pantallas”. Este espacio de aprendizaje colaborativo entre docentes promovió el diseño de dispositivos que utilizan la plataforma *Arduino*TM (Bordignon y otros, 2015).

El programa generó un espacio de diseño, análisis y reflexión de la utilización de la plataforma *Arduino*TM en un contexto de intercambio de ideas para la aplicación de esta tecnología a prácticas concretas docentes.

La experiencia se desarrolló a lo largo de un año de actividades, aunque las producciones de los docentes participantes siguen en desarrollo, implementación y exploración. Solo como ejemplos de los proyectos que se vienen trabajando y analizando por parte de los docentes de la UNIPE comentamos los siguientes:

ISFD N° 16 e ISFD N° 99. En el espacio curricular de Física de 4^o año del profesorado de Matemática, se trabaja el estudio de pérdidas de calor en maquetas de casas construidas por los alumnos, con la utilización de un multitermómetro basado en *Arduino*TM que permite la obtención de gran cantidad de datos de temperaturas tomadas desde sensores construidos por los docentes de la cátedra.

ISFD N° 23. En el espacio curricular de Física de 4^o año del profesorado de Matemática se trabajan cuestiones relacionadas a circuitos, haciendo uso de *Arduino*TM en el diseño, construcción y programación de semáforos, la utilización de sensores de ultrasonido para el estudio y formalización de modelos matemáticos de movimiento de cuerpos y la presentación de proyectos con un amplio grado de libertad por parte de los alumnos, entre ellos podemos destacar el estudio de sensores piezoeléctricos que activan una pantalla LCD, con la finalidad de diseñar sistemas de comunicación para personas incapacitadas para hablar.

ISFDN° 41 Interrelacionando diversos espacios de 4^o año del profesorado de Química, los alumnos trabajan en la construcción y control de variables de un biodigestor con la finalidad del producir biocombustible. En ese proyecto se pretende tomar datos y controlar variables como la presión, temperatura, pH, detección de gases, etc.

ISFD N° 34 El profesorado de Física, en la materia Espacio de Definición institucional (EDI) designado como “Informática aplicada al laboratorio de Física”. Cuenta con una carga horaria de dos horas semanales. La duración del proyecto es cuatrimestral y se desarrolló en el segundo cuatrimestre de 2016. Esta materia está orientada al desarrollo experimental informatizado y se desarrolla hace años en el instituto. Esta es la primera vez que se adopta la plataforma *Arduino*TM para el desarrollo del EDI. Antes de utilizar *Arduino*TM se desarrollaron proyectos experimentales por medio de programación de PLC o conexión de sensores a Computadoras Personales modelo XT, por medio del puerto serie RS232, y programación BASIC, por medio del sistema operativo DOS.

V. CONCLUSIONES

El docente formador puede llevar adelante prácticas significativas cuyo sentido muchas veces resulta opaco para el estudiante o el docente en formación continua, por esta razón, el dispositivo presentado pretende instalar un modelo de trabajo colaborativo entre docentes universitarios y docentes de escuelas. Es decir, no se trata de ver el espacio de formación como el lugar de “aplicación” de los conocimientos teóricos adquiridos, sino como un espacio de trabajo colaborativo en el que, instrumentados con los conceptos y categorías de la investigación en didácticas, los docentes confrontan y analizan críticamente sus propias prácticas.

Entendemos que este formato pretende de alguna manera diferenciarse de los tradicionales “cursos de capacitación” en donde generalmente, existe baja atención, a las “situaciones profesionales” concretas de desempeño docente. En este sentido, las distintas etapas del proceso de formación propuesto, apuntan a tornar al trabajo un objeto de pensamiento y análisis para los propios docentes intentando acercar la brecha formativa entre “teoría” y “práctica”, tantas veces señalada tanto por los formadores como por los estudiantes del profesorado.

En estos últimos años, los docentes en general hemos sido testigos de un gran número de propuestas de formación docente, es probable que la mayoría de ellas se encuentren centradas en la presentación de nuevos diseños curriculares, nuevas formas de evaluar, nuevas tecnologías a utilizar, aunque lamentablemente y en general, estas propuestas pocas veces se inician desde la demanda genuina de los propios docentes o de los problemas que ellos mismos perciben en su práctica. Cuando los problemas incluyen la utilización de nuevas tecnologías, estos intentos de innovaciones docentes, muchas veces son acciones

voluntariosas y aisladas de profesores solitarios, que demandan la autoformación, el ensayo-error y, entre otras dificultades, el escaso tiempo escolar para implementarlas. Creemos que un proceso compartido, en donde se parte de propuestas didácticas ya armadas a discutir, que involucran tecnología accesible y con un grado de apertura importante, lo cual permite su discusión y adaptación en función de los problemas y estilos del propio docente que debe implementarla, y que finalmente incluye una reflexión andamiada por una metodología que involucra una mirada conjunta de lo realizado en el aula, constituye un espacio de aprendizaje que al mismo tiempo, genera insumos para el diseño y mejora de propuestas didácticas que involucran tecnología en la enseñanza de la física.

REFERENCIAS

- Birgin, A. (Ed.). (2012). *Más allá de la capacitación: debates acerca de la formación de los docentes en ejercicio*. Buenos Aires: Paidós.
- Bordignon, F. R. A., Furci, V.M., Iglesias A. A. y Trinidad, O. (2015). Más Allá de las Pantallas, usos creativos de la tecnología digital. *XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. 16 y 17 de abril de 2015, Salta.
- Bordignon, F. R. A. (2017). Laboratorios de innovación ciudadana, espacios para el hacer digital crítico. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 14(8), 165-181.
- Bosch, H. E., Di Blasi, M. A., Pelem, M. E., Bergero, M. S., Carvajal, L. y Geromini, N. S. (2011). Nuevo paradigma pedagógico para enseñanza de ciencias y matemática. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(3), 131-140.
- Bybee, Rodger W. (2010). Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos. *Alambique*, 39(8), 19.
- Cilleruelo, L. y Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la Educación STEAM. Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. Disponible en <http://www.augustozubiaga.com/web/>
- Cremades, P. y Castro, F. (2017). Tecnología Libre y la enseñanza de física. En *I Workshop de Ciencia Abierta y Ciudadana*. 3 de noviembre de 2017. La Plata, Argentina.
- Christiansen, R. O., Hanna, F. E. M., Agüero, E. y Pereyra, N. E. (2016). Experimentos de física utilizando ArduinoTM. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(Extra), 23-28.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. (2003). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <http://www.nottingham.ac.uk/education/documents/research> Acceso: 10 de octubre de 2015.
- Leite, L. y Figueiroa, A. (2004). Las actividades de laboratorio y la explicación científica en los manuales escolares de ciencias. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 39, 20-30.
- Levy, M. I. C. y Puig, N. S. (2001). Fundamentos de un modelo de formación permanente del profesorado de Ciencias centrado en la reflexión dialógica sobre las concepciones y las prácticas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(2), 269-283.
- Odetto, J. O., Chautemps, N. A. y Keil, W. M. (2016). Implementación de instrumental simulado para prácticos de laboratorio. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 157-163.
- Park, S. y Oliver, S. (2007). Revisiting the conceptualization of pedagogical content Knowledge: PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284.

- Pastré, P. (2011). La didactique professionnelle. *Education Sciences & Society*, 2(1).
- Porlán Ariza, R.y García Pérez, F. F. (2000). El Proyecto IRES (Investigación y Renovación Escolar). *Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 64, 1-16.
- Rickenmann, R. (2007). Metodologías clínicas de investigación en didácticas y formación del profesorado: un estudio de los dispositivos de formación en alternancia en: *Revista Científica Sao Pablo*, 9(2), 435-463.
- Rodríguez Salazar, L. M. (2011). Epistemología de la imaginación.repositoriodigital.ipn.mx
- Santillán Tovar, M.C., Campos Delgado, D.U. (2014). Prácticas de laboratorio con *Arduino™*. México: UASLP.
- Shulman, L. (1987). Pedagogical content knowledge in social studies. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 31(2), 59-70.
- Veiga, M. L. (2000). O trabalho prático nos programas portugueses de Ciências para a escolaridade básica. En M. Sequeira, L. Dourado, M. T. Vilaça, J. L. Silva, A. S. Afonso Y J. M. Baptista (Orgs.), *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho.
- Zoller, U. y Scholz, R. W. (2004). The HOCS paradigm shift from disciplinaryknowledge (LOCS) to interdisciplinary evaluative, system thinking(HOCS): What should it take in science-technology-environment-society oriented courses, curricula and assessment? *Water Science and Technology*, 49(8), 27-36.