
ESTUDIOS / STUDIES

LA ENSEÑANZA ACTIVA DE LA FÍSICA EN EL INSTITUTO-ESCUELA DURANTE LA SEGUNDA REPÚBLICA ESPAÑOLA: DE LA UTOPIA DEL APRENDIZAJE POR DESCUBRIMIENTO AL ECLECTICISMO PEDAGÓGICO¹

Víctor Guijarro Mora

Universidad Rey Juan Carlos

Email: victor.guijarro@urjc.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8570-5119>

Leonor González de la Lastra

IES Lope de Vega

Email: leonor.gonzalez@educa.madrid.org

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7644-1545>

Recibido: 6 julio 2020; Aceptado: 12 enero 2021

Cómo citar este artículo/Citation: Guijarro Mora, Víctor; González de la Lastra, Leonor (2021) “La enseñanza activa de la física en el Instituto-Escuela durante la Segunda República Española: de la utopía del aprendizaje por descubrimiento al eclecticismo pedagógico”, *Asclepio*, 73(1): p351. <https://doi.org/10.3989/asclepio.2021.17>

RESUMEN: El estudio plantea el contraste entre el escepticismo que en círculos docentes de la década de 1920 y 1930 provocaban las posiciones pedagógicas relativas al aprendizaje de la ciencia por descubrimiento –próximas a la heurística– y el entusiasmo que en España, en los contextos institucionales conocidos como renovadores, existía hacia esas posturas. Uno de los centros en los que se aplicaron esos métodos activos fue el Instituto-Escuela de Madrid (Sección Retiro), cuyos resultados se exponen en las obras compuestas por Andrés León Maroto y Miguel Catalán, situadas entre el manual y el informe de las experiencias que tienen lugar en las aulas, y publicadas en los años 1931, 1934 y 1935. A través del examen de los ejercicios prácticos planteados, y teniendo en cuenta los estudios de replicabilidad de experimentos históricos y de transmisión de conocimientos técnicos, comprobaremos qué efectos concretos tuvieron las revisiones que se propusieron de los métodos activos en el centro mencionado, considerado uno de los referentes de las reformas pedagógicas.

PALABRAS CLAVE: Heurística; Aprendizaje por descubrimiento; Instituto-Escuela; Enseñanza de la física; Metodologías activas; Segunda República Española.

THE ACTIVE TEACHING OF PHYSICS AT THE INSTITUTO-ESCUELA IN THE SPANISH SECOND REPUBLIC: FROM THE UTOPIA OF THE DISCOVERY-BASED LEARNING TO THE PEDAGOGICAL ECLECTICISM

ABSTRACT: The study raises the contrast between the skepticism that in teaching circles of the 1920s and 1930s provoked the pedagogical positions regarding the discovery-based learning – close to heuristics – and the enthusiasm that in Spain, in the institutional contexts of pedagogical renewal, existed towards those positions. One of the centers in which these active methods were applied was the Instituto-Escuela of Madrid (Retiro Section), the results of which are exposed in the works composed by León Maroto and Catalán, halfway between a textbook and a report of the experiences that took place in the classrooms, and published in the years 1931, 1934 and 1935. Through the examination of the practical exercises proposed, and taking into account the replicability studies of historical experiments and transmission of technical knowledge, we will verify what specific effects had the proposed revisions of the active methods in the mentioned center, considered one of the referents of pedagogical reforms.

KEY WORDS: Heuristic Method; Discovery-based Learning; Instituto-Escuela; Teaching of Physics; Active Methodology; Spanish Second Republic.

INTRODUCCIÓN

A partir de la segunda mitad del siglo XIX se fueron configurando a nivel internacional diversas propuestas encaminadas a introducir modificaciones en los modelos educativos vigentes. De entre ellas, en España alcanzó especial importancia, ya en el segundo y tercer decenio del siglo XX, una versión de la Escuela activa. Este movimiento, impulsado principalmente por el pedagogo suizo Adolphe Ferrière², surgió imbricado con otras corrientes asociadas a la Escuela nueva, y se difundió en el territorio nacional gracias a la labor de diversas instituciones (el Museo Pedagógico Nacional y la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, en adelante JAE), revistas educativas (*La Escuela Moderna*, la *Revista de escuelas normales* y la *Revista de Pedagogía*), pedagogos y docentes.

Presentada como una alternativa sólida frente a la “escuela tradicional”, verbalista y memorista, y sustentada en las necesidades del estudiante y el fomento de la práctica y del manualismo, fue durante la Segunda República cuando alcanzó el mayor apoyo institucional al establecerse como principios regulativos de la enseñanza la escuela unificada y la promoción de las metodologías activas (Pérez Galán 2011, pp. 78-79 y 98-99), cuya aplicación debía tener, según se esperaba, unas consecuencias importantes en la renovación de la enseñanza de las ciencias.

Pero las metodologías activas ya contaban con una amplia y controvertida historia. Métodos similares, aplicados en los niveles superiores de primaria y en la secundaria, también conocidos como “problem-solving”³ o método heurístico, habían sido propuestos a finales del siglo XIX para la enseñanza de la ciencia por el profesor inglés de Química en el Imperial College Henry E. Armstrong⁴. Pedagógicamente se ajustaban a las previsiones de la escuela nueva, sin embargo ya desde principios del siglo XX venía recibiendo diversas críticas, dentro y fuera de su país de origen. En España contamos con evidencias de que existían reticencias promovidas, por ejemplo, por los docentes Margarita Comas y Modesto Bargalló, acerca de su aplicación indiscriminada.

En este estudio se plantea un análisis de los efectos prácticos que tuvieron estas metodologías y las revisiones que se propusieron durante más de diez años en el enfoque que recibió la enseñanza de la física⁵ dentro del Instituto-Escuela de Madrid (sección Retiro), considerado uno de los referentes de las reformas pedagógicas.

Para ello tendremos en cuenta lo siguiente. Primero, los paralelismos entre la heurística, el aprendizaje por descubrimiento y las metodologías activas, según el planteamiento que de estas últimas hace Armstrong y posteriormente Miguel Catalán y Andrés León Maroto (los profesores de la disciplina anterior en el Instituto-Escuela⁶). Segundo, las revisiones propuestas de los métodos activos, basados en el aprender haciendo, tanto dentro como fuera de España. Y tercero, los estudios sobre los proyectos renovadores de la enseñanza de la ciencia en España.

Para el primer cometido, como se verá, se empleará como documento principal la obra elaborada por Catalán y León Maroto *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y de la Química*, dedicada al trabajo desarrollado en el aula con material científico y consistente en tres manuales-informe publicados en 1931, 1934 y 1935. A partir del análisis de los diferentes tipos de experiencias que se describen en ella, en particular con los materiales mencionados y los aparatos, y teniendo en cuenta los estudios de replicabilidad de experimentos y transmisión de conocimientos prácticos (Guijarro 2018, 160-164), comprobaremos en qué medida se cumplieron los planes previstos y anunciados en la introducción del texto citado.

En cuanto al tercer cometido, la enseñanza de esta disciplina en el Instituto-Escuela ha sido abordada en López Martínez (1999), Bernal y López (2002) y Casado y Massip (2018). No obstante, la práctica y experimentación docente concreta no ha sido tratada desde la perspectiva que proponemos. Es cierto que se han destacado algunos ejemplos de aportaciones renovadoras que se distinguen de los métodos clásicos, pero en ocasiones se sobrentiende la bondad de las propuestas por el mero hecho de ser novedosas, en especial dentro de la Física. En algún caso, se apuntaron las dificultades de los enfoques activos (López Martínez 1999, pp. 673-674), aludiéndose a que diversos autores, como D. Gil o R. Driver, ya manifestaron “que esos métodos de descubrimiento fracasaron”, pero posteriormente no se desarrolla en la medida que consideramos necesaria esta cuestión.

HEURÍSTICA Y MANIPULACIÓN DE MATERIALES EN LA FÍSICA: PRESUPUESTOS Y CONTROVERSIAS

Desde las últimas décadas del siglo XIX se realizaban ensayos para aplicar los procedimientos del manualismo y las metodologías del hacer en la enseñanza de la ciencia de los cursos superiores, empeño en el que destacó, como se dijo, Henry E. Armstrong, en particular en la década de 1880 y 1890⁷.

En este caso concreto, la perspectiva que sirvió de guía a algunos docentes para replantear la enseñanza de estas disciplinas en los niveles elementales y medios se basaba en la idea, construida durante la segunda mitad del siglo XIX, de que el conocimiento científico era un sistema coherente de estudios que compartían un fundamento metodológico común (Jenkins, 2007, p. 269). De acuerdo con Armstrong, los procedimientos empleados por los científicos, aquéllos que garantizaban la consistencia de sus hallazgos, se basaban en la aplicación de unos criterios de organización y sistematización al sentido común y la experiencia. Esta manera de proceder se articulaba en un método que podía formar parte del currículo de los estudiantes de ciencias. El historiador Edgar Jenkins (2007, p. 269) afirma sobre alguna de las posiciones defendidas dentro del sistema inglés que:

Comprometiendo a los alumnos de manera práctica y mental con esta metodología, la ciencia podía justificar su lugar en el currículo escolar a un mismo nivel que el previsto para las matemáticas, una disciplina ya consolidada por sus méritos intelectuales.

Armstrong, que reunió sus ideas en *The Teaching of Scientific Method* (1903), empleó para describir estos procedimientos el término “heurística” y llegó a considerar su práctica en el contexto del aula como un juego, consistente básicamente en que el estudiante adoptaba el papel de un detective, la figura que precedía a la del científico. Afirmaba que los “Métodos heurísticos de enseñanza comprendían la disposición de los estudiantes en la actitud del descubridor, unos procedimientos asociados más con sus hallazgos que con la transmisión de información sobre hechos” (1903, p. 236)⁸. La adquisición de estas destrezas, relacionadas básicamente con potenciar los hábitos de las asociaciones inductivas y de las extracciones deductivas, suponía la resolución de múltiples problemas relativos a la manipulación de materiales diversos. Lo demuestra el programa de un curso elemental de física que añade como apéndice al final de “The Heuristic method of teaching” (1903, pp. 276 y ss.). La parte inicial está dominada por las operaciones de medida, la primera fase del entrenamiento. Todos los objetos disponibles y a nuestro alcance deben someterse a las operaciones métricas, aplicando los patrones correspondientes. Las acciones consisten en llevar a cabo comparaciones de tamaños empleando, por ejemplo, compases y papeles graduados. De igual manera hay que proceder con líneas curvas, esta vez disponiendo un hilo sobre la figura, o bien con un plano, aprendiendo a sostener una plomada o a situar correctamente un nivel sobre una superficie. Acciones similares se llevan a cabo en la apreciación de áreas y volúme-

nes. Las tareas motoras de control de los objetos que se manipulan, coordinadas con la simultánea observación atenta de las mismas, se aplican igualmente a la medida de pesos. Para ello se construye una palanca simple en cuyos extremos se sitúan los cuerpos a distancias variables. En las operaciones manuales no solo interviene el reconocimiento de formas, tamaños, pesos y texturas (sensibilidad y fuerza), sino el uso de patrones con los que se comparan las piezas simples manejadas⁹. A partir de este entrenamiento físico, emocional e intelectual se accede al uso de objetos complejos, en particular a uno de los instrumentos más representativos de gabinetes y laboratorios: la balanza, de gran importancia para Armstrong¹⁰. Todas estas rutinas no demandan grados elevados de fuerza o precisión, como las que exigirían equilibrar la conducción de una carretilla cargada o las de enhebrar una aguja. Pero sí requieren concentración y paciencia, componentes del entrenamiento emocional mencionado. A este apartado corresponde la advertencia de Armstrong de que estas operaciones, junto con las de hidrostática y las relativas al calor, tengan lugar en el laboratorio, donde “el estudiante está rodeado de aparatos y en una atmósfera de medición” (1903, p. 277) y debe coordinarse con otras personas, ya que las prácticas tienen lugar por parejas. Otras pueden tener lugar en el entorno de la clase.

El autor afirma que es a través del diseño y ajuste de aparatos, así como con la realización de los experimentos como se adquiere “handiness” (1903, p. 257), es decir, habilidades asociadas a lo manejable y práctico. En “The Heuristic method of teaching” se mencionan los materiales empleados en las rutinas curriculares, consistentes en objetos comunes, familiares y cercanos: botes de medicamentos, de pepinillos y de mermelada y cacerolas (1903, pp. 272-273). También los esfuerzos corporales deben aplicarse a la construcción de los útiles que se van a emplear, y así se indica que se adquiera un banco de carpintero y herramientas, tornillos de mesa, limas, un torno, un yunque y una pequeña fragua. Armstrong termina sosteniendo que se ha cometido un gran perjuicio a la enseñanza al proporcionar objetos ya prefabricados a los alumnos, perdiéndose así una gran oportunidad para el aprendizaje. Aunque finalmente admite que pueden concederse algunas excepciones, las reglas para medir y la ya citada balanza, “la principal arma [weapon] de la instrucción heurística” (1903, p. 273).

Pero para Michael R. Matthews “La cruzada de Armstrong tuvo resultados ambivalentes: algunas victorias, muchas derrotas, algunos conversos y muchos indiferentes” (Matthews, 2004, p. 22). Siguiendo con las reacciones que provocaron sus métodos, Edgar Jenkins,

en relación con el constructivismo, donde se enmarcan las propuestas derivadas del modelo del profesor de química inglés, mantenía: “Hay pocas dudas de que [estas ideas] han dominado una gran parte del discurso educativo, aunque no necesariamente la práctica”; las ideas científicas están lejos del sentido común así como de la experiencia, algo que puede comprobarse en el heliocentrismo y en los presupuestos de Newton (2001, pp. 154-155 y también 2007 y 2013).

Había quienes ridiculizaban la idea del estudiante descubridor (Keene, 2007, p. 279): ¿cómo podía en el contexto del aula realizarse una contribución novedosa cuando había costado tanto tiempo que un científico la lograra? En otras ocasiones se discutía si las soluciones debían ajustarse a las orientaciones establecidas por el profesor (como afirmaba Armstrong) o si debía dejarse que los alumnos emitieran múltiples propuestas, sin limitaciones ni direcciones (Jenkins, 2001; Keene, 2007, p. 279; y Galamba, 2009). Y por señalar alguna más de las cuestiones no resueltas en estos métodos: ¿eran atendidas estas ideas solo en los grados elementales y después se abandonaban paulatinamente en los más avanzados?

Otras reacciones cuestionaban la viabilidad de las propuestas argumentando que los métodos heurísticos demandaban una elevada preparación práctica por parte de los docentes. Una formación que se consideraba necesaria para guiar a los estudiantes al resultado apropiado, sin dejarlos desatendidos o frustrados. Para un historiador del sistema educativo inglés (Turner, 1927), los discípulos de Armstrong habían ido demasiado lejos: contemplaban las tareas prácticas como un fin en sí mismo, temiendo realizar alguna indicación a sus alumnos, hecho que produjo en algunos jóvenes investigadores la sensación de no haber aprendido gran cosa. El resultado fue una demanda de la estructura de la clase basada en la exposición y la demostración [lecture- method] (Rayner-Canham y Rayner-Canham, 2015, p. 465).

En 1929, el profesor C. R. Darling planteaba otra de las quejas habituales de las propuestas pedagógicas que insistían en que fueron los propios alumnos quienes realizaran los dispositivos que formaban parte de las experiencias, ignorando así los recursos prefabricados (Darling, 1929, pp. 79-80). Decía que:

El contratiempo que se genera con el uso de estos procedimientos es que el tiempo empleado en la fabricación no se puede emplear por el docente, y consecuentemente hay un peligro de que se preste mayor atención a la parte dedicada a la construcción que a los temas para los que el aparato está diseñado.

El propio Armstrong pasó por diferentes etapas en la promoción de sus propuestas. De un inicial periodo de entusiasmo, entregado a su vez a la difusión de sus ideas, pasó a otro en el que por diferentes razones (entre las que destacan los resultados irregulares de los estudiantes que accedían a la Universidad) experimentó desconfianza hacia sus métodos. Él mismo en 1933 reconocía un tanto desilusionado que quizás se había sobreestimado el valor de la educación en cualquiera de los campos (Brock, 1973, introducción; Heilbron, 1975, p. 142).

Las ideas del influyente libro de Armstrong *Teaching of Scientific Method* ya eran conocidas en los círculos de la Institución Libre de Enseñanza (en adelante ILE), en cuyos presupuestos se expresa la idea de aplicarlas también a la educación secundaria:

Los principios [...] sobre los cuales se va organizando en todas partes la educación de la primera infancia, cree la Institución que deben y pueden extenderse a todos los grados, porque en todos cabe [...] método heurístico, animadores y gratos estímulos (Cossío, 1985 [1908], p. 109).

Puede comprobarse también en el artículo de Francisco Giner de los Ríos “Problemas urgentes de nuestra educación nacional”, donde habla de reformar “la escuela primaria, hasta hacer de ella á modo de un laboratorio de investigación personal, donde el niño descubra las cosas por y para sí mismo (la «heurística» de Armstrong)” (Giner, 1902, p. 457); en la obra de Manuel Bartolomé Cossío *El maestro, la escuela y el material de enseñanza* (2007, [1906], p. 65), donde habla de “métodos activos y heurísticos” (aunque sin referencias Armstrong); en la reseña de Adolfo A. Buylla sobre la obra del Dr. Hayward *Pedagogos reformistas del tiempo presente: el profesor H. E. Armstrong* (Buylla, 1906); o en la mencionada referencia de 1923 de *El Magisterio Español*, “Libros de invenciones e industrias”.

En España, algunas voces que conocían estos procedimientos denunciaban también sus limitaciones, como Margarita Comas o Modesto Bargalló. La primera, conocedora de los métodos educativos ingleses, se pronunció sobre las debilidades del método de aprendizaje por descubrimiento, recomendando combinarlo con otras actividades (Comas, 1922, 83). El segundo, firme partidario de la intervención activa del alumno, no lo compartía, mostrando cierto distanciamiento con las posiciones de Armstrong. Según Moreno Martínez (2019, p. 309), “en el proyecto pedagógico bargalliano, no se espera que el estudiante tenga que descubrir las leyes fisicoquímicas por sí mismo a través de

la investigación. Bargalló pensaba que tal objetivo era irrealizable” e igualmente prevenía contra los abusos de la experimentación, considerando más adecuado el método histórico.

Por último, el propio Catalán debió conocer directamente los métodos que se estaban aplicando en las escuelas inglesas a finales de la década de 1910, al menos en las londinenses, ya que obtuvo una pensión para una estancia de nueve meses en la capital de Gran Bretaña (López-Ocón, Guijarro y Pedrazuela 2018, pp. 395-398). Si bien, principalmente era para trabajar con Alfred Fowler en el laboratorio de Astrofísica del Imperial College of Science and Technology, también incluía visitas a los centros educativos (Archivo JAE, Exp. 34/439, Residencia de Estudiantes).

LOS MÉTODOS ACTIVOS EN EL INSTITUTO-ESCUELA Y LAS EXPERIENCIAS DE FÍSICA CON MATERIALES

Los presupuestos asociados con los métodos activos (término en el que incluimos las ideas del “problem-solving”, del aprendizaje por descubrimiento y de la heurística) las encontraremos más adelante en el marco de los centros de reforma y ensayo, los Institutos-Escuela¹¹, ligadas en este caso a las rutinas propuestas por los ya mencionados Catalán y León. El paralelismo entre los métodos activos aplicados en este establecimiento y los métodos de aprendizaje por descubrimiento, ya puesto de manifiesto por José Damián López Martínez (1999, p. 674), se hace evidente en muchos aspectos de la propuesta de estos dos docentes¹², como por ejemplo en el propósito de utilizar cuadernos, prescindiendo de libros de texto y exámenes, o en el anuncio del predominio de la experiencia sobre los contenidos y de una metodología orientada a que el alumnado descubriera por sí mismo las leyes físicas, aspectos cuya aplicación real comprobaremos posteriormente.

De acuerdo con el estudio de Encarnación Martínez Alfaro, dedicado a la Sección Retiro de Madrid (2009, pp. 105-107), los medios para seguir los presupuestos establecidos en el proyecto pedagógico de este centro, según se expresa en los planes institucionales (JAE, 1925), eran: “la acción”; “el estudio directo de la naturaleza y de las cosas y el ejercicio de coordinar las observaciones”; “las lecturas convenientemente reelaboradas y asimiladas”; “el diálogo entre el profesor y el alumno”; “la exposición hecha por el maestro” (artículo 8º). Muchos de estos aspectos, junto con otros que definían la actividad en esta institución, como la importante presencia de los trabajos manuales, coinciden con los principios establecidos por Ferrière.

En los Institutos-Escuela, los trabajos prácticos se contemplaban como manipulaciones de laboratorio al servicio de las ciencias. Estas tareas, se decía, además de servir “para la educación de los sentidos, para alcanzar la perfecta correlación entre la mente y la mano, y como auxiliares para el desarrollo mental”, representan una “excelente ocasión para estudios con los cuales pueden combinarse, v. gr.: las Matemáticas, la Física, las Ciencias naturales” (JAE, 1925, Guijarro y González, 2013, p. 182). El taller de carpintería, por ejemplo, estuvo dedicado en el curso 1926-27 a elaborar materiales para enseñanzas científicas:

En el taller de carpintería para los niños se estableció, durante el curso, una relación entre esta clase de trabajo manual y la clase de Física, construyendo los alumnos diversos aparatos y utensilios destinados a las prácticas de esta asignatura. Existe el propósito de continuar por este camino en los próximos cursos, construyendo varios aparatos ya proyectados y enlazando la enseñanza manual con la Física y probablemente con otras ramas de la enseñanza (JAE, 1929, p. 317).

En la Memoria del curso 1926-1927 (JAE, 1920, pp. 314-315) se afirma sobre los trabajos realizados en las clases de Física del Instituto-Escuela:

La enseñanza ha consistido casi exclusivamente en trabajos de Laboratorio realizados por los mismos discípulos con un material muy sencillo. Se procuró ponerles en condiciones de que fueran ellos mismos los que, observando el resultado de sus manipulaciones y discutiendo con sus compañeros las medidas y números obtenidos, razonasen sobre los nuevos fenómenos que se les presentaban y llegasen, en cierto modo, a *descubrir* las leyes físicas.

Los resultados obtenidos superaron en mucho las esperanzas puestas en el ensayo, a pesar de que la falta de local suficiente y de material adecuado dificultó muchas veces el completo desarrollo del plan.

Está en proyecto publicar un folleto descriptivo de la labor realizada y resultados obtenidos, a fin de dar a conocer ampliamente esta experiencia de nuevos métodos pedagógicos.

Esta última frase se refiere a la obra objeto de nuestro análisis, y la alusión a ella como “folleto” refleja su carácter, algo que ya se percibe al leerla. No se trata de un manual al uso, sino de un informe ya comprometido, una descripción de una experiencia cuyos contenidos, según manifiestan sus autores, se modificaban en función del interés. De ella nos centraremos en la descripción de prácticas realizadas con instrumentos, que presentan analogías con las descritas por Arm-

strong en su obra, si bien los autores pueden haberse inspirado en otros manuales.

La *Exposición de enseñanza cíclica de la Física y la Química* está dividida en tres partes correspondientes a los tres niveles de la enseñanza de estas materias (cursos 1º, 2º y 3º; Madrid, JAE, 1931, 1934 y 1935 respectivamente) y aplicadas a alumnos comprendidos entre aproximadamente 11 y 17 años cumplidos. En la presentación del texto dedicado al primer curso (León y Catalán, 1931), con alumnos de 12 y 13 años (según los autores, un nivel intermedio), se mantiene que en los ejercicios no se anticipa el resultado de la “experiencia” en la que se está trabajando, sino que se ofrecen algunas explicaciones por los profesores mientras se están realizando y también se admiten los comentarios y discusiones de los alumnos sobre los fenómenos que se están observando. Este proceso –se afirma– permite que los participantes lleven a cabo descubrimientos de los hechos o leyes. Tanto “resultado” como “descubrimientos” están destacados en el texto, una prueba del interés que tienen estos términos en la metodología que se está aplicando, según explicaremos.

Este apartado del trabajo es sin duda uno de los más representativos del proyecto docente. En él están condensadas las aspiraciones que vimos inicialmente en el enfoque heurístico de Armstrong y en las metodologías activas previstas para la enseñanza primaria. Para Catalán y León, “La clase ideal es aquella en que, planteado el problema e indicados los medios para resolverlo, el profesor pasea por la clase resolviendo pequeñas dificultades de ejecución, y los alumnos, con el material necesario, laboran en la persecución de una ley” (León y Catalán, 1931, pp. 8-9).

El examen de la obra, y de las experiencias descritas dentro de los contenidos relativos a la física, nos indicará en qué medida cabe reconocer en los trabajos manuales planteados los ideales previstos –expuestos anteriormente– y también en qué sentido se observa una desviación a veces necesaria y otras enriquecedoras de las previsiones. Para ello dividiremos la exposición en tres apartados: a) experiencias con intervención y manipulación de los estudiantes y resultados relativamente imprevisibles; b) experiencias con adquisición de conocimiento tácito; c) experiencias con resultados predeterminados; d) experiencias desprovistas de la intervención de los estudiantes, llevadas a cabo por los profesores; e) experiencias con aparatos prefabricados.

A) *Experiencias de física con intervención de estudiantes.*

En esta categoría cabe reconocer las experiencias que se realizan dentro de los primeros temas del pro-

grama, los relativos a la longitud, la superficie y el volumen. En las de longitud bastaba disponer unos alfileres en la línea curva y utilizar una cuerda; una vez señalados los límites se traslada la medida sobre un “decímetro”. Posteriormente, “se debe hacer entablar una pequeña discusión, entre los que han empleado diferentes sistemas, sobre cuál de ellos da el valor más exacto” (León y Catalán 1931, p. 15).

Al contemplar las leyes de la refracción de la luz, se propone a los diferentes grupos de alumnos medir y registrar los valores obtenidos y compararlos: “Es muy instructivo el hallar la media de las determinaciones de todos los alumnos, para compararlas luego con el valor dado por algún libro” (León y Catalán 1931, p. 30).

Para la obtención de la ley de la palanca se propone la fabricación de un dispositivo, en correspondencia con los planteamientos de las metodologías activas, en las que se insiste en que los alumnos empleen materiales sencillos y corrientes, en este caso tapones de corcho, una regla y una cuña de madera con forma prismática (León y Catalán 1931, pp. 38-39). A partir de estos elementos y de la observación, los alumnos, se afirma, llegarán a establecer la ley que relaciona el peso y la distancia al punto de apoyo de una parte con el peso y la distancia al mismo punto de la otra.

Hay un tipo de experiencias en las que la participación del alumnado consiste en responder a las preguntas formuladas mientras tiene lugar una demostración, cuya realización es muy probable que corresponda al profesor. En las relativas a la hidrostática, reproduciendo las experiencias de Arquímedes y de Pascal, se formulaban cuestiones como “¿Por qué no baja el mercurio completamente? ¿Qué sucedería al nivel de mercurio en el interior del tubo si la presión atmosférica aumentase o disminuyese? ¿Qué queda sobre la superficie del mercurio en el interior del tubo?” (León y Catalán 1931, p. 60). La pretensión era ejercitar la capacidad de atención hacia los elementos relevantes que concurren en un fenómeno.

En el aula estaba establecido como ejercicio la fabricación de un tubo barométrico (práctica que se remonta a los cursos de física del siglo XIX). Una vez fabricado, “se hace que cada dos alumnos estén encargados semanalmente de hacer la observación a las nueve de la mañana, y que al final de la semana hagan una gráfica con la variación semanal” (León y Catalán 1931, p. 61). Además de las habilidades adquiridas con estas experiencias relativas a las rutinas que acompañan a la recolección de datos, se cumplía el propósito de evitar en lo posible el uso de instrumentos prefabricados y adquiridos a través de los circuitos comerciales. La

práctica se extendía al uso de un termómetro normal, que también se construía en el aula o el laboratorio, y uno de máxima y mínima (en este caso estándar).

En los apartados dedicados a la electricidad y el magnetismo (capítulo IX) se plantean los recursos habituales para la comprobación de las experiencias clásicas con péndulos eléctricos y electroscopios, que podían fabricarse con elementos sencillos, así como con materiales cuya condición es que fueran buenos o malos conductores.

En el segundo curso y en el tercero, siguiendo los planteamientos de la enseñanza cíclica, seguimos encontrando algunos ejemplos (León y Catalán, 1934 y 1935) que se suman a los ya vistos. En el capítulo dedicado a la fuerza, al trabajo y a la potencia se establece como tarea la construcción de un dispositivo consistente en un hilo metálico arrollado que se cuelga en vertical en un soporte y que mantiene en el extremo un platillo. Se trata como se comprueba de un dinamómetro, con el que se pretende transmitir de manera práctica los efectos de una fuerza, en este caso a partir de los pesos dispuestos en la parte inferior.

También se proponen experiencias sobre la transmisión del sonido y sobre la óptica y la electricidad que admiten, en un grado ya más difícil de determinar, una cierta intervención de los estudiantes, como cuando se dispone una lente sobre una base de corcho para que pueda moverse entre una vela y una pantalla, y así comprobar cómo se forma una imagen, invertida o no, sobre una superficie (León y Catalán 1934, p. 51)¹³.

En una experiencia del tercer curso sobre la dilatación de los metales con el calor se emplea una moneda de 25 céntimos con el característico orificio en el centro. “Se suspende la moneda por su orificio central y se calienta a la llama de un mechero. Cuando esté bien caliente se verá no puede pasar por el anillo. Si se deja enfriar, la moneda vuelve a su diámetro primitivo y volverá a pasar por el anillo” (León y Catalán 1935, Cap. XI, Experimento I).

El análisis de los cuadernos de los estudiantes confirma que estos llevaban a cabo las experiencias, y al mismo tiempo aporta algunos detalles sobre cómo tenían lugar. En este caso son los ensayos realizados con un calorímetro (León y Catalán, 1934, Cap. V), cuya fabricación dada su complejidad pensamos que exigió una importante intervención de los docentes; por tanto era un ejemplo de las llamadas experiencias mixtas. Según los apuntes de los alumnos, que manejan datos reales y no tabulados en los manuales, el aparato se

empleó para calcular el calor específico del cobre (Casado y Massip, 2018, p. 17).

B) *Experiencias con adquisición de conocimiento tácito.*

En esta dimensión, la adquisición de conocimiento es una consecuencia indirecta de la implicación de una persona, en este caso el estudiante, en una situación práctica que supone la manipulación de un objeto o ingenio. Tiene lugar por medio del ensayo y el error, mediante el cual se refuerzan ciertas tentativas y se descartan otras por improductivas. De esta forma, contiene un componente personal elevado, depende del contexto, y se genera de manera dinámica. Este tipo de competencias, que forman parte del saber hacer y que los profesores han adquirido previamente, se transmiten por medio de consejos. Son advertencias (habitualmente precedidas por el término “conviene”) que no corresponden tanto a la estructura fundamental y *explícita* de la comprobación propuesta como a la *implícita*.

En el texto del primer curso, en el proceso de hallazgo de la ley de la palanca, comentado anteriormente, si bien no se usa el vocablo “conviene”, sí está sobrentendido. Para montar el dispositivo debe emplearse un doble decímetro, una cuña de madera con “la arista no muy pronunciada, más bien un poco matada, con lo cual se facilitará el mantener luego el equilibrio” (León y Catalán 1931, p. 38).

Cuando se describe el uso de la balanza, el conocimiento de este aparato tenía que estar precedido de las siguientes acciones:

Es conveniente hacer copiar en el cuaderno para que lo tenga muy presente, las siguientes precauciones para pesar:

1º Ver si los platillos están limpios y secos.

2º Ver si el fiel coincide con el cero cuando los platillos no tienen peso.

3º Colocar el cuerpo que se va a pesar en el platillo izquierdo y las pesas en el derecho.

4º Dejar siempre, después de terminar la operación, las pesas en su compartimiento de la caja. (León y Catalán 1931, p. 42).

En la construcción de los barómetros se recoge este comentario adicional: “Para que el mercurio de éste [tubo barométrico] no se ensucie mucho *conviene* colocar encima una cartulina” (León y Catalán 1931, p. 62). (Probablemente para evitar que cayera polvo sobre el metal).

En el segundo curso, en el apartado dedicado a la calorimetría, se advierte que el termómetro empleado era “conveniente” que apreciara o que tuviera una sensibilidad de medio grado (León y Catalán 1934, p. 33).

C Experiencias con resultados predeterminados.

La opción A, la más representativa de las metodologías activas, no es la dominante en los textos analizados. Aunque pueden identificarse, además de los ejercicios mencionados, algunos más, hay una parte muy importante de los contenidos donde también se emplean dispositivos, gráficos y esquemas cuya resolución final no depende de la intervención basada en ensayos del estudiante, sino de la confirmación de un principio o una ley que no se cuestiona ni se somete a discusión. Todo está entonces sometido a ese cometido final. Por tanto, lo que en realidad se asimila es un procedimiento establecido para llegar a una conclusión con muy escaso margen para la improvisación.

En diversos temas hay una confianza completa en los resultados que se van a obtener. Por ello, a veces se añaden comentarios para explicar las posibles desviaciones que puedan observarse. La comprobación tiene la forma no de una búsqueda, sino de una demostración: si se siguen unos determinados pasos, se obtendrá lo que se buscaba. En los apartados de la óptica geométrica se comprueba fácilmente que se busca la confirmación de una ley relativa en este caso a la reflexión de la luz. En el constructo esquemático planteado, se emplea este lenguaje: “Si se miden los ángulos DGH y FGH (fig. 13), nos encontramos que son iguales”. De igual manera, cuando se está calculando el foco de una lente u otros elementos, como la abertura, las operaciones se ajustan a un plan predeterminado.

En la experiencia relativa a la transmisión del sonido el propósito es verificar que después de calentar un matraz (durante 5 ó 10 minutos) y dejarlo enfriar el vapor de agua se condensa y se produce un vacío. Si en el interior se dispone una pequeña campana, al mover el aparato no se oír el sonido. Cualquier otro resultado no se atribuiría a un hallazgo novedoso, sino a un error en el planteamiento de la observación.

Cuando hacemos un repaso del índice de los capítulos que componen el tercer curso, así como de sus contenidos, se observa que cuentan con un componente teórico predominante en el que las diversas experiencias sirven para ilustrar visualmente un resultado previsto por mecanismos deductivos. Pueden señalarse numerosos ejemplos con un diseño similar, como los apartados sobre la composición de fuerzas (cuyas combinaciones y efectos son plenamente pre-

visibles según las leyes de la mecánica), el cálculo del centro de gravedad, el equilibrio de los cuerpos, el principio de Arquímedes, el análisis y síntesis de la luz y las leyes de Ohm y de Joule.

Una excepción que nos ayuda a comprender la diferencia en el planteamiento entre A (resultados relativamente abiertos) y C (resultados completamente establecidos) es la experiencia sobre la caída de los graves. Aquí, la novedad, que permite una mayor proximidad entre artefacto y estudiante, es que se ha sustituido la clásica máquina de Atwood por un dispositivo consistente en un alambre, una polea con un peso, una tableta y un metrónomo, elementos que permiten realizar una tabla con determinaciones numéricas en las que aparecen medidas de longitud (desplazamiento del peso a lo largo de la tableta) y de tiempo. En este caso sí hay una cierta participación del alumnado, en la medida en que se plantea la búsqueda de la razón en la que se encuentran las cantidades anotadas. Ahora bien, la práctica heurística –exploración de soluciones a los problemas que se presentan– es un ejercicio más ficticio que real, como diría David Knight¹⁴, porque las magnitudes finales están previstas en una fórmula cuyo logro fue una consecuencia de un arduo trabajo que está lejos de adivinarse en el periodo limitado del aula.

D) Experiencias realizadas exclusivamente por los profesores.

Ya se señala en la introducción del texto de León Maroto y Catalán (1931) que algunas experiencias presentaban cierta complejidad o una elaboración muy lenta, y que por ello estaban fuera del alcance de los alumnos (León y Catalán 1931, p. 9). Pensamos que esta categoría comprende algunos diseños demostrativos relacionados con el tema de calorimetría, que exige la fabricación del aparato conocido como calorímetro; la construcción de una lámpara de Davy (también propuesta en estos apartados, capítulos 5 y 6 de *Exposición*, II, 1934); la fabricación de un termómetro de agua salada (León y Catalán 1931, pp. 65-66), que exige una elevada pericia; y otros propuestos en el tercer curso, como las experiencias de electrólisis.

Incluimos en este apartado una experiencia consistente en la construcción de un ludión¹⁵, un mecanismo clásico cuya mención en los temas relativos al estudio de la presión es llamativa, dado que es un aparato más bien dedicado a recrear de manera lúdica los efectos físicos observados y exento, por tanto, de las virtudes analíticas que se persiguen en las metodologías activas. En la descripción se aprecia que su elaboración era un

proceso laborioso poco accesible para el alumnado del primer curso (León y Catalán 1931, p. 53).

E) *Experiencias con aparatos prefabricados.*

En las metodologías activas, la construcción de un aparato o el diseño del dispositivo experimental formaba parte del aprendizaje de los fenómenos, conceptos y leyes de la física. Del estudio del calor, por ejemplo, formaba parte la elaboración de un termómetro. Esta era la manera de mostrar que la ciencia no era un recinto cerrado, sino que, como ocurre cuando estamos fabricando una máquina con instrucciones muy vagas o haciendo bricolaje, es una práctica en la que hay que probar, ensayar y resolver variados problemas. Por eso en estos movimientos se mostró una manifiesta oposición a las colecciones ofrecidas por las casas comerciales que limitaban las intervenciones del profesorado y de los estudiantes a poner en funcionamiento los artefactos.

En los manuales que estamos examinando se observa un notable interés por describir los materiales que se emplean en las experiencias, todos ellos útiles accesibles y económicos. Así, se desafiaba a la industria de los modelos estandarizados. Esta postura generaba una situación paradójica, porque la disposición de aparatos era un signo de modernidad aireado por las instituciones.

A pesar de los esfuerzos mencionados por reemplazar los artefactos que impidieran aprender y ejercer las habilidades propias de las metodologías del hacer, en los manuales-informe de León y Catalán se encuentran alusiones a aparatos ya construidos. Así, se menciona la balanza¹⁶ y también termómetros, prismas, lentes, una balanza de Roberval, bombas de aire y una máquina electrostática modelo Wimshurst¹⁷.

Además del contenido perteneciente a las divisiones establecidas, los textos contemplaban otros elementos para completar los objetivos del aprendizaje de la física. En ellos hay formulaciones matemáticas, especialmente en el segundo y el tercer curso, así como problemas y ejercicios; hay exposiciones teóricas en la reproducción de definiciones, conceptos y principios y, para mostrar las ventajas de la ciencia aplicada, hay alusiones a globos, aeroplanos, dirigibles y autogiros en el apartado dedicado al principio de Arquímedes y a los fundamentos de la aerostación.

Así pues, comprobamos que hay experiencias de las aquí examinadas que recuerdan al modelo expositivo-demostrativo, dominante en el siglo XIX, en el que el estudiante se limitaba a observar las operaciones prácticas del docente. La diferencia en este caso es que los datos, esquemas y dibujos de la demostración se

reproducían en un cuaderno, aunque los profesores se quejan de que hay alumnos que prefieren tomar notas rápidas y reelaborarlo después en sus casas.

También vemos que hay experiencias (especialmente las consistentes en la realización de medidas) que permitían a los estudiantes tomar parte en su resolución, pero en otros casos la práctica muy probablemente se llevaba a cabo con una intervención importante del docente, si no era diseñada enteramente por este. Conscientes de esta dualidad, en la introducción de la *Exposición de la enseñanza cíclica* del primer curso reconocen que no todas las experiencias las llevan a cabo los alumnos. Algunas, según afirman, por su “peligrosidad” son inapropiadas y además “el procedimiento sería demasiado lento”, un problema que ya se había puesto de manifiesto por otros profesionales, como hemos visto. Así pues, concluyen que el método mixto es el que da “mejores resultados” (León y Catalán, 1931, p. 9).

Según el examen realizado, al igual que sucediera en otros centros educativos de la capital, en el Instituto-Escuela se practicó el eclecticismo (Pozo Andrés, 2003-2004, 324), contemplándose diferentes metodologías en las disciplinas científicas¹⁸. Los docentes encargados de impartir la materia de Física y Química, abordaron su trabajo desde diferentes propuestas, unas mencionadas explícitamente y otras insinuadas o reflejadas implícitamente en su trabajo. Entre ellas se encontraba la enseñanza cíclica¹⁹, el “sistema unitario Morrison”²⁰, el manualismo²¹, o el método del aprendizaje por descubrimiento.

Así, *Exposición de la enseñanza cíclica* evidencia las debilidades del método del descubrimiento, especialmente en las experiencias prácticas de la física (uno de los pilares de estas metodologías), así como la ausencia de una reformulación que tuviese en cuenta las críticas y debates planteados en años anteriores. A pesar de ello, sus tres publicaciones tendrán gran influencia en la política educativa republicana, como se refleja en la agrupación en un Decreto de 1934 de las materias de física y química bajo la denominación de “Enseñanza cíclica de la Física y la Química”, y en el hecho de que este Decreto recoja fragmentos literales de la introducción (p. 9) de *Exposición*:

Las experiencias que mejor pueden servir para formar el espíritu de observación serán las que preferentemente deban hacer los alumnos. Aquellas otras de difícil ejecución, escasez de material, coste del mismo o peligro en las manipulaciones, serán las que realizará el Profesor. [...] Los experimentos deben hacerse con aparatos sencillos, construidos, a ser posible, por los mismos alumnos (*Gaceta de Madrid*, n.º 290, 17/10/1934, pp. 401-403).

Algo similar sucedió en Japón, donde en ese mismo periodo se vertieron críticas contra la viabilidad del método de descubrimiento, sin embargo estas se atenuaron porque, según Isozaki (2017, p. 109) el Ministerio de Educación, respondiendo a intereses políticos, estableció como prioridad promocionar la física y el trabajo del alumnado en el laboratorio.

CONCLUSIÓN

Los textos de Catalán y León examinados son relevantes porque reflejan las complejidades, expectativas y tensiones pedagógicas implícitas en la enseñanza de la física durante un amplio periodo de tiempo, cuyos inicios se remontan al siglo XIX. Se ha comprobado que en ellos se contempla la aplicación de un método que se encontraba en proceso de revisión por diversos motivos, principalmente por la indeterminación en el grado de intervención del docente en los procesos de recreación de los experimentos por parte de los estudiantes; por las limitaciones temporales de unas prácticas, reducidas al tiempo de clase, que dependían de la capacidad de reacción y espontaneidad del alumnado; por el uso de materiales prefabricados, y por la imposibilidad de reconstruir experimentalmente principios y leyes, cuyo establecimiento demandaba instrumentos teóricos adicionales.

Sin duda, el planteamiento de los métodos activos y el esfuerzo por llevarlos a cabo en el aula sirvió para transmitir de una manera efectiva y práctica las dificultades de los procedimientos experimentales y algunas de las rutinas que su uso demandaba, algo

inexistente en las concepciones de la llamada escuela verbalista.

Pensamos que de manera implícita los propios Catalán y León reconocen estas ventajas, pero también las limitaciones de los métodos aplicados, cuando estos se observan directamente en la práctica, al señalar que el mejor sistema es el “método mixto”, es decir, aquél que permitía al docente incorporar en los procesos de aprendizaje sus indicaciones (probablemente tanto teóricas como prácticas) y expresar orientaciones sobre cómo debían llevarse a cabo los trabajos.

Por estos motivos y los señalados en el texto sería más apropiado considerar la experiencia de enseñanza de la física en el Instituto-Escuela como un modelo de eclecticismo, en el que se ensayaron distintos procedimientos, unos clásicos y otros en proceso de prueba, en función de las edades de los estudiantes, los contenidos, los tiempos disponibles y las habilidades de los docentes. De esta manera, nos ajustamos más a la realidad del aula, en lugar de plantear discursos basados en la renovación completa de la metodología.

Sin embargo, el modelo del Instituto-Escuela, que se reprodujo en Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla y Málaga durante los años republicanos fue presentado en el discurso político, según hemos visto en las disposiciones legislativas del ministro Villalobos aprobadas a finales de 1934, como un programa novedoso y repleto de expectativas, porque su componente activo representaba una alternativa firme frente a los procedimientos de la escuela tradicional. Esta imagen, exenta de matices, es la que estuvo vigente entre los partidarios de la escuela nueva.

NOTAS AL FINAL

- 1 El estudio se ha llevado a cabo en el marco del proyecto de investigación ‘Desafíos educativos y científicos de la Segunda República: internacionalización, popularización e innovación en universidades e institutos’ (Convocatoria 2018 de Proyectos de I+D de Generación de Conocimiento, PGC2018-097391-B-I00). Los autores deseamos agradecer las oportunas sugerencias realizadas por los evaluadores.
- 2 Fue ideado por Pierre Bovet en torno a 1920, aunque posteriormente sería atribuido a Ferrière (Hameline, 1995, pp. 9-13). Para una presentación general de este enfoque remitimos a Cambi (2006), Pozo Andrés (2003-2004) y Esteban Frades (2016).
- 3 Para el caso de Estados Unidos, véase Rudolph (2005).
- 4 Para este tema véase Guijarro (2018, especialmente pp. 32-35). Aunque Armstrong figura como profesor de Química, nuestro análisis se basa en su programa de un curso elemental de Física.

- 5 Las disciplinas de Física y la Química podían cursarse juntas o separadas dependiendo del curso y el plan de estudios; en el plan del Instituto-Escuela para 1918 y 1919 se cursaban juntas en 3º y 4º grado y separadas en 5º y 6º (JAE, 1920, pp. 219-220). Nosotros nos centraremos solo en la primera.
- 6 Catalán fue sustituido en febrero de 1933 por Francisco Poggio, procedente del Instituto-Escuela de Sevilla. No hay evidencia de que cambiara la metodología seguida, teniendo en cuenta los textos que se compusieron, aquí analizados, y que León Maroto se mantuvo en la docencia.
- 7 Presentó por primera vez sus propuestas a la British Association for the Advancement of Science en 1889 para un curso de ciencia elemental.
- 8 Para una visión general de la obra de Armstrong, véase la introducción de Brock (1973).
- 9 De igual manera, con los dones de Froebel, empleados en la *educación* infantil y primaria, se pretendían estimular los “cinco sentidos” (Abbagnano y Visalberghi, 1992, pp. 478-487).

- 10 La importancia atribuida por Armstrong a este instrumento es destacada en la reseña “Libros de invenciones e industrias”, recogida en *El Magisterio Español: Revista General de la Enseñanza*, año LVII, n.º 6605, 30/04/1923, p. 3.
- 11 Y también en la filosofía del Instituto-Escuela: su frase “class-rooms must be converted into workshops” (Armstrong, 1901, p. 20), aparece asociada al Instituto-Escuela de Barcelona en una entrevista-reportaje, donde “un elemento significado de la Institución” afirma: “La clase es un taller” (Solsona, 1934, p. 14).
- 12 León y Catalán también reconocían la influencia en ellos de los textos ingleses (López Martínez, 1999, p. 669).
- 13 La comprensión del ejercicio se complementa con alusiones a objetos cotidianos, como las gafas de los alumnos, el espejo para afeitarse... (León y Catalán, 1931, p. 51).
- 14 “Hubo algunos, como Henry Armstrong a finales de siglo [XIX], que urgieron un método ‘heurístico’ de docencia en el cual el individuo sería ayudado a realizar por sí mismo los descubrimientos de Newton, Lavoisier y Faraday. Pero el problema es que esto requería un profesor genial; y que el discípulo tenía, en cualquier hipótesis, sólo un breve tiempo para recorrer el trabajo en el que se habían empleado las vidas de muchos eminentes predecesores: siempre hay, necesariamente, algo artificial en el tema de la heurística” (Knight, 1988, p. 225).
- 15 El ludión o “diablillo de Descartes” (atribución al filósofo francés en cualquier caso errónea) consiste en una figura, provista de un recipiente con aire, que asciende y desciende en función de las variaciones de presión del líquido en el que se encuentra sumergido.
- 16 Uno de los ejercicios consistía en realizar un dibujo del aparato y de la caja de pesas que lo acompaña y describir sus partes (León y Catalán 1931, p. 42).
- 17 También, como en el caso de la balanza, se dispone como ejercicio la descripción de las partes de la máquina (León y Catalán 1934, p. 70).
- 18 Para el Instituto Escuela véase Moreno González et al (2019), Martínez Alfaro; López-Ocón; Offenbach (2018) y Martínez Alfaro (2009). Para una visión general de la enseñanza de las ciencias en esta época y contexto véase Moreno Martínez (2019), Casado y Masip (2018), Guijarro y González (2013), Bernal y López (2002), Bernal (2001) y López Martínez (1999).
- 19 Metodología ya defendida por Concepción Arenal en 1882, basada en abordar los mismos conocimientos a lo largo de diversos años, aumentando el nivel de profundización.
- 20 También conocido como plan Morrison (y relacionado con los centros de interés), fue propuesto por Henry C. Morrison (1930) en *The Practice of Teaching in the Secondary School* (1926). Se basaba en la organización de contenidos en torno a unidades para, a través de problemas, comprender y aplicar lo aprendido.
- 21 Consistente, en el caso de la enseñanza de la física en construir los “aparatos y utensilios destinados a las prácticas de esta asignatura”, JAE (1929, p. 317).

BIBLIOGRAFÍA

- Abbagnano, Nicola; Visalberghi, Aldo (1992, 1ª ed. en italiano de 1967), *Historia de la pedagogía*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Armstrong, Henry Edward (1901), “An Appeal to Headmasters”. En: Armstrong (1903), pp. 11-23.
- Armstrong, Henry Edward (1903), *The Teaching of Scientific Method and other Papers on Education*, Londres, Macmillan and Co.
- Bargalló, Modesto (1933), *Cómo se enseñan las ciencias físico-químicas*, Madrid, Publicaciones de la Revista de Pedagogía.
- Bernal Martínez, José Mariano (2001), *Renovación pedagógica y enseñanza de las ciencias. Medio siglo de propuestas y experiencias escolares (1882-1936)*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- Bernal Martínez, José Mariano; López Martínez, José Damián (2002), “Innovación pedagógica y enseñanza de la Física y la Química en el Instituto-Escuela de Madrid”, *BILE*, 47, pp. 68-83.
- Brock, William Hodson (ed.) (1973), *H. E. Armstrong and the Teaching of Science 1880-1930*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Buylla, Adolfo A. (1906), reseña de Hayward, *Pedagogos reformistas del tiempo presente: el profesor H. E. Armstrong*. En *BILE*, año XXX, 557, 31/8/1906, pp. 245-246.
- Cambi, Franco (2006), “La aventura de los métodos activos”. En: *Las pedagogías del siglo XX*, Madrid, Editorial Popular, pp. 27-52.
- Casado, Santos; Massip, Carmen (2018), “Educar y experimentar. Las ciencias en el Instituto-Escuela”. En: Martínez Alfaro, Encarnación; López-Ocón, Leoncio; Offenbach, Gabriela (eds.), *Ciencia e innovación en las aulas. Centenario del Instituto-Escuela (1918-1936)*, Madrid, Editorial CSIC-Editorial UNED.
- Comas, Margarita (1922), “La enseñanza elemental de las ciencias en Inglaterra”, *BILE*, 46, pp. 80-83.
- Cossío, Manuel Bartolomé (1985 [original de 1908]), “Principios pedagógicos de la Institución”. En: Carbonell Sebarroja, Jaume (ed.), (selección, presentación y bibliografía), *Una antología pedagógica*, pp. 107-112, Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia.
- Cossío, Manuel Bartolomé (2007 [original de 1906]), “El maestro, la escuela y el material de enseñanza”. En: Otero Urtaza, Eugenio (ed.), *El maestro, la escuela y el material de enseñanza y otros escritos*, Madrid, Biblioteca Nueva, pp. 55-81.
- Darling, C. R. (1929), “Special Educational Apparatus”, *Journal of Scientific Instruments*, 5, pp. 79-80.
- Esteban Frades, Santiago (2016), “La renovación pedagógica en España: Un movimiento social más allá del didacticismo”, *Tendencias Pedagógicas*, 27 (ejemplar dedicado a la Renovación Pedagógica), pp. 259-284, <http://dx.doi.org/10.15366/tp2016.27.012>
- Galamba, Arthur (2009), “Henry Armstrong o Ensino por Descoberta”, *Física na Scola*, 10 (2), pp. 7-10.
- Giner de los Ríos, Francisco (1902), “Problemas urgentes de nuestra educación nacional”, *La Lectura*, 5/1902, pp. 453-457.

- Guijarro Mora, Víctor (2018), *Artefactos y Acción educativa. La cultura del objeto científico en la enseñanza secundaria en España (1845-1930)*, Madrid, Dykinson.
- Guijarro Mora, Víctor; González de la Lastra, Leonor (2013), "La presencia de la tecnología en la utopía pedagógica: el Instituto de San Isidro y los Institutos-Escuela promovidos por la JAE". En: González, Leonor; Fernández, Vicente, (eds.), *El Instituto de San Isidro, saber y patrimonio. Apuntes para una historia*, Madrid, CSIC, pp. 173-197.
- Hameline, Daniel; Jornod, Arielle ; Belkaïd, Malika (1995), *L'École Active: Textes fondateurs (Pédagogues et Pédagogies)*, París, Presses Universitaires de France.
- Heilbron, J. L. (1975), "H. E. Armstrong and the Teaching of Science, 1880-1930. W. H. Brock" (reseña), *Isis*, 66 (1), p. 142.
- Isozaki, T. (2017), "Laboratory work as a teaching method: A historical case study of the institutionalization of laboratory science in Japan". En: *Espacio, Tiempo y Educación*, 4(2), p. 101-120, [en línea], doi: <http://dx.doi.org/10.14516/ete.177>
- JAE (1920), *Memoria correspondiente a los años 1918 y 1919*, Madrid, JAE.
- JAE (1925), *Un ensayo pedagógico. El Instituto-Escuela de Segunda Enseñanza de Madrid (Organización, métodos, resultados)*, Madrid, JAE.
- JAE (1929), *Memoria correspondiente a los cursos 1926-7 y 1927-8*, Madrid, JAE.
- Jenkins, Edgar William (2001), "Constructivism in School Science Education: Powerful Model or the Most Dangerous Intellectual Tendency?". En: Bevilacqua, Fabio; Giannetto, Enrico; Matthews, Michael R. (eds.), *Science Education and Culture: The Contribution of History and Philosophy of Science*, Dordrecht, Springer, pp. 153-164.
- Jenkins, Edgar William (2007), "School science: a questionable construct?", *Journal of Curriculum Studies*, 39 (3), pp. 265-282.
- Jenkins, Edgar William (2013), "Children and the teaching and learning of science: a historical perspective". En: *Proceedings of Children's Perspective on School, Teaching and Learning. Children's Perspective on School, Teaching and Learning*, 07-09/10/2013, Catholic University of Eichstaett - Ingolstadt, Eichstaett.
- Keene, Melanie (2007), "Every Boy & Girl a Scientist. Instruments for Children in Interwar British", *Isis*, 98 (2), pp. 266-289.
- Knight, David (1988), *La Era de la ciencia*, Madrid, Pirámide.
- León Maroto, Andrés; Catalán, Miguel (1931), *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y de la Química (curso 1º)*, Madrid, JAE.
- León Maroto, Andrés; Catalán, Miguel (1934), *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y de la Química (curso 2º)*, Madrid, JAE.
- León Maroto, Andrés; Catalán, Miguel (1935), *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y de la Química (curso 3º)*, Madrid, JAE.
- López Martínez, José Damián (1999), *La enseñanza de la Física y la Química en la educación secundaria en el primer tercio del siglo xx en España*, Murcia, Universidad de Murcia, Tesis doctoral.
- López-Ocón, Leoncio; Guijarro, Víctor; Pedrazuela, Mario, (eds.) (2018), *Aulas abiertas. Profesores viajeros y renovación de la enseñanza secundaria en los países ibéricos (1900-1936)*, Madrid, Dykinson.
- Martínez Alfaro, Encarnación (2009), *Un laboratorio pedagógico de la Junta para Ampliación de Estudios*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- Martínez Alfaro, Encarnación; López-Ocón, Leoncio; Offenbach, Gabriela (eds.) (2018), *Ciencia e innovación en las aulas. Centenario del Instituto-Escuela (1918-1936)*, Madrid, Editorial CSIC-Editorial UNED.
- Material Escolar y Científico (c. 1930), *Catálogo general A-38 de material de enseñanza de la casa Material Escolar y Científico*, Barcelona.
- Matthews, Michael R. (2004), *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, Nueva York, Routledge.
- Moreno González, Antonio; Otero Urtaza, Eugenio Manuel; Pozo Andrés, M. Mar del; Wert, Carlos (coords.) (2019), *Laboratorios de la Nueva Educación en el centenario del Instituto-Escuela*, Madrid, Fundación Giner de los Ríos.
- Moreno Martínez, Luis (2019), *Ciencia en las aulas: Prácticas pedagógicas, cultura material e historia de la ciencia en la obra de Modesto Bargalló en España (1849-1939)*, Tesis leída en la Universidad de Valencia.
- Morrison, Henry C. (1930), *La práctica del método en la Enseñanza Secundaria* (traducción de María Sanchez Arbós), Madrid, Ediciones 'La Lectura', Espasa-Calpe.
- Pozo Andrés, M.ª del Mar del (2003-2004), "La Escuela Nueva en España: crónica y semblanza de un mito", *Historia de la educación*, 22-23, 2003-2004, pp. 317-346.
- Pérez Galán, Mariano (2011), *La enseñanza en la Segunda República* (ed. de Manuel de Puelles Benítez), Madrid, Biblioteca Nueva.
- Rayner-Canham, Geoff; Rayner-Canham, Marelene (2015), "The Heuristic Method, Precursor of Guided Inquiry: Henry Armstrong and British Girls' Schools, 1890-1920", *Journal of Chemical Education*, 92 (3), pp. 463-466.
- Rudolph, John L. (2005), "Turning science to account: Chicago and the general science movement in secondary education, 1905-1920", *ISIS*, 96 (3), pp. 353-389.
- Solsona, Braulio (1934), "El Instituto Escuela de Barcelona", *Crónica*, 2/9/1934, pp. 14-15.
- Turner, Dorothy Mabel (1927), *History of Science Teaching in England*, Londres, Chapman & Hall Ltd.